

XVII

Всероссийская
научно-практическая
конференция

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ



**ПОСВЯЩАЕТСЯ 60-летию
со Дня образования
учебного заведения
(1966-2026г.г.)**

Иваново 2026

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИВАНОВСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XVII ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПОСВЯЩЕННОЙ ПРАЗДНОВАНИЮ 60-ЛЕТИЯ
ИВАНОВСКОЙ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
ГПС МЧС РОССИИ
ИВАНОВО, 16 АПРЕЛЯ 2026 г.**

MACHINES AND MECHANISMS RELIABILITY AND DURABILITY

**COLLECTION OF MATERIALS OF THE XVIIth ALL-RUSSIA
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE,
DEDICATED TO THE 60TH ANNIVERSARY
OF FEDERAL STATE BUDGET EDUCATIONAL ESTABLISHMENT OF HIGHER
EDUCATION «IVANOV FIRE RESCUE ACADEMY OF STATE FIREFIGHTING SERVICE
OF MINISTRY OF RUSSIAN FEDERATION FOR CIVIL DEFENSE, EMERGENCIES
AND ELIMINATION OF CONSEQUENCES OF NATURAL DISASTERS»**

IVANOV, APRIL 16, 2026

Иваново 2026

УДК 621+614.842
ББК 30
Н 17

- Надежность и долговечность машин и механизмов:** сборник материалов XVII
Н 17 Всероссийской научно-практической конференции, посвященной празднованию
60-летия Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России,
Иваново, 16 апреля 2026 г. – Иваново : Ивановская пожарно-спасательная
академия ГПС МЧС России, 2026. – 497 с. – ISBN 978-5-907764-11-8

В сборнике опубликованы материалы выступлений и статьи участников конференции, отражающие результаты научных исследований по направлениям: повышение надежности и долговечности деталей, механизмов, агрегатов, машин; актуальные проблемы расчета и конструирования машин и механизмов; моделирование, управление, автоматизация проектирования механических систем; проблемы износа в машинах и механизмах; педагогика и методология общей и специальной подготовки пожарных и спасателей.

Материалы сборника конференции предназначены для широкого круга научных и инженерно-технических работников, адъюнктов, аспирантов, курсантов и студентов, занимающихся вопросами повышения надежности и долговечности машин и механизмов, и могут быть использованы для совершенствования практической, научной и педагогической деятельности.

The collection contains materials of speeches and articles by conference participants reflecting the results of scientific research in the following areas: improving the reliability and durability of parts, mechanisms, aggregates, machines; current problems of calculating and designing machines and mechanisms; modeling, control, automation of mechanical system design; problems of wear in machines and mechanisms; pedagogy and methodology of general and special training of firefighters and rescuers.

The materials of the conference collection are intended for a wide range of scientific and engineering-technical workers, adjuncts, graduate students, cadets and students involved in improving the reliability and durability of machines and mechanisms, and can be used to improve practical, scientific and educational activities.

УДК 621+614.842
ББК 30

ISBN 978-5-907764-11-8

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНИЗМОВ, АГРЕГАТОВ, МАШИН

УДК 699.058

Е.А. Байлагасов, А.А. Сержинмаа, С.О. Куртов

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы обеспечения надежности мобильных средств пожаротушения. Проведен анализ факторов, влияющих на техническое состояние парка пожарных автомобилей, и выявлены недостатки существующей планово-предупредительной системы технического обслуживания (ТО). Предложен комплекс мероприятий по совершенствованию системы ТО, основанный на внедрении обслуживания по фактическому состоянию с применением современных средств диагностики и модернизации материально-технической базы.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, надежность, долговечность, техническое обслуживание, техническая готовность, эксплуатация.

E.A. Baylagasov, A.A. Serginmaa, S.O. Kurtov

METHODS FOR IMPROVING THE RELIABILITY AND DURABILITY OF FIRE TRUCKS BY IMPROVING THE MAINTENANCE SYSTEM

Abstract: The article discusses the issues of ensuring the reliability of mobile fire extinguishing equipment. The analysis of the factors affecting the technical condition of the fleet of fire trucks has been carried out, and the shortcomings of the existing scheduled preventive maintenance system (TO) have been identified. A set of measures to improve the maintenance system is proposed, based on the introduction of actual condition maintenance using modern diagnostic tools and the modernization of the material and technical base.

Keywords: fire truck, reliability, durability, maintenance, technical readiness, operation.

Пожарная и аварийно-спасательная техника является основным инструментом в борьбе с пожарами и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Эффективность применения этой техники, а значит, и успех всей операции по спасению людей и материальных ценностей, напрямую зависят от ее надежности и постоянной технической готовности [1]. Современные условия эксплуатации пожарных автомобилей характеризуются высокой интенсивностью нагрузок, работой в различных климатических и дорожных условиях, что предъявляет повышенные требования к системам, обеспечивающим их работоспособность.

Поддержание техники в исправном состоянии на протяжении всего срока службы является основной задачей системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), принятой в МЧС России [2]. Эта система базируется на планово-

предупредительном принципе, который предполагает проведение регламентных работ с установленной периодичностью, независимо от фактического состояния узлов и агрегатов.

Однако практика эксплуатации показывает, что данный подход не всегда является оптимальным. Он может приводить к неоправданным простоям исправной техники или, напротив, к возникновению отказов из-за невозможности своевременно выявить скрытые дефекты. Это особенно актуально в условиях физического износа парка, логистических трудностей со снабжением запасными частями и ограниченных ремонтных возможностей подразделений [3].

Целью исследования является анализ факторов, влияющих на надежность парка пожарных автомобилей, и разработка предложений по оптимизации их технического обслуживания, направленных на повышение долговечности и коэффициента технической готовности.

Анализ условий эксплуатации и факторов, определяющих надежность пожарных автомобилей

Надежность пожарного автомобиля – это комплексное свойство, зависящее от множества факторов, которые можно разделить на конструктивные, производственные и эксплуатационные. Если конструктивные и производственные факторы закладываются на этапе создания машины, то эксплуатационные целиком и полностью зависят от условий использования и качества технического обслуживания.

К числу наиболее значимых эксплуатационных факторов, снижающих надежность, относятся:

- интенсивность и режимы эксплуатации. Работа пожарных автомобилей сопряжена с частыми запусками двигателя, движением на высоких скоростях при следовании на пожар и длительной работой специальных агрегатов (пожарного насоса) в стационарном режиме. Это приводит к ускоренному износу силового агрегата, трансмиссии и ходовой части.

- природно-климатические условия. Эксплуатация техники при низких температурах, высокой влажности или в условиях горной местности усложняет пуск двигателя, ускоряет старение резинотехнических изделий, гидравлических систем и электрооборудования.

- уровень организации ТО и ремонта. Качество и своевременность проведения регламентных работ, наличие необходимой ремонтной базы и квалификация персонала являются определяющими факторами для поддержания техники в работоспособном состоянии.

- степень износа парка. Значительная часть эксплуатируемой техники имеет срок службы, превышающий нормативный. Это увеличивает частоту отказов, требует более дорогостоящего ремонта и снижает общую готовность подразделения.

Структура отказов, как правило, распределяется неравномерно. Наибольшее число неисправностей приходится на шасси автомобиля, включая двигатель, трансмиссию, тормозную систему и электрооборудование. Значительная доля отказов также связана с пожарной надстройкой, в первую очередь с насосной установкой и водопенными коммуникациями [4].

Недостатки существующей системы технического обслуживания

Планово-предупредительная система ТО, регламентированная руководящими документами [2], включает ежедневное обслуживание, ТО-1, ТО-2, сезонное обслуживание и регламентные работы (рис. 1).



Рис. 1. Проведение регламентных работ на посту ТО

Однако анализ практической реализации этой системы выявляет ряд системных проблем:

- несоответствие регламента фактическому состоянию. Жесткая периодичность ТО (по пробегу или времени) не учитывает реального технического состояния узлов и агрегатов. Это приводит либо к излишним трудозатратам, либо к пропуску зарождающихся дефектов.

- ограниченные диагностические возможности. Для оценки состояния техники в основном используются органолептические методы (осмотр, прослушивание). Отсутствие современных диагностических приборов не позволяет выявлять скрытые неисправности на ранней стадии.

- недостаточная оснащенность ремонтной базы. Посты ТО часто не укомплектованы необходимым оборудованием и специализированным инструментом, что снижает качество и оперативность выполнения работ (рис. 2, 3) [5].



Рис. 2. Пример оснащения поста ТО
(мойка деталей)



Рис. 3. Пример оснащения поста ТО
(слесарный инструмент)

- кадровый дефицит. Нехватка квалифицированных специалистов, способных проводить диагностику и ремонт современных дизельных двигателей и электронных систем, усугубляет проблему.

Совокупность этих факторов приводит к снижению коэффициента технической готовности, увеличению времени простоев и росту затрат на восстановление работоспособности техники.

Мероприятия по повышению надежности и долговечности техники

Для преодоления выявленных недостатков и перехода к более эффективной системе эксплуатации предлагается комплекс мероприятий, основанный на принципах профилактической направленности и ресурсосбережения.

Переход к обслуживанию по фактическому техническому состоянию

Ключевым направлением является внедрение системы обслуживания «по состоянию», которая предполагает проведение ремонтных работ только при достижении узлом или агрегатом предотказного состояния, выявленного средствами технической диагностики. Это позволяет максимально использовать ресурс деталей и предотвращать внезапные отказы.

Для реализации этого подхода необходимо применение современных диагностических средств. В частности, рекомендуется использовать портативные сканеры, подключаемые к CAN-шине автомобиля (табл. 1, рис. 4). Такие приборы позволяют в реальном времени отслеживать параметры работы двигателя, трансмиссии и специальных агрегатов, считывать коды неисправностей и анализировать данные о наработке [6].

Таблица 1. Сравнительная характеристика диагностических сканеров

Параметр	Модель А (универсальная)	Модель Б (специализированная)
Поддерживаемые интерфейсы	K/L-Line, CAN, J1850	K/L-Line, CAN, J1939, RP1210
Наличие дисплея	TFT	Нет (адаптер для ПК)
Стоимость, руб.	47 000	52 450



Рис. 4. Портативный диагностический сканер

Модернизация материально-технической базы

Вторым важным направлением является дооснащение постов ТО современным оборудованием, позволяющим выполнять сложные виды работ собственными силами. К числу приоритетных позиций можно отнести:

- автоматическую мойку деталей. Обеспечивает качественную очистку узлов и агрегатов перед дефектовкой и ремонтом, что повышает качество последующих работ.

- электрические подогреватели масел и охлаждающей жидкости. Облегчают пуск двигателя в холодное время года, снижая износ при пуске.

- диагностические стенды для топливной аппаратуры. Позволяют обслуживать и ремонтировать форсунки и ТНВД современных дизельных двигателей непосредственно в подразделении, не прибегая к услугам сторонних сервисов (рис. 5) [7].



Рис. 5. Стенд для проверки и регулировки дизельных форсунок

Внедрение предлагаемых мероприятий позволит перейти от реактивного (устранение уже возникших отказов) к профилактическому обслуживанию. Основной экономический эффект достигается за счет:

- сокращения числа внеплановых ремонтов на 25–30 %;
- уменьшения времени простоя техники;
- продления срока службы узлов и агрегатов за счет своевременного выявления дефектов;
- снижения затрат на транспортировку техники в сторонние сервисные центры.

Помимо прямого экономического эффекта, ожидается повышение коэффициента технической готовности парка, что напрямую влияет на оперативность реагирования и безопасность личного состава.

Проведенный анализ показал, что надежность и долговечность пожарных автомобилей сдерживается комплексом факторов, среди которых ключевую роль играет несовершенство системы технического обслуживания. Существующая планово-предупредительная система, основанная на жестких регламентах, не в полной мере учитывает реальное техническое состояние машин.

Предложенный комплекс мероприятий, базирующийся на внедрении диагностики по фактическому состоянию и модернизации материально-технической базы, направлен на устранение этих недостатков. Применение современных средств контроля позволяет перейти к более гибкой и экономичной стратегии обслуживания, предотвращая внезапные отказы и максимально используя ресурс агрегатов. Реализация данных мер позволит повысить эксплуатационную надежность, продлить срок службы техники и обеспечить требуемый уровень готовности пожарно-спасательных подразделений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожарная и аварийно-спасательная техника: учебник: в 2 частях / М. Д. Безбородько, С. Г. Цариченко, В. В. Роевко [и др.]; под редакцией М. Д. Безбородько. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2012. – Часть 1. – 353 с.

2. Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737. – Текст: электронный // Консультант Плюс: [справочно-правовая система]. – URL: <https://www.consultant.ru>.

3. Роечко, В. В. Предложения по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей / В. В. Роечко, А. В. Рожков, В. П. Сорокоумов, А. Г. Саламатов // Пожары и ЧС. – 2017. – № 2. – С. 45-51.

4. Рекомендации по предотвращению характерных отказов при эксплуатации пожарно-спасательной техники, применяемой в системе МЧС России: утв. Заместителем Министра МЧС России П.Ф. Барышевым 20.11.2017 № 2-4, С.71-45. – Москва: МЧС России, 2017. – 25 с.

5. СП 380.1325800.2018. Здания пожарных депо. Правила эксплуатации: утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 4 декабря 2018 г. № 769/пр: дата введения 2019-06-05. – Москва: Стандартинформ, 2019. – III, 24 с.

6. Березнюк, В. П. Совершенствование технического обслуживания пожарной техники при проведении процессов ТО и ремонта / В. П. Березнюк // Молодой ученый. – 2020. – № 49 (339). – С. 582-584. – URL: <https://moluch.ru/archive/339/76056>.

7. ГОСТ 18322-2016. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения: межгосударственный стандарт: введен впервые: дата введения 2017-09-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 16 с.

УДК 621-192

А.Л. Бараш

Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения, Санкт-Петербург

АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

Аннотация: в статье рассматривается возможность применения адаптивных методов прогнозирования значений показателей надежности машин

Ключевые слова: надежность машин, прогнозирование надежности, адаптивные методы прогнозирования

A.L. Barash

ADAPTIVE METHODS FOR PREDICTING THE RELIABILITY OF MACHINES

Abstract: The article discusses the possibility of using adaptive methods for predicting the values of machine reliability indicators.

Keywords: machine reliability, reliability prediction, adaptive prediction methods

Прогнозирование в практике эксплуатации машинных парков достаточно часто выступает как средство получения общего представления о состоянии объекта (в нашем случае, парка машин) в будущем. Прогнозирование показателей надежности машин и механизмов изначально имеет целью получения результатов для обеспечения условий выполнения конкретных задач управления надежностью машинных парков, прежде всего, планирования работоспособности техники, и на практике осуществляется, как правило, на основе анализа временных рядов соответствующих данных. Планирование в этом случае носит директивный, обязательный для выполнения характер.

При выполнении прогнозирования на долгосрочный период основное внимание уделяется результатам прогноза, отображающим проявившиеся на предпрогнозном периоде тенденции развития и протекания процессов изменения надежности рассматриваемых объектов, в то время как практикующему эксплуатанту, в отличие от исследователя, в большей степени интересен продукт краткосрочного прогнозирования на ближайшую перспективу, отражающий динамику развития исследуемых процессов в конце периода наблюдения, что актуально при решении вопросов организации производства, распределения ресурсов, управления запасами.

В сфере научных исследований известны модели, обладающие свойством обратной связи с исследуемым показателем. В таких моделях первоначальная оценка параметров осуществляется по нескольким первым наблюдениям. На основе этих моделей составляются прогнозы, результаты которых сравниваются с фактическими. В последующих шагах в модель вносятся коррективы в соответствии с величинами ошибок и модель вновь используется для прогнозирования следующего уровня. Процесс повторяется до рассмотрения всех значений временного ряда. Таким образом, модель как бы экстраполирует последние тенденции и, таким образом, объективно отражает процессы, сформировавшиеся на заключительном этапе наблюдений.

В известных адаптивных прогнозных моделях процесс собственно адаптации реализуется по-разному. Наиболее применяемыми принято считать модели авторегрессии, а также модели Брауна и Хольта, основанные на применении взвешенной скользящей средней [1].

Метод авторегрессии подразумевает оценку веса текущего уровня на основе взвешенной оценки весов предыдущих уровней.

При реализации методов, основанных на использовании скользящей средней, оценкой текущего уровня является взвешенное среднее всех предшествующих уровней, при этом веса по мере удаления от текущего уровня убывают, в соответствии с этим информационная ценность фиксированных показателей возрастает ближе к концу периода наблюдений.

При наличии статистически надежных результатов наблюдений за показателями надежности, представленных в виде временных рядов, для выполнения прогноза в момент времени t на τ шагов вперед может быть применена модель Бруна [2]:

$$\overline{x_t(\tau)} = a_{1,t} + a_{2,t}\tau, \quad (1)$$

где $a_{1,t}$, $a_{2,t}$ – текущие оценки коэффициентов адаптивного полинома.

В модели Брауна адаптация коэффициентов линейной модели осуществляются следующим образом [1]:

$$a_{1,t} = a_{1,t-1} + a_{2,t-1} + (1 - \beta^2)e_t; a_{2,t} = a_{2,t-1} + a_{2,t-1} + (1 - \beta^2)e_t, \quad (2)$$

где β – коэффициент дисконтирования данных;

e_t – ошибка прогнозирования.

В свою очередь,

$$e_t = x_t - \overline{x}_{t-1}. \quad (3)$$

Начальные значения параметров линейной модели можно определить, например, по нескольким первым значениям методом наименьших квадратов. Оптимальное значение параметра дисконтирования находится в пределах $[0; 1]$ и определяется методом численной оптимизации, являясь постоянным на всем периоде наблюдения.

В процессе осуществления прогноза используется оператор B , $Bx(t) = x(t - 1)$, с помощью которого вся последовательность сдвигается на шаг назад [1].

С помощью оператора B , примененного к результатам наблюдений и к коэффициентам адаптивного полинома, модель Брауна можно представить:

$$(1 - B)^2 x_t = (1 - 2B\beta + B^2\beta^2)e_t. \quad (4)$$

Модель Брауна предусматривает постоянное обновление модели за счет поступления новых данных и может представлять развитие процессов изменения показателей надежности не только в виде линейного процесса, но также в виде стохастического процесса, не проявляющего явной тенденции развития [3].

Несмотря на свою интуитивную ясность, модель Брауна имеет определенные ограничения, обусловленные прежде всего тем обстоятельством, что ее эффективность значима для прогнозирования на один шаг вперед, для трендовых вариантов модели допустимо прогнозирование на один-два шага. Модель Брауна не обладает универсальностью, она адаптируется к конкретному временному ряду показателей надежности, его динамике и структуре и при резких и значительных изменениях условий эксплуатации машинного парка продолжает адаптироваться к условиям эксплуатации машин, имевшим место в прошлом в то время, как в настоящем эти условия стали иными. Для временных рядов, проявляющих явную тенденцию к возрастанию, либо спаду, наиболее простые модели Брауна, например, нулевого порядка, не учитывающие тренд явно, будут систематически занижать прогноз для растущего ряда и завышать для падающего, что приводит к так называемому «эффекту запаздывания», когда прогноз постоянно отстаёт от фактических значений. Модели Брауна первого порядка, учитывающие линейный тренд, так же могут оказаться несостоятельными, если тренд не является строго линейным, либо часто меняет скорость. В этом случае требуются модели более высокого порядка.

Модель Брауна в трендовом варианте (модель первого порядка) можно рассматривать как частный случай более общего метода Хольта.

В модели Хольта коэффициенты линейной модели [1]

$$\overline{x}_t = a_{1,t} + a_{2,t}\tau \quad (5)$$

модифицируются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} a_{1,t} &= a_{1,t-1} + a_{2,t-1} + \alpha_1 e_t; \\ a_{2,t} &= a_{2,t-1} + \alpha_2 e_t. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Начальные значения определяются аналогично модели Брауна. Оптимальные значения параметров сглаживаются α_1 и α_2 находятся в пределах $[0; 1]$ определяются методом многомерной численной оптимизации и постоянны для всего периода.

Модель Хольта, учитывая тенденции в значениях исходного ряда, адаптирует новый коэффициент к предыдущему значению линейного тренда; позволяет строить перспективные прогнозы, так как учитывает несколько факторов прогнозирования (α_1 и α_2) и позволяет регулировать вес исходных данных.

Вместе с тем, модель Хольта также имеет существенные ограничения в применении: допущения о наличии в рядах исходных данных определенных тенденций, которые должны оставаться стационарными на протяжении длительного периода, кроме того, качество прогнозной модели обеспечивается подбором ее коэффициентов, а универсального алгоритма их подбора в настоящее время не разработано. Также одним из существенных граничных условий применения модели Хольта является отсутствие возможности учета сезонных колебаний

Существует модернизированная модель Хорта-Уинтерса, учитывающая тренд и сезонность. Прогноз на τ шагов для аддитивной формы модели:

$$\left. \begin{aligned} a_{1,t} &= \alpha_1(x_t - g_{t-s}) + (1 - \alpha_1)(a_{1,t-1} + a_{2,t-1}); \\ a_{2,t} &= \alpha_3(a_{1,t} - a_{1,t-1}) + (1 - \alpha_3)a_{2,t-1}. \end{aligned} \right\}, \quad (7)$$

где g – фактор сезонности; s – период сезонного цикла.

В аналогичной мультипликативной модели расчетные по линейной модели значения корректируются их умножением на сезонные коэффициенты:

$$\overline{x_t(\tau)} = (a_{1,t} + a_{2,t}\tau)g_{t-s+\tau}, \quad (8)$$

модификация параметров осуществляется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} a_{1,t} &= \alpha_1 \frac{x_t}{g_{t-s}} + (1 - \alpha_1)(a_{1,t-1} + a_{2,t-1}); \\ a_{2,t} &= \alpha_3(a_{1,t} - a_{1,t-1}) + (1 - \alpha_3)a_{2,t-1}; \\ g_t &= \frac{\alpha_2 x_t}{a_{1,t}} + (1 - \alpha_2)g_{t-s}. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Основным достоинством этого метода является возможность учета нескольких составляющих прогноза (тенденция развития, сезонность и показательно сглаженный ряд); возможности учета сезонности развития процессов и долгосрочного прогноза; широкий диапазон применимости.

Метод не лишен и определенных недостатков, к которым относятся, прежде всего, необходимость для повышения точности прогноза длительного периода наблюдения (до 4–5 прогнозных периодов); зависимость точности прогноза от определения параметров сезонности и от уровня шума; итеративность процесса выбора

параметров модели, часто основанного на минимизации ошибок прогноза. В целом, модель Хорта-Уинтерса нецелесообразно применять при большой номенклатуре изучаемых показателей надежности и динамично меняющихся параметрах их потока. В качестве адаптивных методов прогнозирования показателей надежности используются и другие: метод эволюции для двух- и трехпараметрических моделей, метод адаптивной фильтрации, метод гармонических весов, но их применение носит ограниченный характер в силу большой трудоемкости, сложности, чувствительности к помехам, необходимости учета тенденций случайной составляющей и др.

Упомянутые адаптивные методы прогнозирования показателей надежности машин и механизмов позволяют оперативно реагировать на изменяющиеся условия эксплуатации парков машин, учитывать различную информационную ценность уровней временного ряда показателей надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шелобаев, С. И. Математические методы и модели в экономике, финансах, бизнесе / С.И. Шелобаев – Москва: ЮНИТИДАНА, 2001. – 367 с.
2. Гармаш, А. Н. Экономико-математические методы и прикладные модели / А. Н. Гармаш, И. В. Орлова, В. В. Федосеев ; под редакцией В. В. Федосеева. 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2025. – 328 с.
3. Семененко, М. Г. Компьютерная реализация модели Брауна / М. Г. Семененко. – Текст: электронный // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – № 2. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2017/02/78301>.

УДК 614.841.41

А.В. Борисов, В.А. Малышев

Академия гражданской защиты МЧС России

СИСТЕМА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА БАЗОВОГО ШАССИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: рассмотрены система основных технических нормативных правовых актов, определяющих технические требования к базовому шасси пожарных автомобилей и показатели его качества.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, базовое шасси, технические нормативные правовые акты, стандарт, показатель качества

A.V. Borisov, V.A. Malyshev

THE SYSTEM OF QUALITY INDICATORS OF THE BASIC CHASSIS OF FIRE TRUCKS

Abstract: the system of basic technical regulatory legal acts defining the technical requirements for the basic chassis of fire trucks and its quality indicators is considered.

Keywords: fire truck, basic chassis, technical regulations, standard, quality indicator

Определение качества базовых шасси для пожарных автомобилей российского производства осуществляется посредством соблюдения технических нормативных правовых актов (ТНПА). Эти документы, являющиеся результатом деятельности в сфере технического нормирования и стандартизации, утверждаются уполномоченными государственными органами или организациями, ответственными за установление стандартов.

ТНПА служат основой для формирования технических требований к продукции, охватывая весь спектр ее жизненного цикла: от разработки и производства до эксплуатации, хранения, транспортировки, реализации и утилизации, а также к предоставляемым услугам.

Система основных ТНПА, устанавливающих технические требования к шасси пожарных автомобилей, представлена на рисунке.



Рисунок. Система основных технических нормативных правовых актов, определяющих технические требования к базовому шасси пожарных автомобилей

Ключевым документом, регулирующим безопасность колесных транспортных средств, является регламент Таможенного союза «О безопасности колесных транспортных средств» (ТР ТС 018/2011) [1]. Его положения распространяются на все транспортные средства, эксплуатируемые в Российской Федерации, включая специализированные пожарные автомобили. Регламент устанавливает строгие

требования к конструктивной безопасности, устойчивости, эффективности тормозных систем, допустимому уровню шума и экологической совместимости. Целью технического регулирования в данной области является обеспечение социально приемлемого уровня безопасности транспортных средств, а также выполнение международных обязательств государств-членов Таможенного союза в сфере безопасности колесных транспортных средств.

Помимо ТР ТС 018/2011, требования к пожарным автомобилям (ПА) и, соответственно, к их базовым шасси, детализируются в ряде национальных и межгосударственных стандартов. К ним относятся:

- ГОСТ 4.332-85 «Система показателей качества продукции. Автомобили пожарные тушения. Номенклатура показателей», который определяет перечень ключевых характеристик качества [2];

- межгосударственный стандарт ГОСТ 34350-2017 «Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний», устанавливающий общие технические требования и процедуры тестирования для основных типов пожарных автомобилей [3];

- отечественные стандарты ГОСТ Р 58715-2019 «Техника пожарная. Специальные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний» [4] и ГОСТ Р 59213-2020 «Техника пожарная. Аэродромные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний» [5], которые регламентируют аналогичные параметры для специализированных и аэродромных пожарных автомобилей соответственно.

Номенклатура основных показателей качества базового шасси ПА и характеризуемые ими свойства приведены в таблице 1. Эти показатели позволяют комплексно оценить различные аспекты функциональности и надежности шасси.

Конкретные значения показателей качества базового шасси ПА, с учетом требований ТР ТС 018/2011, ГОСТ 33987-2016 [6], ГОСТ 22748-77 [7], ГОСТ Р 59483-2021 [8] и ГОСТ Р 52280-2004 [9], устанавливаются межгосударственным стандартом ГОСТ 34350-2017 и отечественными стандартами ГОСТ Р 58715-2019 и ГОСТ Р 59213-2020.

*Таблица 1. Система показателей качества продукции автомобиля пожарные тушения.
Номенклатура показателей.*

Наименование показателя качества	Наименование характеризуемого свойства
Показатели назначения	
Масса (кг),	Материалоемкость
Удельная мощность, (кВт/кг)	Динамичность и энерговооруженность
Полноприводные и неполноприводные шасси	-
Компоновочная схема шасси	-
Мощность двигателя (максимальная), кВт	Тягово-скоростные возможности
Скорость (максимальная), км/ч	Скоростные возможности
Время разгона автомобиля от нулевой скорости до 60 км/ч, с	Скоростные возможности
Время разгона автомобиля от нулевой скорости до 80 км/ч, с	Скоростные возможности
Угол опрокидывания, град.	Устойчивость
Дорожный просвет, мм	Устойчивость

Наименование показателя качества	Наименование характеризующего свойства
Масса (кг),	Материалоемкость
Угол свеса, град.: передний, задний	Устойчивость
Наименьший радиус поворота автомобиля, м	Проходимость
Радиус проходимости, град: поперечный, продольный	Проходимость
Вид потребляемого топлива	-
Вместимость топливных баков	-
Показатели надежности	
Установленный ресурс до первого капитального ремонта, ч	Долговечность
Полный средний срок службы, лет	Долговечность
Показатели транспортабельности	
Габаритные размеры, мм: ширина, высота, длина	Приспособленность к транспортированию

Ключевым ТНПА является межгосударственный стандарт ГОСТ 34350-2017 «Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний».

Требования ГОСТ 34350-2017 к качеству базового шасси ПА по показателям назначения и надежности приведены в таблице 2.

Таблица 2. Требования ГОСТ 34350-2017 к качеству базового шасси ПА (показатели качества и их значения)

Наименование показателя качества	Значение показателя
Показатели назначения	
Полная масса ПА, кг	не должна превышать 95 % величины максимальной массы, установленной для базового шасси
Габаритные размеры ПА	должны соответствовать требованиям ГОСТ 22748-77. национальным ТНПА (НПА) и ТД на конкретную модель Длина транспортных средств не должна превышать: - для одиночного транспортного средства категорий М1, N и О – 12 м; - для транспортного средства категории L – 4 м; Ширина транспортных средств не должна превышать: - для транспортных средств категории М1 – 2,55 м; - для транспортных средств категорий N ,О – 2,55 м; - для транспортных средств категории L, кроме двухколесных мопедов – 2 м; Высота транспортных средств не должна превышать: - для транспортных средств категорий М1 N, О – 4 м; - для транспортных средств категории L – 2,5 м.

Наименование показателя качества	Значение показателя
Удельная мощность, (кВт/т): пожарные автомобили класса L пожарные автомобили класса М пожарные автомобили класса S Пожарные автомобили первой помощи: класса L класса М	не менее 15 кВт/т не менее 11 кВт/т не менее 9 кВт/т более 20 кВт/т более 15 кВт/т
Полноприводные и неполноприводные шасси	для создания ПА используются неполноприводные и полноприводные шасси в исполнении, соответствующем требованиям настоящего стандарта
Компоновочная схема шасси	Расположение кабины относительно двигателя автомобиля: перед двигателем, над двигателем, за двигателем.
Скорость (максимальная), км/ч	категория N1(ТС с $M_{max} \leq 3,5$ т) – не менее 120 км/ч категория N2 (ТС с $3,5 \text{ т} \leq M_{max} \leq 12$ т) – не менее 110 км/ч категория N3 (ТС с $M_{max} \geq 12$ т) – не менее 110 км/ч
Время разгона автомобиля от нулевой скорости до 60 км/ч, с	Легковые автомобили - 8 -12 с Категория N1 – 15-20 с Категория N2/N3 – 30-40 с
Время разгона автомобиля от нулевой скорости до 80 км/ч, с	Легковые автомобили - 10 -15 с Категория N1- 20-30 с Категория N2/N3 – 40-60 с
Угол поперечной статической устойчивости, град	ПА не оборудованных стрелой – не менее 30°. ПА оборудованных стрелой (комплект колес) не менее 23°-29° – в зависимости от типа ОПА
Угол опрокидывания, град.	Легковые автомобили – 30° - 40° Категория N1-N3 – 15° - 25° (грузовые автомобили)
Дорожный просвет, мм	Дорожный просвет должен быть: под передней осью не менее 180 мм; под задней осью 180 мм; межосевой дорожный просвет должен быть не менее 200 мм.
Угол свеса, град,: передний, задний	Для автомобилей повышенной проходимости: передний свес – 35° - 55° задний свес – более 30° Для автомобилей нормальной проходимости: передний свес – 25° - 42° задний свес – не менее 20°

Наименование показателя качества	Значение показателя
Наименьший радиус поворота автомобиля, м	Легковые автомобили – 4,5-5 м Категория N1 (полная масса до 3,5 т) – 5-6 м Категория N2 (св.3.5 т до 12 т)/N3 (св.12 т) – 7- 10 м
Радиус проходимости, мм: поперечный, продольный	Поперечный радиус проходимости: - легковые автомобили: 250-350 мм - внедорожники: 350-500 мм - грузовые автомобили: 400-600 мм Продольный радиус проходимости: - легковые автомобили: 1500-2000 мм - внедорожники: 2000-3000 мм - грузовые автомобили: 2500-4000 мм
Вид потребляемого топлива	Определяется производителем базового шасси в зависимости от типа силовой установки (СУ)
Вместимость топливных баков	Вместимость топливного бака должна обеспечивать запас хода автомобиля не менее чем на 400 км
Показатели надежности	
Установленный ресурс до первого капитального ремонта, ч	не менее 30000 км
Полный средний срок службы, лет	не менее 10 лет
Наработка автомобиля на отказ при пробеге	не менее 15000 км

Технические требования к шасси конкретного типа пожарных автомобилей определяются исходя из специфики эксплуатации и решаемых задач.

Таким образом, основные технические требования к шасси современных пожарных автомобилей направлены на обеспечение их надежности, функциональности и безопасности. Эти требования регулируются межгосударственными и национальными ТНПА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств (с изменениями на 5 декабря 2025 года) = Tehnicheskij reglament Tamozhennogo_sojuza. O_bezopasnosti: издание официальное: утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 877. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320285>.

2. ГОСТ 4.332–85. Система показателей качества продукции. Автомобили пожарные тушения. Номенклатура показателей = Product-quality index system. Fire extinguishing trucks. Nomenclature of indices: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 ноября 1985 г. № 3715: действующий: дата введения 01.01.87 / разработан

Министерством внутренних дел СССР. – Москва: Издательство стандартов, 1986. – 18 с. – Текст: электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id42938&ysclid=mleymqw0ey38743759>.

3. ГОСТ 34350–2017. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний = Fire-fighting techniques. Fire extinguishing trucks. General technical requirements. Test methods: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 сентября 2018 г. № 650-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 34350–2017 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2019 г.: введен впервые: дата введения 2019-03-01 / разработан ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2018. – 66 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160617?section=text>.

4. ГОСТ Р 58715–2019. Техника пожарная. Специальные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний = Fire equipment. Special fire engine vehicles. General technical requirements. Test methods: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2019 г. № 1327-ст.: введен впервые: дата введения 2021-01-01/ разработан ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2020. – 23 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200169977>.

5. ГОСТ Р 59213–2020. Техника пожарная. Аэродромные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний = Fire equipment. Special fire engine vehicles. General technical requirements. Test methods: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2020 г. №1174-ст: введен впервые: дата введения 2021-09-01/ разработан ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2020. – 22 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177461>.

6. ГОСТ 33987–2016. Транспортные средства колесные. Массы и размеры. Технические требования и методы определения = Wheeled vehicles. Masses and dimensions. Technical requirements and determination methods: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 июня 2017 г. № 548-ст: введен впервые: дата введения 2018-02-01 / разработан ФГУП ВНИИИНАШ – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2017. – 24 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200145826>.

7. ГОСТ 22748–77. Автотранспортные средства. Номенклатура наружных размеров. Методы измерений = Motor vehicles. List of outside dimensions. Methods of measuring: издание официальное: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27.10.77 № 2508: действующий: дата введения 1979-01-01, – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ»,

2017. – 15 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010011>.

8. ГОСТ Р 59483–2021. Колесные транспортные средства. Термины и определения = Wheeled vehicles. Terms and definitions: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 мая 2021 г. N 344-ст: введен впервые: дата введения 2021-09-01 / разработан ФГУП «НАМИ» – Москва: ФГУП «СТАНДАРТИМФОРМ», 2021. – 113 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200179574>.

9. ГОСТ Р 52280–2004. Автомобили грузовые. Общие технические требования = Trucks. General technical requirements: издание официальное: утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2004 г. N 107-ст: введен впервые: дата введения 2005-07-01 / разработан ФГУП «НАМИ», ФГУП 21 НИИИ АТ МО РФ – Москва: ИПК Издательство стандартов, 2005. – 13 с. – Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: [сайт]. – 2026. – 9 февр. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200038809>.

УДК 621.3.019.34

В.М. Будакова, Е.С. Бершанская, А.Н. Дюльдина, Г.В. Чекан

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ НА АЭС И ТЭС

Аннотация: Данный текст посвящён критической роли надёжности измерительных датчиков в системах контроля атомных (АЭС) и тепловых (ТЭС) электростанций. В нём объясняется, что эти датчики, являясь «органами чувств» энергоблока, непрерывно отслеживают ключевые параметры (давление, температура, расход, уровень, вибрация). Подчёркивается, что их отказ может привести к катастрофическим последствиям. Текст описывает основные типы датчиков, причины их возможных неисправностей, традиционные методы обеспечения надёжности (дублирование, поверка) и современные тенденции модернизации, такие как внедрение «умных» датчиков с самодиагностикой, беспроводных технологий и систем предсказательного обслуживания. Дается вывод, что инвестиции в надёжность и модернизацию датчиков — это основа безопасности и стабильной работы энергообъектов.

Ключевые слова: надёжность, датчики, АЭС, ТЭС, безопасность, измерение, контроль, давление.

V.M. Budakova, E.S. Bershanskaya, A.N. Dyul'dina, G.V. Chekan

RELIABILITY OF MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS AT NUCLEAR AND THERMAL POWER PLANTS

Abstracts: This text focuses on the critical role of measurement sensor reliability within the control systems of nuclear (NPP) and thermal (TPP) power plants. It explains that these sensors, acting as the senses of a power unit, continuously monitor key parameters (pressure, temperature, flow rate, level, vibration). It emphasizes that their failure can lead to catastrophic consequences. The text describes the main types of sensors, causes of their potential malfunctions, traditional methods for ensuring reliability (duplication/redundancy, calibration), and modern modernization trends, such as the implementation of 'smart' sensors with self-diagnostics, wireless technologies, and predictive maintenance systems. The conclusion states that investment in sensor reliability and modernization is fundamental to the safety and stable operation of energy facilities.

Keywords: reliability, sensors, NPP, TPP, safety, measurement, control, pressure.

Современные атомные и тепловые электростанции функционируют как сложные энергетические комплексы, безопасность которых напрямую зависит от достоверности информации о состоянии оборудования. Ключевую роль в её сборе играют измерительные датчики, контролирующие давление, температуру, расход и другие параметры. Отказ или метрологический дрейф даже одного такого устройства может исказить картину технологического процесса и спровоцировать развитие аварийной ситуации, что на объектах ядерной энергетики сопряжено с особыми рисками.

Таким образом, проблема надежности измерений выходит за рамки технической задачи, становясь вопросом безопасности. Цель данной работы — проанализировать роль датчиков в обеспечении безопасности АЭС и ТЭС, классифицировать основные типы сенсоров, рассмотреть традиционные методы повышения отказоустойчивости и современные тенденции модернизации измерительных каналов, включая внедрение систем диагностики и прогнозирования.



2.1. Датчики температуры

Термопреобразователи (термопары и термометры сопротивления) предназначены для непрерывного контроля температурного режима элементов оборудования.



2.2. Датчики давления

Данный класс приборов (манометры, преобразователи давления) используется для измерения давления рабочей среды в замкнутых объемах.



2.3. Датчик расхода

Расходомеры обеспечивают измерение количества жидкости, пара или газа, проходящего через сечение трубопровода в единицу времени. Точность измерения расхода питательной воды и топлива определяет эффективность тепловых процессов.



2.4. Датчики уровня. · Задача: Показывает, сколько воды в баке, котле или сепараторе.



2.5. Датчики вибрации

Вибропреобразователи предназначены для диагностики механического состояния вращающегося оборудования.



2.6 Датчик нейтронного потока

На АЭС: Датчики нейтронного потока (ионизационные камеры), предназначенные для контроля плотности потока нейтронов в активной зоне реактора, что позволяет судить о мощности и скорости протекания цепной ядерной реакции.



2.7 Газоанализатор

На ТЭС: Газоанализаторы (кислородомеры, СО-меры), устанавливаемые в газоходах для контроля полноты сгорания топлива и определения концентрации вредных выбросов в атмосферу.

Рисунок. Виды датчиков

Системы измерения: классификация и функции датчиков. Измерительные преобразователи (датчики) выполняют функцию первичных элементов в иерархии автоматизированных систем управления технологическими процессами. Они преобразуют контролируемую неэлектрическую величину в электрический сигнал, удобный для передачи и обработки. В зависимости от измеряемой среды и физического принципа действия на АЭС и ТЭС применяются различные типы датчиков.

Факторы, определяющие требования к надежности датчиков.

Эксплуатация средств измерений на объектах энергетики сопряжена с воздействием комплекса дестабилизирующих факторов, что обуславливает повышенные требования к их надежности.

К числу таких факторов относятся:

- Экстремальные условия эксплуатации;
- Непрерывный цикл генерации энергии, исключающий возможность длительного останова оборудования для ремонта или замены измерительных каналов;
- Высокая цена отказа: последствия искажения информации.

Типовые неисправности и отказы измерительных каналов. В процессе эксплуатации в измерительных датчиках могут наблюдаться следующие виды неисправностей:

- Метрологический отказ (дрейф): Постепенное изменение выходного сигнала.
- Засорение импульсных линий: Нарушение сообщения чувствительного элемента датчика давления (расхода) со средой.
- Отказ электронного тракта: Выход из строя элементов схемы преобразования и нормализации сигнала.
- Ошибки монтажа и настройки: Человеческий фактор.

Методы обеспечения надежности. Для минимизации рисков, связанных с отказами измерительных каналов, в практике проектирования и эксплуатации АЭС и ТЭС применяются следующие методы:

- Структурное резервирование (дублирование): наиболее ответственные параметры контролируются посредством не менее трех независимых датчиков, работающих параллельно.
- Метрологическая поверка и калибровка: Периодическое сравнение показаний рабочих датчиков с эталонными значениями с целью выявления и устранения метрологического дрейфа.
- Регламентное техническое обслуживание: Проведение профилактических мероприятий, включающих очистку, внешний осмотр и проверку работоспособности.
- Применение различных физических принципов измерения: Использование для контроля одного параметра датчиков с разным принципом действия.

Современные тенденции модернизации датчиков. В настоящее время наблюдается переход от традиционных аналоговых датчиков к интеллектуальным измерительным системам.

Таблица. Направления модернизации

Направление модернизации	Основные характеристики
1. Интеллектуальные («умные») датчики	Интеграция микропроцессора в корпус датчика для расширения функционала: • Автоматическая диагностика: Непрерывный самоконтроль, выявление неисправностей и дрейфа, передача статуса в АСУ.
2. Беспроводные сенсорные сети	Использование беспроводных датчиков для контроля параметров, не критичных для противоаварийной защиты (например, вибрация вспомогательного оборудования).
3. Системы прогностики	Анализ больших данных (Big Data) с датчиков с помощью машинного обучения. • Результат: Переход от обслуживания по регламенту к обслуживанию по фактическому состоянию.
4. Применение новых материалов	Использование в конструкции датчиков современных материалов для работы в экстремальных условиях. • Примеры: Керамические чувствительные элементы, защитные покрытия с высокой коррозионной и эрозионной стойкостью.

Измерительные датчики, несмотря на их компактные размеры, являются критическими элементами систем безопасности и управления АЭС и ТЭС. Их надежность и метрологическая стабильность являются необходимым условием безопасной и экономически эффективной эксплуатации генерирующих мощностей. Традиционные подходы (резервирование, периодическая поверка) в сочетании с современными тенденциями цифровизации — внедрением интеллектуальных датчиков с функциями самодиагностики и прогностической аналитики — позволяют качественно повысить уровень ситуационной осведомленности персонала. Инвестиции в модернизацию измерительных комплексов и повышение их отказоустойчивости следует рассматривать как стратегические вложения в промышленную безопасность и надежность энергосистемы в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Модернизация систем контроля и управления ТЭС // ЛЭГ: [сайт]. – 2011. – URL: <https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/modernizaciya-sistem-kontrolya-i-upravleniya-tes.html>.
2. Мониторинг атомных электростанций (АЭС) // TML Japan – Японские измерительные технологии: [сайт]. – URL: <https://www.tmljp.ru/solutions/927>.
3. Реут, О. П. Методы и приборы контроля водно-химического режима ТЭС : учеб.-метод. пособие / О. П. Реут, В. П. Куличенков, А. А. Чепуркин. – Минск: БНТУ, 2015. – 78 с.

4. Уровнемер поплавковый ЭЛЕМЕР-УПП-11 // Propribory.ru: всё для КИПиА : [сайт]. – URL: <https://propribory.ru/product/277157>.

5. Расходомер-счетчик, арматура из нержавеющей стали ВЗЛЕТ ЭМ ПРОФИ-222 Ду 25 мм // ТД «Автоматика»: [сайт]. – URL: https://tdatm.ru/catalog/kontrolno_izmeritelnye_pribory_kipia/raskhodomer_schetchik_armatura_iz_nerzhavayushchey_stali_vzlet_em_profi_222_du_25_mm.html.

УДК 621.314.223

Н.Д. Горбунов, П.И. Киян, К.Т. Котков, Г.В. Чекан

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

НАДЕЖНОСТЬ АВТОТРАНСФОРМАТОРА АТМН НА БЕЛОЯРСКОЙ АЭС

Аннотация: Статья посвящена анализу надежности автотрансформатора АТМН на 3-ем энергоблоке Белоярской АЭС с реактором БН-600. Рассмотрено влияние четырех эксплуатационных факторов: перепадов нагрузки, вибрационных и температурных воздействий, а также электромагнитных помех.

Ключевые слова: автотрансформатор АТМН, надежность, Белоярская АЭС.

N.D. Gorbunov, P.I. Kiyan, K.T. Kotkov, G.V. Chekan

RELIABILITY OF THE ATMN AUTOTRANSFORMER AT THE BELOYARSK NUCLEAR POWER PLANT

Abstracts: The article deals with the reliability analysis of the ATMN autotransformer at the 3rd power unit of the Beloyarsk NPP with a BN-600 reactor. The influence of four operational factors is considered: load fluctuations, vibration and temperature effects, as well as electromagnetic interference.

Keywords: ATMN autotransformer, reliability, Beloyarsk NPP.

Автотрансформатор АТМН мощностью 6000 кВА является одним из важнейших элементов системы питания главных циркуляционных насосов (ГЦН) 3-го энергоблока с реактором БН-600 Белоярской АЭС. В отличие от обычных силовых трансформаторов, АТМН обеспечивает глубокое и ступенчатое регулирование напряжения под нагрузкой, что критически важно для поддержания различных режимов работы ГЦН.

С учетом, что выход из строя данного автотрансформатора может привести к снижению выработки электроэнергии, анализ его надежности по ключевым критериям является актуальной задачей [6].

Трансформатором называется электромагнитное устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии переменного тока одного напряжения в электрическую энергию переменного тока другого напряжения при неизменной частоте.

В некоторых случаях из экономических соображений целесообразно применять так называемые автотрансформаторы. Отличие их от обычных заключается в том, что обмотки имеют не только магнитную, но и электрическую связь [5].

Расшифровка маркировки данного трансформатора:

А – автотрансформатор;

Т – трехфазное исполнение;

М – охлаждение за счет естественной циркуляции воздуха и масла;

Н – одна обмотка выполнена с регулированием напряжения под нагрузкой [2].

В данной работе будут рассмотрены методы, которыми пытаются добиться надежности автотрансформатора, какие существуют стандарты и как соблюдаются эти нормы непосредственно на 3-ем энергоблоке Белоярской АЭС.

Как отмечает официальный сайт Росэнергоатома: «За качеством производства резервного автотрансформатора был особый контроль на каждом этапе изготовления. Специальную приёмку проходил каждый изготовленный элемент: тело бака, обмотка, релейная защита и другие составляющие» [7]. Данные слова также подтверждает и Атом Медиа: «31 марта 2025 года Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) выдала Концерну «Росэнергоатом» (Электроэнергетический дивизион госкорпорации «Росатом») разрешение на дополнительный 15-летний срок эксплуатации энергоблока № 3 с реактором на быстрых нейтронах БН-600 Белоярской АЭС. Его надёжность подтверждена Ростехнадзором в результате комплексной оценки технического состояния энергоблока, позволившей сделать вывод о возможности его дальнейшей эксплуатации до 2040 года и полном соответствии оборудования всем современным стандартам безопасности» [8].

Далее надёжность автотрансформатора АТМН будет рассматриваться по четырем следующим критериям: перепады нагрузки, вибрационные и температурные воздействия, а также электромагнитные помехи, с опорой на общую теорию электрических машин и известные технические характеристики оборудования.

Основное функциональное назначение автотрансформатора типа АТМН — плавное или ступенчатое регулирование напряжения под нагрузкой. Об этом свидетельствует буква «Н» в его маркировке. Это особенно важно для Белоярской АЭС, где обычный трансформатор не подходит из-за необходимости широкого диапазона регулировки в зависимости от режима работы ГЦН, перекачивающего натрий.

Надёжность при перепадах нагрузки обеспечивается конструкцией оборудования. Как указано в технической документации на аналогичные устройства (АТМН-10000/10), для этой цели применяются специальные переключающие устройства, которые допускают ручное, дистанционное и автоматическое управление [9]. Способность автотрансформатора выдерживать цикличность включений, скачки тока при пуске мощного насоса и длительную работу в различных точках диапазона регулирования является основой его эксплуатационной надёжности. Наличие резервного агрегата, доставленного на станцию в 2023 году, дополнительно страхует энергоблок от простоев, связанных с отказом основного оборудования при критических перепадах нагрузки.

Надежность оборудования на атомной станции невозможна без учета вибрационных нагрузок. Источниками вибрации являются как работа самого трансформатора, так и работа ГЦН. Не стоит также исключать возможные внешние факторы, включая сейсмические воздействия.

Одним из весьма эффективных способов оценки технического состояния силовых трансформаторов является вибрационное обследование [3].

При проведении анализа используют 12 датчиков для измерения виброскорости: 6 на высоковольтной стороне бака трансформатора (HV) и 6 на низковольтной стороне (LV). Датчики должны быть примерно равноудалены от контролируемых элементов и не должны располагаться вблизи трубопроводов и ребер жесткости. Рекомендуемые места крепления датчиков виброскорости показаны на рисунке [1].

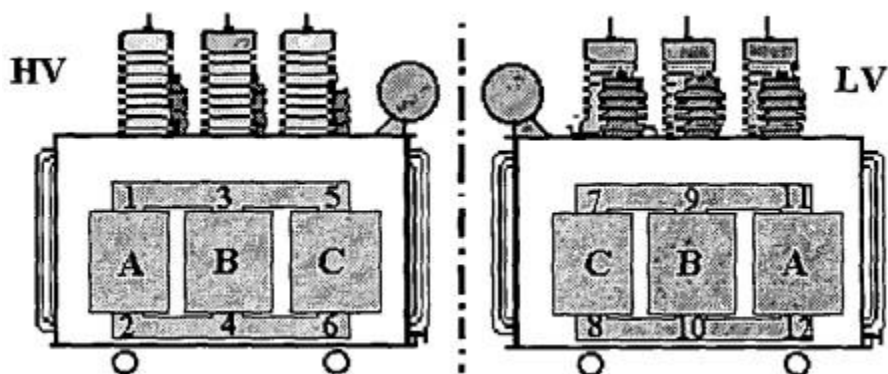


Рисунок. Рекомендуемые места крепления датчиков виброскорости на баке трансформатора

По результатам вибрационного обследования можно судить о состоянии фундамента трансформатора, состоянии охлаждающих вентиляторов и масляных насосов, качестве прессовки обмоток и магнитопровода, а также производить балансировку вентиляторов системы охлаждения и устранять резонансные явления [3].

В автотрансформаторе АТМН применяется естественное масляное охлаждение (буква «М» в маркировке). Это означает, что циркуляция масла осуществляется за счет конвекции: нагретое масло поднимается, проходит через охладители (радиаторные трубы), отдает тепло и опускается вниз.

Надежность АТМН в условиях высоких нагрузок обеспечивается: качеством изоляции (предельно допустимая температура для изоляции обмоток (класс А, В, F или H) не должна превышать, т.к. превышение температуры на каждые 6°C для трансформаторов сокращает срок службы изоляции вдвое) и контролем состояния масла (наличие расширителя, термосифонных фильтров и датчиков температуры (манометрических термометров) позволяет контролировать состояние масла и предотвращать перегрев) [4].

В соответствии с ГОСТ 11677-85, трансформаторы оснащаются термометрами и газовым реле для контроля состояния масла и предотвращения перегрева.

Автотрансформатор, являясь мощным источником электромагнитного поля, сам подвержен влиянию помех от другого оборудования энергоблока (высоковольтные выключатели, частотные преобразователи, работа реакторной установки). Сбои в работе релейной защиты, вызванные электромагнитными помехами, могут привести к ложному отключению ГЦН.

Так надежность в условиях электромагнитных помех обеспечивается конструкцией магнитопровода (замкнутая система локализует основное магнитное поле внутри себя, снижая поле рассеяния), экранированием цепей управления, качеством изоляции обмоток, проходящей контроль на производстве согласно ГОСТу 11677 — 85, а также релейной защитой (газовым реле, датчиками и болтами, которые отключают оборудование при возникновении внутренних повреждений, спровоцированными помехами), оснащенной по ГОСТу 21130 — 75.

Надежность автотрансформатора АТМН на 3-ем энергоблоке Белоярской АЭС обеспечивается как на этапе проектирования и производства, так и в процессе эксплуатации. Анализ воздействий по четырем ключевым критериям (нагрузка, вибрация, температура, помехи) показывает, что оборудование спроектировано и эксплуатируется с учетом всех критических факторов. Приобретение резервного агрегата в 2023 году практически исключает риск длительного простоя энергоблока из-за неисправности системы питания ГЦН, тем самым гарантируя стабильность выработки электроэнергии до 2040 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вилков С.А. Вибрационная диагностика как способ оценки технического состояния трансформаторов // Технические науки – от теории к практике. 2013. №21.
2. Общая энергетика: энергетическое оборудование. В 2 частях. Ч. 2: справочник для вузов / Г.Ф. Быстрицкий, Э. А. Киреева. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 371 с.
3. Русов В.А, Софьина Н.Н. «Вибрационное обследование и диагностика состояния трансформаторов» // Методы и средства оценки состояния Энергетического оборудования. Выпуск 11. Спб.: ПЭИПК, 2000. – С. 38-53.
4. Тепловые и атомные электростанции: Справочник / Под общ. ред. чл.- корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003 – 648 с.: ил. – (Теплоэнергетика и теплотехника; Кн. 3).
5. Электротехника и электроника. Учебник для вузов. – В 3-х кн. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины / В. И. Киселев, А. И. Капылов, Э. В. Кузнецов и др. Под ред. проф. В. Г. Герасимова. – 2-е издание, стереотипное. – М.: ООО «Торгово-Издательский Дом «Арис», 2010. – 272 с.: ил.
6. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://www.atomic-energy.ru/news/2023/07/31/137661>.
7. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://www.rosenergoatom.ru/stations_projects/sayt-beloyarskoy-aes/press-tsentr/novosti/44288.
8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://atommedia.online/press-releases/beloyarskaya-aes-poluchila-litsenziyu-rostekhnadzora-na-prodlenie-ekspluatatsii-energobloka-3-do-204>.
9. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://electro.mashinform.ru/transformatory-regulirovochnye-i-stabiliziruyushchie-v-tom-chisle-voltodobavochnye/avtotransformator-regulirovochnyj-tipa-atmn-10-000-10-73u1-obj3391.html>.

УДК 614.846:621.791.92

И.А. Деменчук, М.А. Гавриленко, А.С. Белов

Дальневосточная пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России - филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИ НАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ: УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА И СОКРАЩЕНИЕ ПРОСТОЕВ

Аннотация: В статье рассматривается возможность применения методов аддитивного производства (в частности, лазерной наплавки) для восстановления изношенных узлов пожарной техники. Проведен анализ эффективности этих методов в условиях дефицита оригинальных запасных частей. Обосновано, что внедрение аддитивных технологий позволяет не только восстановить геометрические параметры деталей, но и улучшить их эксплуатационные характеристики, сократив время простоя спецтехники.

Ключевые слова: пожарная техника, аддитивные технологии, лазерная наплавка, восстановление деталей, надежность, долговечность, ремонт, эксплуатация.

I.A. Demenchuk, M.A. Gavrilenko, A.S. Belov

APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES FOR RECOVERY OF CRITICALLY LOADED PARTS OF FIRE EQUIPMENT: INCREASING RESOURCE AND REDUCING DOWNTIME

Abstracts: The article considers the possibility of using additive manufacturing methods (in particular, laser surfacing) to restore worn-out units of fire fighting equipment. An analysis of the effectiveness of these methods in the conditions of a defect in original spare parts was carried out. It is justified that the introduction of additive technologies allows not only to restore the geometric parameters of parts, but also to improve their performance, reducing the downtime of special equipment.

Keywords: fire fighting equipment, additive technologies, laser surfacing, parts recovery, reliability, durability, repair, operation.

Пожарно-спасательная техника, эксплуатируемая в подразделениях Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России), представляет собой сложный комплекс высокотехнологичного оборудования, функционирующего в условиях экстремальных нагрузок и агрессивных сред

Коэффициент технической готовности (КТГ) является ключевым показателем, характеризующим способность подразделений выполнять возложенные по предназначению. Расчет КТГ определяется отношением количества исправных и работоспособных мобильных технических средств к их списочному составу.

Нормативное значение КТГ на оценку «удовлетворительно» установлено не менее 0,85, при этом значение КТГ на оценку «хорошо» составляет от 0,88 до 0,9, а «отлично» - свыше 0,9 [3].

Пожарно-спасательная техника МЧС России эксплуатируется в уникальных условиях, которые существенно отличаются от режимов работы обычного транспорта или промышленного оборудования. Постоянный контакт с агрессивными огнетушащими составами, работа на максимальных оборотах двигателей и гидравлических насосов, а также интенсивная эксплуатация в условиях плотной городской застройки или бездорожья создают комплекс неблагоприятных факторов, которые приводят к ускоренному износу критически важных деталей.

Металлы деталей подвержены коррозионным процессам различной природы – химической и электрохимической. Химическая коррозия возникает, если среда является электролитом, роль которого может выполнять влага с примесями окислов, солей и других агрессивных компонентов [7].

Критически нагруженные детали – валы пожарных насосов, шестерни трансмиссий, штоки гидравлических аутригеров и цилиндров – подвергаются интенсивному износу в условиях высоких механических нагрузок, ударных воздействий и абразивного изнашивания. Особую опасность представляет кавитационное разрушение рабочих колес центробежных насосов, которое возникает при значительном понижении абсолютного давления у входа в насос. Такого вида разрушению подвержены все металлы, но не в равной мере: менее стойкими являются алюминиевые сплавы и чугун, подвергавшийся резанием; более стойки необработанные чугунные поверхности, бронза и углеродистая сталь; наиболее устойчива аустенитная нержавеющая сталь [6].

В условиях ограниченности поставок оригинальных комплектующих, обусловленной как экономическими факторами, так и процессами импортозамещения, вопрос восстановления деталей с сохранением или улучшением их физико-механических свойств становится приоритетным направлением технического обеспечения подразделений МЧС России.

Аддитивные технологии (АТ) открывают новые горизонты в области ремонтного производства, позволяя реализовать стратегию «восстановление вместо замены». Под адаптивными технологиями понимается процесс создания объекта путем послойного добавления материала, в отличие от субтрактивных методов (точение, фрезирование), при которых лишний материал удаляется.

В контексте ремонта пожарно-спасательной техники ключевой технологией является LMD (Laser Meta Deposition – лазерная наплавка металлом). Суть процесса заключается в подаче металлического порошка в зону плавления, создаваемую лазерным лучом на поверхности восстанавливаемой детали. При этом формируется металлургическая связь между наплавленным слоем и основным металлом детали, обеспечивающая целостность конструкции при динамических нагрузках.

Современные технологии лазерной наплавки позволяют достигать скорости охлаждения жидкой фазы расплава металла достигает 102, 103 град/сек, что реализует режим автозаковки и приводит к формированию чрезвычайно мелкодисперсной структуры с повышенной износостойкостью. Диаметр сфокусированного лазерного луча составляет 0,2-0,3 мм, что позволяет минимизировать объемы расплава и соответственно уменьшить тепловложения в обрабатываемый материал [15].

Ключевые понятия аддитивного восстановления включают:

- Зона термического влияния (ЗТВ) – область основного металла, подвергшаяся нагреву, при котором произошли изменения структуры или свойств, но не произошло расплавления. При лазерной наплавке ЗТВ минимальна и составляет 0,1–0,5 мм, что

исключает коробление ответственных деталей и сохраняет геометрическую точность восстанавливаемых изделий [8];

- Адгезия (прочность сцепления) – в контексте аддитивного восстановления это металлургическая связь наплавленного слоя с основой, обеспечивающая целостность детали при динамических нагрузках. Прочность адгезии при лазерной наплавке достигает 400-600 МПа, что значительно превосходит показатели традиционных методов [10].

Традиционные методы восстановления, такие как гальваническое хромирование или другая наплавка, зачастую не отвечают современным требованиям к долговечности узлов. Наплавка электродами связана со значительным перегревом детали, что приводит к деформации и изменению структуры металла в зоне термического влияния (ЗТВ), достигающей 3-25 мм. Гальванические покрытия, в свою очередь, склонны к отслоению при ударных нагрузках, характерных для условий эксплуатации пожарной техники [13].

Для выбора оптимальной стратегии ремонта необходимо понимать качественные различия между существующими подходами. В таблице представлены сравнительные характеристики, позволяющие оценить целесообразность применения современных аддитивных методов в условиях ремонтных мастерских пожарно-спасательных академий и частей.

Таблица. Сравнительная характеристика методов восстановления деталей пожарной техники

Параметр сравнения	Гальваническое покрытие	Традиционная наплавка	Аддитивное восстановление (LMD)
Твердость слоя (HRC)	50-60 (хрупкое)	35-45	45-65 (регулируется)
Прочность сцепления	Средняя	Высокая	Очень высокая
Стоимость восстановления	Низкая	Низкая	Средняя/высокая
Скорость процесса	Низкая	Средняя	Высокая
Зона термического влияния	Отсутствует	Значительная	Минимальная
Экологичность	Низкая	Средняя	Высокая

Анализ таблицы показывает, что аддитивные технологии превосходят традиционные методы по совокупности показателей: твердости, управляемости процесса и экологичности. Минимальная зона термического влияния при лазерной наплавке исключает риск деформации прецизионных деталей, что критически важно для восстановления валов насосов и штоков гидроцилиндров.

Лазерная наплавка позволяет создавать градиентные структуры, в которых слой металла плавно переходит от вязкой основы к сверхтвердой износостойкой поверхности. Это достигается за счет возможности изменения состава порошковой смеси непосредственно в процессе наплавки, что крайне важно для штоков гидравлических механизмов, работающих под высоким давлением.

Современные системы лазерной наплавки обеспечивают скорость процесса до 5 кг/час в зависимости от режима и используемого порошка [11]. При этом точность позиционирования лазерного луча составляет $\pm 0,05$ мм, что позволяет восстанавливать сложные геометрические формы без последующей обработки или с минимальным припуском на чистовую механическую обработку [9]

Применение порошков на основе никеля (например, сплавы типа Inconel 718, Inconel 625) и кобальта (сплавы типа Stellite) обеспечивают повышенную коррозионную стойкость и жаропрочность восстановленных деталей [12]. Это особенно актуально для элементов пожарных насосов, работающих в условиях высоких температур и агрессивных сред.

Внедрение аддитивных технологий позволяет реализовать концепцию «ремонта по состоянию». Вместо замены дорогостоящего узла (например, центробежного насоса НЦПК), подвергшегося локальному износу посадочных мест под подшипники, производится наплавка слоя металла с последующей чистовой обработкой. Это позволяет увеличить межремонтный ресурс за счет применения специальных порошковых материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с исходным материалом детали.

Кроме того, наличие на базе академии, или же в части аддитивного оборудования позволяет сократить сроки восстановления критически важных для оперативной готовности подразделений. В условиях, когда простой пожарной техники снижает оперативную готовность подразделений. Традиционный путь – ожидание новой детали, поставка которой может занять от 10 до 60 суток, согласно нормативным документам МЧС России [1]. Внедрение аддитивных технологий на ремонтной базе академии позволяет сократить этот цикл до 1-7 дней, включая этапы цифрового сканирования изношенных деталей, генерации траектории наплавки, послойного наращивания материала и финишной обработки [2].

Цифровое сканирование позволяет создать точную трехмерную модель изношенной детали и определить геометрию наплавляемого слоя точностью 0,01 мм. На основе полученных данных программное обеспечение генерирует траектории движения лазерной головки, обеспечивая оптимальное распределение материала и минимальное количество проходов [4].

Современное состояние аддитивных технологий в России характеризуется активным развитием отечественного оборудования и материалов. Российские предприятия, такие как НПО «ИРЭ-Полюс», НПЦ «Лазеры и аппаратура» и НПК «Морсвязьавтоматика», выпускают установки промышленные установки лазерной наплавки, обеспечивающие восстановление деталей машиностроительного профиля с массой от единиц килограммов до нескольких сотен килограммов [5, 14].

На основании вышеизложенного, внедрение аддитивных технологий в ремонтные подразделения МЧС России позволяет решать сразу комплекс задач:

- Восстановление валов пожарных насосов с износом посадочных мест под подшипники и уплотнения. Как правило, такие валы подлежали замене из-за невозможности обеспечить требуемую точность и прочность соединения при использовании традиционных методов наплавки.

- Ремонт штоков гидравлических цилиндров аутригеров пожарных автомобилей, подвергающихся абразивному износу в условиях эксплуатации на загрязненных пожарных объектах.

- Ремонт корпусных деталей насосов, подвергшихся кавитационному разрушению рабочих поверхностей.

Экономический эффект применения аддитивных технологий в ремонтном производстве МЧС России достигается за счет нескольких факторов:

1. Сокращение затрат на приобретение оригинальных запчастей;

2. Уменьшение времени простоя техники, что критически важно для поддержания требуемого уровня оперативной готовности подразделений.

Оперативная эффективность проявляется в возможности быстрого реагирования на внештатные ситуации. При выходе из строя критически важного узла в период проведения масштабных учений или при ликвидации чрезвычайной ситуации наличие собственных возможностей по восстановлению деталей позволяет избежать снятия техники с боевого дежурства.

Учитывая 60-летнюю историю Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, внедрение таких передовых научных решений в образовательный и ремонтный процесс представляется логичным и необходимым этапом развития инженерной школы спасательного ведомства.

Создание на базе академии центра компетенций по аддитивным технологиям позволит не только обеспечить ремонтные нужды, но и проводить подготовку и переподготовку специалистов ремонтных подразделений всех территориальных органов данной структуры.

Таким образом, использование аддитивных технологий в структуре Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий – это переход на качественно новый уровень технического обеспечения. Лазерная порошковая наплавка позволяет не только сократить время простоя техники из-за отсутствия запасных частей, но и существенно повысить надежность критически важных узлов пожарных машин за счет применения современных материалов и технологических процессов.

Внедрение аддитивных технологий обеспечивает решение стратегических задач импортозамещения в сфере запасных частей, повышение коэффициента технической готовности парка техники и развитие научно-технического потенциала ведомства. Опыт ведущих отечественных предприятий и научных организаций свидетельствует о высокой эффективности данного направления и его перспективности для масштабного применения в системе МЧС России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: Приказ МЧС России от 01.10.2020 № 737 (ред. от 17.10.2025). – Текст: электронный // Rulaws.ru: [сайт]. – URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-MCHS-Rossii-ot-01.10.2020-N-737>.

2. Анализ применения технологии лазерной наплавки при ремонте ключевых компонентов в различных областях. – 2025. – Текст: электронный // Guosheng Laser: [сайт]. – URL: <https://ru.guoshenglaser.com/info/application-analysis-of-laser-cladding-technol-17584613289485312.html>.

3. Аристархов, В. А. Модели и алгоритмы управления технической готовностью пожарно-спасательных подразделений: дис. ... канд. техн. наук / Аристархов Владимир Александрович. – Москва, 2022. – Текст: электронный // Академия ГПС МЧС России: [сайт]. – URL: <https://academygps.ru/upload/iblock/d83/015n4olhb93gjq2ki2e5pcindy42h7d9.pdf>.

4. Использование 3D-сканирования в технологии машиностроения. – 2025. – Текст: электронный // КиберЛенинка: [сайт]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-3d-skanirovaniya-v-tehnologii-mashinostroeniya>.

5. Истомина, Н. Л. Лазеры в металлообработке / Н. Л. Истомина, Л. В. Карякина. – 2023. – Текст: электронный // Лазер.рф: информационный портал. – URL: <https://лазер.рф/2023/10/18/27054>.
6. Кавитация центробежных насосов. – Текст: электронный // ТеплоПрофи: [сайт]. – URL: <https://www.teploprofi.com/blog/kavitatsiya-tsentrobeznykh-nasosov>.
7. Коррозия металлов: виды, причины и методы защиты. – 2025. – Текст: электронный // Иннер: [сайт]. – URL: <https://inner.su/articles/korroziya-metallov-eto>.
8. Лазерная наплавка деталей: восстановление валов, лопаток, Inconel, Ti расчеты. – 2025. – Текст: электронный // Иннер: [сайт]. – URL: <https://inner.su/articles/lazernaya-naplavka-detaley-vosstanovlenie-valov-lopatok-inconel-ti-raschety>.
9. Лазерная наплавка металла. – Текст: электронный // Плакарт: [сайт]. – URL: <https://www.plakart.pro/info/articles/lazernaya-naplavka-metalla>.
10. Лазерная наплавка: восстановление и упрочнение промышленных компонентов. – 2025. – Текст: электронный // Техлаб: [сайт]. – URL: <https://techlab.su/lazernaya-naplavka>.
11. Оборудование лазерной наплавки. – Текст: электронный // Плакарт : [сайт]. – URL: <https://www.plakart.pro/catalog/lazernye/kompleks-lazernoy-naplavki-ldf6000-100>.
12. Обработка сплава Инконель: состав, свойства, преимущества, недостатки, проблемы и области применения. – 2025. – Текст: электронный // Machining-custom: [сайт]. – URL: <https://www.machining-custom.com/ru/blog/inconel-alloy-machining.html>.
13. Разработка и опробование технологии плазменной наплавки на рельсовую сталь и сталь Гатфильда. – Текст: электронный // РельсТорг: [сайт]. – URL: <https://railstorg.ru/razrabotka-i-oprobovanie-tehnologii-plazmennoj-naplavki-na-relsovuyu-stal-i-stal-gatfilda>.
14. Российские производители электроэрозионного и лазерного оборудования. – Текст: электронный // Станки-каталог: [сайт]. – URL: https://stanki-katalog.ru/st_edm_oborud.htm.
15. Участок лазерной наплавки. – Текст: электронный // Самарский университет: [официальный сайт]. – URL: https://ssau.ru/science/ni/nip/ckp/camcenter/struct/laz_napl.

УДК 620.179.11

Е.А. Жирнова¹, А.А. Снежко²

¹ Сибирский государственный университет науки и технологий имени М. Ф. Решетнева

² Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ КАЛИБРОВКЕ FLUKE 5502E МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО КАЛИБРАТОРА

Аннотация: исследуются вопросы обеспечения надежности функционирования калибратора Fluke 5502E, применяемого для оценки точности амперметров, вольтметров, мультиметров и токовых клещей. Проведен расчет неопределённости для получения достоверной измерительной информации на примере напряжения постоянного тока

Ключевые слова: надежность, multifunctional калибратор, эталон, неопределенность

E.A. Zhirnova, A.A. Snezhko

RELIABILITY ASSESSMENT BASED ON CALIBRATION UNCERTAINTY OF THE FLUKE 5502E MULTIFUNCTIONAL CALIBRATOR

Abstract: The article explores the issues of ensuring the reliability of the Fluke 5502E calibrator, which is used to evaluate the accuracy of ammeters, voltmeters, multimeters, and current clamps. The article calculates the uncertainty to obtain reliable measurement information using the example of DC voltage.

Keywords: reliability, multifunctional calibrator, reference, uncertainty

Метрологическая исправность и правильность показаний амперметров, вольтметров, мультиметров, токовых клещей может быть подтверждена при поверке или калибровке с использованием multifunctional калибратора Fluke 5502E, внешний вид которого представлен на рис. 1.



Рис. 1. Калибратор multifunctional Fluke 5502E

Калибратор – микропроцессорный прибор генераторного типа, обладающий возможностью автоматической калибровки по внутри приборным мерам, самодиагностикой, стандартными интерфейсами IEEE-488, RS-232 [1]. Основной частью калибратора являются встроенные прецизионные источники сигналов различной формы, опорными из которых являются источник напряжения постоянного тока, кварцевый генератор частоты, термопреобразователь напряжения переменного тока в постоянное напряжение, набор высокоточных и высокостабильных резисторов [2]. Прибор имеет возможность сохранять результаты измерений и передавать их на компьютер для дальнейшей обработки.

Анализ технической документации, паспорта и руководства по эксплуатации позволяет выделить условия получения достоверных измерительных результатов при применении multifunctional калибратора Fluke 5502E. На основе данных технической документации

проведен причинно-следственный анализ, разработана диаграмма Исикавы и представлена на рис. 2.

Результаты анализа факторов влияющих на качество калибровочных работ приведены на рис. 3

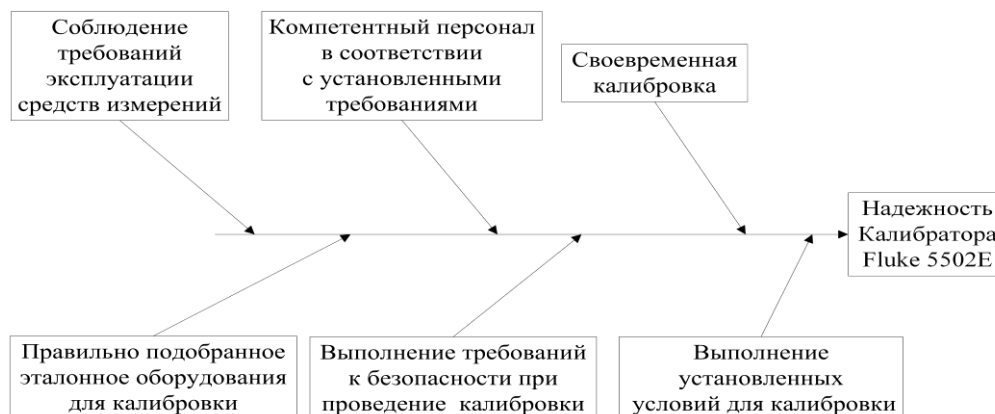


Рис. 2. Причинно-следственная диаграмма Исикавы получения достоверной измерительной информации при применении многофункционального калибратора Fluke 5502E



Рис. 3. Факторы, влияющие на качество калибровки многофункционального калибратора Fluke 5502E

На техническом уровне данная деятельность регламентирована ГОСТ Р 8.879–2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерения. Общие требования к содержанию и изложению» [3].

Эталон для проведения калибровки выбирается в соответствии с поверочной схемой в зависимости от типа и вида средства измерения, его диапазона измерений и показателей точности. Поверочная схема: иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средствам измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа [4].

Для обоснования выбора эталона необходимо провести расчет неопределенности калибруемого средства измерения и средства калибровки, исходя из пределов допускаемой погрешности, представленных в описании типа по формуле (1) [5-6]:

$$U = \frac{\Delta}{k} \quad (1),$$

где U – стандартная достигаемая неопределенность, Δ - абсолютная погрешность средства измерения, k - коэффициент охвата, равный $\sqrt{3}$ при погрешности средств калибровки, выраженных ее пределами или равный

В качестве эталона для калибровки Fluke 5502E на основании анализа поверочных схем для средств измерений постоянного электрического напряжения, постоянного электрического тока, переменного электрического напряжения, электрического сопротивления постоянного и переменного тока [7-13] выбираем цифровой мультиметр Fluke 8508A, приведенный на рис. 4.



Рис. 4. Цифровой мультиметр Fluke 8508A [14]

Проведены расчеты для напряжения постоянного тока, результаты стандартной неопределенности Fluke 5502E и Fluke 8508A, их соотношения представлены в таблице.

Назначение многоцелевого калибратора Fluke 5502E:

- воспроизведения напряжения постоянного тока;
- воспроизведения силы постоянного тока;
- воспроизведения электрического сопротивления постоянному току;
- воспроизведения напряжения переменного тока;
- воспроизведения силы переменного тока;
- воспроизведения электрической емкости;
- формирования сигналов синусоидальной, прямоугольной, треугольной формы.

Калибратор имеет широкий диапазон измерений, что позволяет использовать его для калибровки различных типов измерительных приборов.

Проведены аналогичные расчеты стандартной неопределенности Fluke 5502E и Fluke 8508A и их соотношения по силе постоянного тока, электрическому сопротивлению постоянному току, силе переменного тока, напряжению переменного тока.

**Таблица. Результаты стандартной неопределенности Fluke 5502E, Fluke 8508A
(напряжение постоянного тока)**

Измеряемые точки	Fluke 5502 E		Fluke 8508 A		ед. изм	Соотношения результатов стандартной неопределенности
	$\pm\Delta$	U	$\pm\Delta$	U		
33	0,00498	0,00288	0,00027	0,00015	мВ	0,0520833
-33	0,00102	0,00059	-0,00007	-0,00004	мВ	-0,0677966
329,9999	0,02280	0,01316	0,000002	0,0000009	мВ	0,0000684
-329,9999	-0,01680	-0,0097	-0,000001	-0,0000004	мВ	0,0000412
100	0,0055	0,0032	0,00060	0,00035	мВ	0,1093750
-100	0,0045	0,0026	-0,00040	-0,00023	мВ	-0,0884615
1	0,0000550	0,0000318	0,0000039	0,0000023	В	0,0723270
1	-0,0000450	-0,000026	- 0,0000031	-0,0000018	В	0,0692308
3,29	0,0001695	0,0000979	0,000022	0,000012	В	0,1225741
-3,29	-0,0001595	- 0,0000921	-0,000008	-0,000004	В	0,0434311
3	0,000200	0,000112	0,000015	0,000008	В	0,0714286
-3	-0,000100	-0,000058	-0,000007	-0,000004	В	0,0689655
10	0,000550	0,000318	0,000039	0,000023	В	0,0723270
-10	-0,000450	-0,00026	-0,000031	-0,000018	В	0,0692308
32,9	0,016500	0,009526	0,00021	0,00012	В	0,0125971
-32,9	-0,016400	-0,009469	-0,00014	-0,00008	В	0,0084486
50	0,00325	0,00188	0,00032	0,00018	В	0,0957447
329	0,01860	0,01074	0,0020	0,0012	В	0,1117318
-50	-0,00225	-0,0013	-0,00024	-0,00014	В	0,1076923
-329	-0,01760	-0,01016	-0,0016	-0,0009	В	0,0885827
334	0,0199	0,0115	0,0020	0,0012	В	0,1043478
900	0,0510	0,0294	0,0052	0,003	В	0,1020408
1000	0,0565	0,0326	0,0052	0,003	В	0,0920245
-334	-0,0169	-0,0097	-0,0016	-0,0009	В	0,0927835
-900	-0,0480	-0,0277	-0,0048	-0,0027	В	0,0974729
-1000	-0,0535	-0,0309	-0,0053	0,0031	В	-0,1003236

Расчет минимальной достигаемой стандартной неопределенности измерений показывает, что мультиметр Fluke 8508A удовлетворяет условиям эталонного оборудования для калибровки многофункционального калибратора Fluke 5502E и подтверждает правильность выбора эталона для обеспечения получения достоверной измерительной информации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Многофункциональный калибратор Fluke 5520 A [Электронный ресурс]. – URL: <https://ckp.vsu.ru/index.php?r=equipment%2Fview&id=34>.
2. Калибраторы многофункциональные Fluke 5502A со встраиваемыми модулями поверки осциллографов 300 МГц, 600 МГц и Fluke 5502E. Приложение к свидетельству № 53341 об утверждении типа средств измерений. Описание типа средств измерений.
3. РМГ 120-2013 Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к выполнению калибровочных работ. – Москва: Стандартинформ, 2015.
4. РМГ 29 - 2013. «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения» – М.: Стандартинформ, 2014.
5. Походун А.И. Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений: учеб. пособие / – М.: СПб: СПбГУ ИТМО, 2016.
6. РМГ 115-2019 Государственная система обеспечения единства измерений. Калибровка средств измерений. Алгоритмы обработки результатов измерений и оценивания неопределенности – М.: Стандартинформ, 2019.
7. Приказ Росстандарта от 01.10.2018 №2091 «ГПС для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне от $1 \cdot 10^{-16}$ до 100 А».
8. Приказ Росстандарта от 30.12.2019 №3456 «ГПС для средств измерений электрического сопротивления постоянного и переменного тока».
9. Приказ Росстандарта от 17.03.2022 №668 «ГПС для средств измерений силы переменного электрического тока от $1 \cdot 10^{-8}$ до 100 А в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-1}$ до 106 Гц».
10. Приказ Росстандарта от 03.09.2021 № 1942 «ГПС для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В».
11. ГЭТ 13-2001 Государственная поверочная схема для средств измерений постоянного электрического напряжения и электродвижущей силы.
12. ГЭТ 4-91 Государственная поверочная схема для средств измерений силы постоянного электрического тока в диапазоне $1 \cdot 10^{-16}$ ÷ 100 А.
13. ГЭТ 89-2008 Государственная поверочная схема для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-1}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц.
14. Мультиметры цифровые прецизионные Fluke 8508A, 8508A/01. Приложение к свидетельству № 54377 об утверждении типа средств измерений. Описание типа средств измерений.

УДК: 614.846.6

А.М. Зотова, А.С. Белов

Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ УРОВНЯ КАЧЕСТВА ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ВООРУЖЕНИЯ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ МАЛЫХ СЕЛЬСКИХ НАСЕЛЁННЫХ ПУНКТОВ

Аннотация: В данной статье исследован уровень укомплектованности подразделений пожарной охраны (далее – ПО) пожарной техникой. Выявлены проблемы в качестве оборудования, а именно в показателях надёжности деталей и механизмов. Проведён анализ зависимости между уровнем качества пожарного оборудования и обеспечением пожарной безопасности в малых сельских населённых пунктах. Внесены предложения по устранению причин неисправностей с помощью определённых технологий и методов.

Ключевые слова: надёжность, эксплуатация, сельский населённый пункт, пожарная охрана, неисправность, комплектация.

A.M. Zotova, A.S. Belov

RESEARCH OF THE PROBLEM OF THE QUALITY LEVEL OF FIRE EQUIPMENT IN FIRE DEPARTMENTS OF SMALL RURAL SETTLEMENTS

Abstract: This article examines the level of fire equipment in fire departments (hereinafter referred to as fire departments). The article identifies problems in the quality of equipment, specifically in the reliability of parts and mechanisms. The article analyzes the relationship between the quality of fire equipment and fire safety in small rural settlements. The authors propose solutions to eliminate the causes of malfunctions using specific technologies and methods.

Keywords: reliability, operation, rural settlement, fire department, malfunction, equipment.

Безопасность государства складывается из слаженности в работе пожарных подразделений, добиться которой возможно благодаря не только профессионализму пожарных, но и качеству пожарно-технического вооружения. К сожалению, в мире современных технологий до сих пор остаются проблемы с внедрением новейших технологических разработок в сферу пожарной охраны.

Очевидно, прослеживается низкий уровень укомплектованности пожарно-спасательных частей (далее – ПСЧ) в малых сельских населённых пунктах. Прежде всего это связано с запоздалым темпом экономического развития, и в целом, от уклада жизни населения. В таких поселениях обычно одна единственная ПСЧ, на вооружении которой обычно от двух до трёх пожарных автомобилей с наличием неисправностей.

Неисправности пожарной техники – это комплексные недостатки, возникающие в результате несвоевременного ремонта и технического обслуживания (далее – ТО). Каждая ПСЧ должна иметь на вооружении ПТВ и оборудование следующего вида (рис. 1) [4]:

- Пожарные автомобили: общего и специального назначения;
- Ручной пожарный инструмент (багры, ломы, лопаты);

- Механизированный пожарный инструмент (гидравлический, пневматический, электрический аварийно-спасательный инструмент);
- Боевая одежда пожарного (далее – БОП);
- Средства индивидуальной и групповой защиты (СИЗОД, СИЗ, СЗР).



Рис. 1. Пожарно-техническое вооружение на пожарном автомобиле

Со временем техническое оборудование претерпевает неисправности следующего характера:

- Проблемы в работе центробежных пожарных насосов (далее – НЦПН);
- Подтекание топлива из системы питания;
- Недостатки в работе трансмиссии (шумы и стуки в коробках передач, отбора мощности и раздаточной);
- Разгерметизация СИЗОД;
- Разрыв пожарных рукавов.

Справиться с данными недостатками возможно благодаря ежедневному правильному уходу за техникой, ремонту её составных частей: деталей и механизмов (рис. 2).



Рис. 2. Ремонт ходовой части пожарного автомобиля

Уровень качества техники характеризуется основными свойствами [1]:

- Надёжность – свойство объекта, характеризующееся способностью выполнять требуемые функции в заданных режимах;
- Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в поддержании и восстановлению его работоспособности;
- Восстанавливаемость – свойство объекта, заключающееся в его способности восстанавливаться после отказа без ремонта;
- Сохраняемость – свойство объекта сохранять в установленных пределах технические параметры.

Естественно, возникновение всех неисправностей исходит от отсутствия одного из вышеперечисленных свойств.

В малых населённых пунктах техника обслуживается нерегулярно, ввиду нехватки личного состава и приёмных пунктов для ремонта. По этому поводу предусматриваются основные направления в улучшении качества ПТВ в пожарной охране [3]:

- Чёткое распределение полномочий между личным составом по ТО техники;
- Предварительная закупка необходимых деталей и механизмов;
- Организация пунктов ремонта и обслуживания;
- Привлечение муниципальных средств и Президентских грантов с целью стимулирования добросовестного труда личного состава караула;
- Использование новых комплектующих материалов в пожарных автомобилях (полипропилен, серпентин – снижает коэффициент трения).

Проблема уровня качества ПТВ в сельских населённых пунктах остаётся актуальной и по сей день. В таких населённых пунктах характерно возникновение большого количества пожаров как лесных, так и бытовых. Справиться с данными ситуациями невозможно за счёт сил и средств одного отделения дежурного караула.

На основании данных можно прийти к выводу о том, что техническое обслуживание и ремонт в ПСЧ малых населённых пунктов проводится крайне редко, что приводит к характерным неисправностям, справиться с которыми возможно благодаря чёткому следованию установленным рекомендациям по улучшению качества ПТВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 27.102-2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения, С.3-5.
2. ГОСТ Р 58715-2019 Техника пожарная. Специальные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний.
3. Приказ Минтруда России от 11.12.2020 N 881н (ред. от 29.04.2025) «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны» (Зарегистрировано в Минюсте России 24.12.2020 N 61779);
4. Приказ МЧС России от 01.10.2020 N 737 (ред. от 17.10.2025) Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, пункт 71.

УДК 621

Р.Р. Капов, В.Е. Иванов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ГЕРМЕТИКОВ РЕЗЬБЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: в статье проведен анализ современных герметиков для резьбовых соединений, применяемых в пожарных автомобилях. Рассмотрены анаэробные составы российских и зарубежных производителей, классифицированные по функциональному признаку (разборные и неразборные соединения). Выполнено сравнение технических характеристик, включая прочностные показатели, температурные диапазоны, время отверждения и химическую стойкость. На основе анализа предложены рекомендации по выбору герметиков для различных узлов пожарной техники, работающей в экстремальных условиях.

Ключевые слова: герметики резьбы, анаэробные составы, пожарные автомобили, фиксация резьбы, разборные соединения, неразборные соединения.

R.R. Kapov, V.E. Ivanov

ANALYSIS OF THREAD SEALANTS FOR THE PROTECTION OF THREADED CONNECTIONS OF FIRE TRUCKS

Abstract: This article analyzes modern thread sealants used in fire trucks. Anaerobic compounds from Russian and international manufacturers are reviewed, classified by functionality (detachable and non-detachable connections). Technical characteristics are compared, including strength, temperature ranges, curing time, and chemical resistance. Based on this analysis, recommendations are offered for selecting sealants for various components of fire trucks operating in extreme conditions.

Keywords: thread sealants, anaerobic compounds, fire trucks, thread locking, detachable connections, non-detachable connections.

Пожарные автомобили эксплуатируются в экстремальных условиях, характеризующихся интенсивными вибрационными нагрузками, широким диапазоном рабочих температур (от -50 °С до +200 °С), воздействием агрессивных сред (пенообразователи, технические жидкости, вода) и высокими динамическими нагрузками на узлы и агрегаты [1, 2]. Резьбовые соединения являются наиболее уязвимым элементом конструкции: по статистике, до 70 % отказов пожарной техники связано с ослаблением крепежа и потерей герметичности стыков [3, 4].

Для обеспечения надежной работы пожарных автомобилей в столь жестких условиях эксплуатации резьбовые соединения требуют не только механической прочности, но и долговременной фиксации, устойчивой к вибрациям, перепадам температур и воздействию рабочих сред. Применение традиционных методов уплотнения в критических узлах (ступица, двигатель, трансмиссия) часто оказывается недостаточным из-за отсутствия виброфиксации и ограниченной долговечности. В связи с этим особое значение приобретает использование специализированных

герметиков резьбы, способных одновременно обеспечивать герметичность стыка и силовую фиксацию соединения на весь срок службы или в межремонтный интервал.

Цель настоящей работы - системный анализ герметиков резьбы, доступных на российском рынке, с позиций их применимости в узлах пожарных автомобилей с классификацией по функциональному признаку (разборные / неразборные соединения).

Чаще всего применяют анаэробные герметики - жидкие полимерные композиции, полимеризующиеся в узком зазоре между металлическими поверхностями в отсутствие кислорода. Отвержденный полимер заполняет микрозазоры резьбы (до 0,5 мм), обеспечивая одновременно герметизацию и силовую фиксацию от самоотвинчивания. Современный рынок предлагает широкий спектр таких материалов как российского, так и зарубежного производства.

Классификация герметиков по функционалу. По критерию возможности демонтажа без разрушения соединения анаэробные герметики подразделяются на: разборные (средняя прочность), неразборные, специализированные [5]. Разборные предназначены для соединений, подлежащих периодическому техническому обслуживанию и ремонту, обеспечивают момент отвинчивания ручным инструментом (обычно до 25-30 Н·м для резьбы М10). У данных герметиков применяется цветовая маркировка в виде синего цвета. Применяются такие герметики для крепежа насосов, компрессоров, клапанных механизмов, навесного оборудования [6].

Неразборные герметики применяются на соединениях, не требующих разборки в течение всего срока службы. Требуют нагрева (обычно до 200-250°C) для демонтажа. Обеспечивают момент отвинчивания свыше 30 Н·м для резьбы М10. Цветовая маркировка применяется в виде красного или оранжево-красного цветов. Такие герметики можно применить, например, для фиксации шпилек в корпусных деталях, ответственных соединениях в трансмиссии и ходовой части.

Специализированные герметики представляют собой желтые составы с высокой вязкостью для крупных резьб (от 1 дюйма и более), способные заполнять зазоры до 0,5 мм. Составы для пассивных металлов (нержавеющая сталь, оцинкованные покрытия) с повышенной адгезией.

Для сравнительного анализа выбраны следующие параметры: прочностные характеристики (момент страгивания и отвинчивания); температурный диапазон эксплуатации; время достижения технологической прочности; вязкость и тиксотропность; максимальный диаметр резьбы; химическая стойкость к рабочим средам [7, 8].

Из российских герметиков выбран продукт НПО «ЭкоТек» – «Стопор® 6». Это однокомпонентный анаэробный состав средней фиксирующей способности, окрашенный в красный цвет. Область применения – резьбы до М24 и трубные соединения от 1/8 до 1/2 дюйма. По данным производителя, момент страгивания на образце из стали М10 находится в пределах 10–25 Н·м, момент отвинчивания – 15–25 Н·м. Герметик рассчитан на нагрев до 150 °С, его вязкость составляет 1300–3200 мПа·с, тиксотропные свойства заявлены, прочность при сдвиге достигает 17–27 МПа. Важная деталь: состав устойчив к моторным маслам, бензину и тормозным жидкостям – после 1000 часов испытаний сохраняется 95–100% исходной прочности. Производитель рекомендует «Стопор 6» для двигателей ЗМЗ и КАМАЗ, что напрямую относится к пожарным автомобилям на шасси этих заводов.

Ещё один отечественный продукт – «АНАКРОЛ-2141» от компании «Анакрол». Он синего цвета, также относится к средней прочности, но выгодно отличается расширенным температурным диапазоном и повышенной вязкостью, позволяющей заполнять зазоры до 0,3 мм. Для стали момент страгивания составляет 9–17 Н·м, момент отвинчивания – 5–10 Н·м. Герметик работоспособен от –75 до +150 °С, его вязкость лежит в интервале 6500–15000 мПа·с, максимальный размер резьбы – М36 или трубная G 1¼". Время набора ручной прочности – от 8 до 15 минут. Продукт сертифицирован по ISO 9001:2015, гарантийный срок хранения – полтора года. Что особенно ценно для ремонта в сложных условиях – состав можно наносить на слегка замасленные поверхности, что нередко бывает при полевых работах.

Среди зарубежных аналогов признанным эталоном считается Loctite 243 (Henkel, Германия). Этот синий герметик формально относится к разборным соединениям, однако по реальной прочности приближается к неразборным. Он специально разработан для пассивных металлов и деталей с гальваническим покрытием. Момент отвинчивания на стали М10 достигает 26 Н·м, рабочая температура – от –55 до +180 °С, вязкость – 1300–3000 мПа·с. Максимальная резьба – М36, время ручной прочности на стали – 10 минут, тиксотропность присутствует. Ключевое достоинство – состав терпим к небольшим масляным загрязнениям (индустриальные и режущие масла). Для пожарной техники это означает, что качественную фиксацию можно получить даже без идеальной обезжирки поверхности. Для более жёстких условий выпускается Loctite 272 – высокопрочный неразборный фиксатор оранжево-красного цвета. Демонтаж соединения возможен только после нагрева до 200–250 °С. Момент отвинчивания заявлен на уровне 23 Н·м, температура эксплуатации – от –55 до +200 °С, время ручной прочности на стали – 40 минут. Этот состав рекомендуется для предварительно собранных узлов, которые в процессе службы разбирать не предполагается – например, для шпилек, ввёрнутых в блок двигателя или корпус насоса.

Китайская компания SANFIX выпускает целую линейку анаэробных герметиков, различающихся по цвету. Модель SANFIX Blue (синий, разборный, средняя прочность) рассчитана на температуры от –50 до +150 °С, имеет среднюю вязкость и подходит для резьб до М60. SANFIX Red (красный, неразборный, высокая прочность) выдерживает нагрев до +200 °С, обладает жидкой консистенцией и применяется для резьб до М42. Отдельного внимания заслуживает SANFIX Yellow – жёлтый, разборный, со средней прочностью, но с высокой вязкостью. Он предназначен для крупных резьб до М90 и зазоров до 0,5 мм, что актуально для трубопроводов большого диаметра в системах пожаротушения. Характерная черта всей серии – очень быстрое (менее 60 секунд) отверждение на латуни.

При сопоставлении рассмотренных составов выявляются следующие закономерности. По верхнему температурному пределу лидирует Loctite 272 (+200 °С) – это важно для узлов вблизи выпускного коллектора и турбокомпрессора. По нижнему пределу лучший показатель у АНАКРОЛ-2141 (–75 °С), что делает его предпочтительным для пожарных машин, работающих в условиях Крайнего Севера. Наибольшую прочность фиксации даёт Loctite 243 (26 Н·м), однако отечественный «Стопор 6» показывает близкие значения (до 25 Н·м). По скорости набора технологической прочности выделяется SANFIX Blue (3–5 минут) – это сокращает время ремонтных операций.

Пожарный автомобиль – сложная техническая система, в которой резьбовые соединения эксплуатируются в совершенно разных условиях. Поэтому целесообразен дифференцированный подход. Для узлов двигателя и трансмиссии, испытывающих высокие динамические нагрузки и температуры, лучше использовать неразборные составы, например Loctite 272. Для поддона картера или клапанной крышки вполне подойдут разборные герметики средней прочности – Loctite 243, АНАКРОЛ-2141 или «Стопор 6», рассчитанные на нагрев до 150 °С. Пожарный насос работает в условиях интенсивной вибрации и гидравлических ударов, поэтому крепёж его корпуса к раме, а также фланцевые соединения всасывающих и напорных патрубков рекомендуется фиксировать герметиками с повышенной вибростойкостью – например, Loctite 243 или АНАКРОЛ-2141. Для стыков, контактирующих с водой и пенообразователем, критична химическая стойкость; все перечисленные составы сохраняют 80–100 % прочности в водно-гликолевых средах. Что касается крепления рессор, реактивных тяг и элементов рулевого управления, здесь предпочтительны либо неразборные фиксаторы, либо высокопрочные разборные типа Loctite 243. Стоимость анаэробных герметиков варьируется: российские продукты («Стопор», «Анакрول») на 30-50 % доступнее импортных аналогов при сопоставимых характеристиках. Однако Loctite 243 предлагает наилучшую воспроизводимость результатов и документальную подтвержденность характеристик, что критично для производителей пожарной техники, работающих по ГОСТ и сертификационным требованиям.

Анаэробные герметики имеют следующие ограничения: неэффективны на пластиковых и неметаллических деталях (требуются специальные составы); на пассивных металлах (нержавеющая сталь, анодированный алюминий) при температурах ниже +15 °С требуется применение активатора-праймера; не применяются в системах с чистым кислородом и сильными окислителями; требуют обезжиривания поверхности для максимальной адгезии.

Выводы.

Анаэробные герметики являются оптимальным решением для защиты резьбовых соединений пожарных автомобилей, обеспечивая одновременно герметизацию и фиксацию от вибрационного самоотвинчивания.

По функциональному признаку герметики подразделяются на разборные (синие, средняя прочность) для обслуживаемых узлов и неразборные (красные, высокая прочность с нагревом при демонтаже) для постоянных соединений.

Российские продукты «Стопор 6» и «АНАКРОЛ-2141» демонстрируют характеристики, сопоставимые с зарубежными аналогами Loctite 243 по прочности и температурной стойкости, при этом уступая в температурном диапазоне (150°С против 180-200°С). Продукт Loctite 272 остается предпочтительным для наиболее ответственных термонагруженных узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев, В. В. Повышение долговечности зубчатых колес коробок переключения передач пожарной автомобильной техники за счет улучшения противоизносных свойств трансмиссионных масел / В. В. Киселев, Л. В. Жуков, В. Е. Иванов // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2023. – № 1. – С. 18-21. – DOI 10.36652/0202-3350-2023-24-1-18-21. – EDN NRKEXQ.

2. Снижение износа подшипникового узла полуосей пожарных автомобилей применением металлоплакирующих присадок / В. В. Киселев, В. Е. Иванов, П. В. Пучков [и др.] // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2023. – № 10. – С. 462-464. – DOI 10.36652/0202-3350-2023-24-10-462-464. – EDN DZUARD.

3. Разработка способов защиты резьбовых соединений пожарной техники от коррозии / А. В. Топоров, П. В. Пучков, В. Е. Иванов, С. С. Кузин // Пожарная и аварийная безопасность. – 2019. – № 1(12). – С. 59-65. – EDN CHQOTS.

4. Иванов, В. Е. Восстановление работоспособности деталей и узлов системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания пожарного автомобиля клеевыми составами / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, М. Ю. Колобов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – 2020. – № 2(62). – С. 103-108. – EDN HDTEYT.

5. Шумнов, Г. С. Исследование прочностных характеристик клеевых составов / Г. С. Шумнов, А. М. Нуретдинов, В. Е. Иванов // Надежность и долговечность машин и механизмов: СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XII ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Иваново, 15 апреля 2021 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2021. – С. 167-169. – EDN АНВВВD.

6. Повышение эффективности эксплуатации пожарной техники за счет создания необходимых условий для ее ремонта и технического обслуживания / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, В. Е. Иванов, А. А. Покровский // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 2(51). – С. 47-55. – EDN DJTCON.

7. Гаджаев, Н. Н. Восстановление работоспособности системы охлаждения пожарного автомобиля формообразующими клеевыми составами / Н. Н. Гаджаев, А. А. Скачко, В. Е. Иванов // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, Иваново, 29–30 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2018. – С. 335-336. – EDN ALEZYS.

8. Каргаев, З. С. Исследование влияния некоторых жидких сред на коррозионное разрушение резьбовых соединений / З. С. Каргаев, П. В. Пучков // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2022. – С. 497-501. – EDN IESRQK.

9. Масленников, Р. А. Снижение надежности крепежных резьб вследствие воздействия на них негативных факторов пожара / Р. А. Масленников, П. В. Пучков, В. В. Киселев // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов

IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 года. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 151-155. – EDN UTXASX.

УДК 62-1/-9

А.А. Каприльянц, И.И. Ведерникова

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛИ

Аннотация: В данной статье приведены материалы, посвящённые вопросу влияния метода термической обработки на прочность детали, в статье не затрагиваются вопросы технологичности детали для того или иного метода термической обработки.

Ключевые слова: прочность, напряжения, термическая обработка, метод, деформация.

A.A. Kaprilyans, I.I. Vedernikova

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRENGTH OF A PART

Abstract: This article presents materials devoted to the issue of the influence of the heat treatment method on the strength of the part; the article does not address the issues of the manufacturability of the part for a particular heat treatment method.

Keywords: strength, stress, heat treatment, method, deformation.

Под прочностью деталей машин понимают способность сопротивляться разрушению и необратимым (пластическим) деформациям под действием внешних нагрузок. Прочность деталей машин прямо пропорционально влияет на количественно – качественные эксплуатационные показатели, а, следовательно, имеет место проведение мероприятий, направленных на повышение прочности. Одним из таких способов, направленных на повышение прочности детали, является температурное воздействие на материал в определенном режиме или иначе термическая обработка.

Для количественно – качественной оценки влияния метода термической обработки на прочность детали проводится ряд прочностных расчетов, соответствующих линейной комбинации варьируемых параметров (свойств стали и методов термической обработки). Объектом исследования является вал – шестерня, работающая в зубчатой передаче между входным и промежуточным валом редуктора Ц2-400.

На рис. 1 представлены материалы с указанием их механических характеристик после проведения термической обработки.

На рис. 2 представлена ранжированная таблица механических свойств материала, соответствующих такому виду термической обработки, как улучшение.

Выбор материала

	Марка материала	Допускаемые напряжения, МПа		Твёрдость, HRC или HB	Аналоги (заменители) материала	Комментарий
		Контакт	Изгиб			
		σ_{Hmax}	σ_{Fmax}			
II Конструкционные стали. I Качественные						
	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	977	1059	285	40X, 50, 50Г2	Нормализация
	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	977	1059	30	40X, 50, 50Г2	Улучшение
	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	1050	1286	45	40X, 50, 50Г2	Объёмная закалка
	Сталь 45 ГОСТ 1050-2013	1140	1286	50	40X, 50, 50Г2	Закалка ТВЧ
II Конструкционные стали. II Легированные						
	Сталь 20X ГОСТ 4543-2016	880	1142.86	163		Цементация
	Сталь 40X ГОСТ 4543-2016	2041	1059	30	38XA, 40XH, 40XФА, 45X, 50X	Улучшение
	Сталь 40X ГОСТ 4543-2016	2198	1286	45	38XA, 40XH, 40XФА, 45X, 50X	Объёмная закалка
	Сталь 40X ГОСТ 4543-2016	2200	1029	50	38XA, 40XH, 40XФА, 45X, 50X	Закалка ТВЧ
	Сталь 40XH ГОСТ 4543-2016	2041	1059	30		Улучшение
	Сталь 40XH ГОСТ 4543-2016	2198	1429	45		Объёмная закалка
	Сталь 40XH ГОСТ 4543-2016	2200	1257	50		Закалка ТВЧ
	Сталь 45X ГОСТ 4543-2016	2332	1058	285	40X, 50X	Нормализация

Рис. 1. Механические характеристики сталей

Сводная таблица механических свойств материала				
Наименование и обозначение параметра			Значение	
Наименование материала	-		Сталь 40Х	
НТД на материал	-		ГОСТ 4543-2016	
Аналоги или заменители материала	-		38ХА, 40ХН, 40ХФА, 45Х, 50Х	
Термическая обработка	-		Улучшение	
Твердость материала	HRC(HB)		30	
	HRC = 30, HB = 285, HV = 284			
Модуль упругости (модуль Юнга I рода)	E	МПа	210000	
Модуль сдвига (модуль Юнга II рода)	G	МПа	84600	
Коэффициент Пуассона	μ	---	0.3	
Плотность материала	ρ	кг / м ³	7850	
Предел прочности	σ _в	МПа	910	
Предел текучести	σ _т	МПа	729	
Прочностные характеристики, применяемые в расчётах зубчатых колёс				
Допускаемое напряжение при максимальной нагрузке при:	контакте	σ _{HPmax}	МПа	2041
	изгибе	σ _{FPmax}	МПа	1059
Предел выносливости при:	контакте	σ _{Hlimb}	МПа	640
	изгибе	σ _{Flimb}	МПа	499

Рис. 2. Механические свойства материала после улучшения

На рис. 3 представлена ранжированная таблица механических свойств материала, соответствующих такому виду термической обработки, как объёмная закалка.

На рис. 4 представлена ранжированная таблица механических свойств материала, соответствующих такому виду термической обработки, как закалка токами высокой частоты.

Сводная таблица механических свойств материала			
Наименование и обозначение параметра			Значение
Наименование материала	-	Сталь 40Х	
НТД на материал	-	ГОСТ 4543-2016	
Аналоги или заменители материала	-	38ХА, 40ХН, 40ХФА, 45Х, 50Х	
Термическая обработка	-	Объемная закалка	
Твердость материала	HRC(HB)		45
	HRC = 45, HB = 423, HV = 445		
Модуль упругости (модуль Юнга I рода)	E	МПа	210000
Модуль сдвига (модуль Юнга II рода)	G	МПа	84600
Коэффициент Пуассона	μ	---	0.3
Плотность материала	ρ	кг/м ³	7850
Предел прочности	σ_B	МПа	980
Предел текучести	σ_T	МПа	785
<i>Прочностные характеристики, применяемые в расчётах зубчатых колёс</i>			
Допускаемое напряжение при максимальной нагрузке при:	контакте	σ_{HPmax}	МПа 2198
	изгибе	σ_{FPmax}	МПа 1286
Предел выносливости при:	контакте	σ_{Hlimb}	МПа 965
	изгибе	σ_{Flimb}	МПа 460

Рис. 3. Механические свойства материала после объёмной закалки

Сводная таблица механических свойств материала			
Наименование и обозначение параметра			Значение
Наименование материала	-	Сталь 40Х	
НТД на материал	-	ГОСТ 4543-2016	
Аналоги или заменители материала	-	38ХА, 40ХН, 40ХФА, 45Х, 50Х	
Термическая обработка	-	Закалка ТВЧ	
Твердость материала	HRC(HB)		50
	HRC = 50, HB = 482, HV = 539		
Модуль упругости (модуль Юнга I рода)	E	МПа	210000
Модуль сдвига (модуль Юнга II рода)	G	МПа	84600
Коэффициент Пуассона	μ	---	0.3
Плотность материала	ρ	кг/м ³	7850
Предел прочности	σ_B	МПа	1050
Предел текучести	σ_T	МПа	841
<i>Прочностные характеристики, применяемые в расчётах зубчатых колёс</i>			
Допускаемое напряжение при максимальной нагрузке при:	контакте	σ_{HPmax}	МПа 2200
	изгибе	σ_{FPmax}	МПа 1029
Предел выносливости при:	контакте	σ_{Hlimb}	МПа 1050
	изгибе	σ_{Flimb}	МПа 480

Рис. 4. Механические свойства материала после закалки токами высокой частоты

Для наглядной визуализации влияния метода термической обработки на прочность детали был проведен прочностной анализ в приложении APM FEM в САПР Компас 3Д.

На рис. 5 представлены результаты прочностного расчета, соответствующие такой термической обработке, как улучшение.

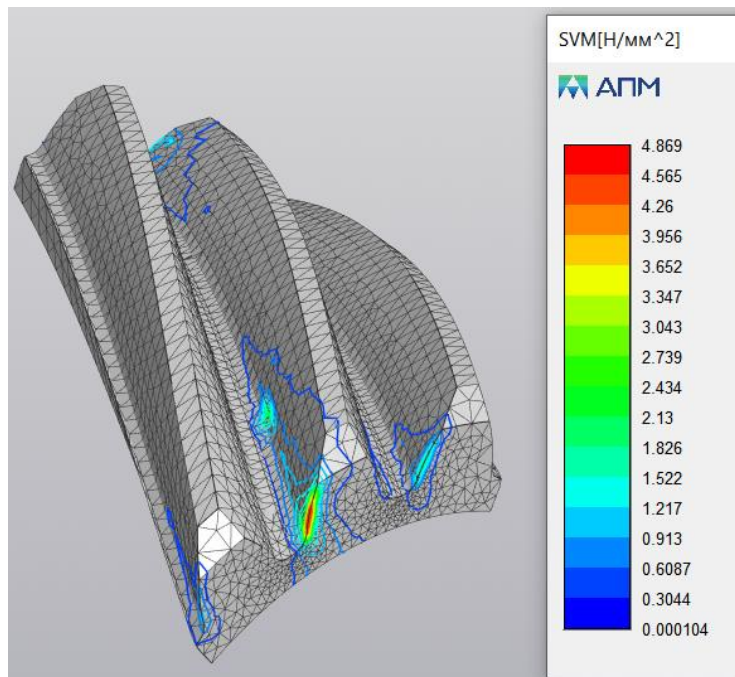


Рис. 5. Результаты прочностного расчета после улучшения

На рис. 6 представлены результаты прочностного расчета, соответствующие такой термической обработке, как объёмная закалка.

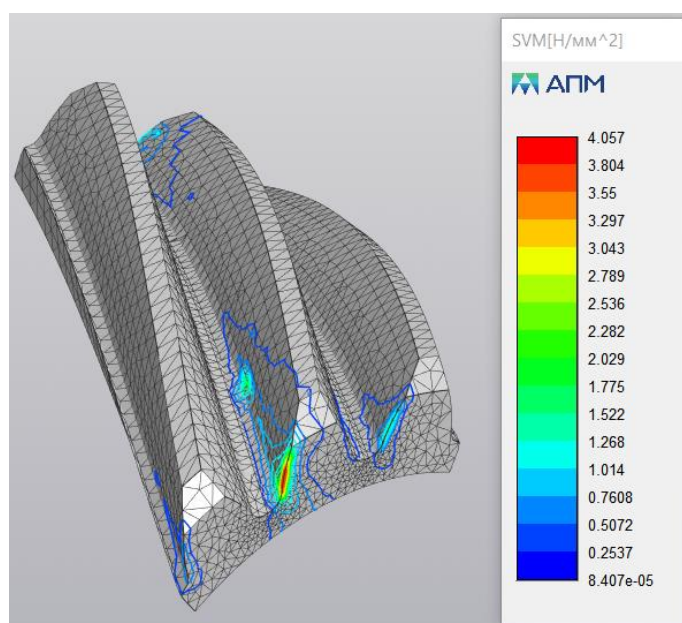


Рис. 6. Результаты прочностного расчета после объёмной закалки

На рис.7 представлены результаты прочностного расчета, соответствующие такой термической обработке, как закалка токами высокой частоты.

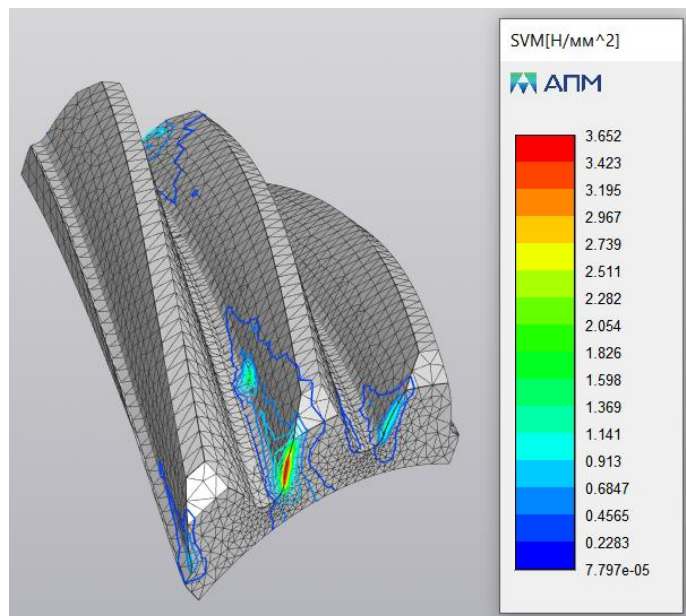


Рис. 7. Результаты прочностного расчета после ТВЧ

Результатом проведенной работы является установление того факта, что выбор метода термической обработки влияет на прочность детали, это в последствии сказывается на ее долговечности. Проанализировав карты результатов, а именно значения испытываемых напряжений, было установлено то, что закалка токами высокой частоты позволяет получить деталь с относительно лучшими прочностными характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/mis-kompas>.
2. https://kompas.ru/source/info_materials/2014_-_01-amp-fem-rukovodstvo-polsovatel'ya.pdf.

УДК 621.039.5

А.Д. Косарев, Г.В. Чекан

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

Аннотация: В статье рассматриваются актуальные вопросы обеспечения надежности и долговечности механического оборудования, эксплуатируемого на атомных станциях. Особое внимание уделяется влиянию специфических факторов (радиация, температура, коррозия) на износ деталей. Анализируются современные методы повышения ресурса работы машин: применение износостойких материалов, совершенствование систем смазки и внедрение систем автоматизированного мониторинга технического состояния. Сделаны выводы о

необходимости комплексного подхода к проблеме надежности для обеспечения безопасности АЭС.

Ключевые слова: надежность, долговечность, атомная станция, износ деталей, трение, коррозия, техническое обслуживание, мониторинг.

A.D. Kosarev, G.V. Chekan

INCREASING THE RELIABILITY OF EQUIPMENT UNDER OPERATING CONDITIONS OF NUCLEAR POWER PLANTS

Abstract: The article deals with topical issues of ensuring the reliability and durability of mechanical equipment operated at nuclear power plants. Special attention is paid to the influence of specific factors (radiation, temperature, corrosion) on the wear of parts. Modern methods of increasing the service life of machines are analyzed: the use of wear-resistant materials, improvement of lubrication systems and the introduction of automated monitoring systems for technical condition. Conclusions are drawn about the need for an integrated approach to the problem of reliability to ensure the safety of nuclear power plants.

Keywords: reliability, durability, nuclear power plant, parts wear, friction, corrosion, maintenance, monitoring.

Современное машиностроение, в том числе и оборудование атомных электростанций (АЭС), предъявляет чрезвычайно высокие требования к надежности и долговечности механизмов. Для атомной отрасли понятие «надежность» напрямую связано с безопасностью. Выход из строя даже одного насоса или запорной арматуры может привести к серьезным последствиям. Особенность эксплуатации машин на АЭС заключается в воздействии на материалы таких факторов, как ионизирующее излучение, высокие температуры и специфическая коррозионная среда (теплоноситель).

Для студента технического вуза, независимо от будущей специальности - будь то конструктор, технолог или инженер-атомщик, - понимание основ науки о трении и износе и методов расчета на прочность является фундаментом инженерного мышления. В данной работе проанализированы основные факторы, снижающие ресурс механизмов АЭС, и рассмотрены современные методы борьбы с износом.

Анализ отказов механического оборудования на предприятиях атомной энергетики показывает, что основная доля неисправностей (до 60-70%) связана с процессами изнашивания. К наиболее нагруженным узлам относятся подшипники главных циркуляционных насосов (ГЦН), зубчатые передачи приводных механизмов, а также уплотнения валов.

Можно выделить три ключевых фактора деградации материалов:

- Механический износ в узлах трения происходит постепенное разрушение поверхностных слоев металла. Для АЭС характерны такие виды изнашивания, как абразивное (частицами продуктов коррозии) и усталостное (из-за циклических нагрузок).

- Коррозионно-механическое воздействие. Агрессивная среда (например, водный теплоноситель) значительно ускоряет разрушение. Возникает коррозионно-усталостное разрушение, когда трещины растут быстрее под действием напряжения и среды одновременно.

- Старение материалов. Длительное воздействие нейтронного облучения изменяет структуру металла, делая его более хрупким и снижая порог хладноломкости.

Это снижает долговечность корпусов и деталей, находящихся в зоне интенсивного облучения.

Для решения проблем износа и продления срока службы машин и механизмов на современных АЭС применяется комплексный подход, включающий конструкторские, технологические и эксплуатационные методы.

Во-первых, это использование новых материалов. В узлах трения все чаще применяются твердосмазочные покрытия на основе дисульфида молибдена, которые сохраняют работоспособность в вакууме и при радиации, в отличие от обычных масел. Также активно внедряются композитные материалы и специальные стали с повышенной радиационной стойкостью.

Во-вторых, важнейшую роль играет система технического обслуживания. Происходит переход от планово-предупредительных ремонтов к обслуживанию по фактическому состоянию [1]. Это стало возможным благодаря внедрению систем диагностики. Например, анализ проб масла на наличие частиц износа (спектральный анализ) позволяет обнаружить зарождающийся дефект подшипника на ранней стадии, не останавливая реактор.

Современная атомная станция – это насыщенный автоматикой объект. Системы автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП) включают в себя подсистемы вибродиагностики. Датчики, установленные на корпусах насосов и вентиляторов, непрерывно отслеживают уровень вибрации.

Если раньше инженеры ориентировались на субъективные ощущения «стука» и «шума», то сейчас компьютер анализирует спектр вибрации и точно определяет, какой именно дефект появился: дисбаланс ротора, износ зубьев шестерни или разрушение сепаратора подшипника.

Моделирование также играет огромную роль. С помощью CAD/CAE систем (цифровых двойников) инженеры еще на этапе проектирования могут просчитать, как поведет себя механизм через 10, 20 или 40 лет работы под воздействием радиации и нагрузок. Это позволяет закладывать запас прочности именно в те узлы, которые изнашиваются быстрее всего [2].

Обеспечение надежности и долговечности машин и механизмов на атомных станциях является сложной, но выполнимой инженерной задачей. Она требует знаний не только в области механики и сопротивления материалов, но и понимания физики процессов старения, химии коррозии и основ автоматизации.

Для студентов, изучающих данное направление, важно усвоить главный принцип: надежность закладывается на этапе проектирования, обеспечивается качеством материалов и изготовления, и поддерживается грамотной эксплуатацией и диагностикой. Только такой комплексный подход гарантирует безопасную и долговечную работу современного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Назарычев А.Н. Методы и модели оптимизации ремонта электрооборудования объектов энергетики с учетом технического состояния. Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т, – 2002. – 168 с.
2. Наумов В.И. Физические основы безопасности ядерных реакторов: учебное пособие / В.И. Наумов – 2-е изд., исправ. и доп. – Москва: Ядерная физика и технологии, 2013.-148 с. – ISBN 978-5-7262-1861-8.

3. Орлов Г.Г. Тепловые и электрические станции. Ч.1: Учебное пособие. // Г.Г.Орлов-1-е изд., – Иваново: Теплоэнергетика и теплотехника, 2012.-118 с.

УДК 621.8

И.В. Нагорнов, В.П. Зарубин

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПОД ПОКРАСКУ

Аннотация: материал статьи посвящен вопросу защиты металлических деталей пожарной техники от коррозии; рассмотрены различные способы подготовки поверхностей к нанесению лака-красочных покрытий; даны рекомендации по выбору оборудования для пескоструйной обработки деталей.

Ключевые слова: техническое обслуживание, пожарные автомобили, удаление ржавчины, пескоструйный аппарат, компрессорная установка.

I.V. Nagornov, V.P. Zarubin

IMPROVING THE QUALITY OF PREPARING METAL PARTS OF FIRE TRUCKS FOR PAINTING

Abstract: the article is devoted to the protection of metal parts of fire fighting equipment from corrosion; various methods of surface preparation for the application of paint and varnish coatings are considered; recommendations are given on the choice of equipment for sandblasting parts.

Keywords: maintenance, fire trucks, rust removal, sandblaster, compressor unit.

Использование пожарных автомобилей по назначению сопряжено с большими нагрузками на их узлы и агрегаты. Двигатель, трансмиссия, пожарное оборудование работает в тяжелых условиях. Высокие обороты, большие крутящие моменты, знакопеременные нагрузки, высокие температуры негативно отражаются на долговечности узлов и подвижных деталях агрегатов пожарной техники [1]. Но не только прочность подвижных частей определяет надежность и работоспособность пожарного автомобиля. Рама, элементы соединения, кузов, защитные панели и т.п. так же являются неотъемлемой частью мобильных средств пожаротушения и должны находиться в исправном состоянии для обеспечения надежной защиты и прочности всего автомобиля в целом. Если для подвижных деталей одной из основных причин выхода из строя является износ трущихся поверхностей (рис. 1), то у стационарных элементов устойчивость к коррозии (рис. 2) является одним из показателей долговечности [2].



Рис. 1. Вал насоса
со следами абразивного износа



Рис. 2. Элемент кабины автомобиля
со следами коррозии

Защита от коррозии в большинстве случаев осуществляется применением защитных покрытий в виде грунтов, эмалей и лаков. Правильно выполненное лакокрасочное покрытие надежно защищает металлические детали от вредного влияния окружающей среды, замедляет и минимизирует окислительные процессы металлов деталей пожарной техники.

Нарушение защитного слоя приводит к возникновению очагов коррозии, а длительное отсутствие слоя краски к полному разрушению металлической детали. Для продления срока эксплуатации деталей кузова пожарного автомобиля необходимо следить за состоянием защитного слоя и при необходимости восстанавливать поврежденные участки [3, 4].

Работы по восстановлению лакокрасочного покрытия состоят из нескольких этапов, одним из которых является подготовительный этап, а именно удаление старого, поврежденного, покрытия и удаления продуктов коррозии (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Способы удаления продуктов коррозии:
а – механический способ; *б* – химический способ.

Анализируя способы подготовки поверхности металлической детали под покраску и учитывая особенности и возможности проведения малярных работ в условиях ремонтного участка пожарно-спасательной части, а также обращая внимание на качество проведенных подготовительных работ предлагается проводить

пескоструйную обработку поврежденных коррозией деталей (рис. 4). Возможность качественного удаления ржавчины с поверхностей деталей сложной геометрической формы, минимизация удаления основного металла, возможность обработки участков различной площади выгодно выделяет пескоструйную обработку перед другими способами подготовки поверхностей [5].



Рис. 4. Пескоструйная обработка кузовных деталей автомобиля.

Для выполнения операции по пескоструйной обработке необходимо следующее оборудование: пескоструйный аппарат и компрессор (рис. 5).



Рис. 5. Пескоструйное оборудование:
а – пескоструйный аппарат; *б* – компрессор воздушный.

Стоит отметить, что то и другое оборудование подбирается под конкретный объем и периодичность выполняемых работ [6]. Так, на рынке, пескоструйные установки представлены двумя типами аппаратов: напорные и инжекторные. Схожие по конструкции типы установок имеют свои особенности. Принцип работы инжекторного пескоструйного аппарата основан на том, что абразивный материал и сжатый воздух подается в рабочую зону через два сопла. Эта система не дает большой мощности и скорости рабочему потоку, что подходит для поверхностей с небольшими коррозионными повреждениями и загрязнениями. Такая система не подходит для подготовительных работ под покраску металлических деталей. Второй тип

пескоструйных установок оснащается одним рабочим соплом, через которое абразивный материал выталкивается наружу за счет сжатого воздуха и высокого давления. При такой подаче абразивные частицы двигаются с высокой скоростью и действуют на обрабатываемую деталь с большой силой. Такая система является наиболее подходящей для обработки металлических поверхностей, поврежденных коррозией.

Учитывая особенности эксплуатации пожарной техники, сроки ее эксплуатации, частоту проведения технического обслуживания с необходимостью восстановления лака-красочного покрытия, а также площади обрабатываемых поверхностей проводим расчет и выбор оптимального, для наших целей, пескоструйного оборудования. Выбрав напорную систему пескоструйного аппарата следующим этапом, идет расчет и выбор компрессорной установки. Отправной точкой в расчетах являются параметры абразивных установок с цилиндрическими соплами, а именно диаметр сопла. Форму и диаметр сопла, 8 мм, назначаем исходя из требований к установке. Для обеспечения качественной работы пескоструйного аппарата с выбранным диаметром сопла необходимо создать давления воздуха $5,0 \text{ кгс/см}^2$ и обеспечить его расход в пределах $2,9 \text{ м}^3/\text{мин}$. Для выработки указанных выше параметров необходимо подобрать компрессор с подходящими техническими характеристиками. Стоит отметить, что оба указанные параметры являются важными для выполнения операции очистки стали от продуктов коррозии. Так, расход воздуха оказывает влияние на скорость выполнения обработки и качество рабочей смеси, состоящей из абразивного материала и воздуха. Подобрать подходящий по этому параметру компрессор не представляет труда. Современное компрессорное оборудование обладает достаточно широким диапазоном по показателям производительности, что позволяет применять сопла пескоструйных аппаратов различного диаметра.

Выбор компрессора по рабочему давлению связан с обрабатываемым материалом. Для обработки стали с относительно небольшим слоем удаляемого лака-красочного покрытия и слоя ржавчины достаточно давления до 8 кгс/см^2 . Учитывая потери давления в рабочих, а не напорных магистралях пескоструйного аппарата, рекомендуется сокращать до возможной длины рабочую магистраль идущую от пескоструйного материала, компенсируя расстояние от компрессорной установки до аппарата напорными воздушными рукавами.

Обеспечение необходимых для работы пескоструйного аппарата параметров давления и расхода сжатого воздуха возможно с помощью применения поршневого компрессора с прямой передачей и объемом ресивера от 50 литров. Небольшой недостаток поршневых компрессоров, связанный со скачками давления воздуха, нагнетаемого в магистраль, компенсируется их стоимостью по сравнению с компрессорами винтового типа. Учитывая специфику и объемы ремонтных операций в пожарно-спасательных частях преимущество остается за компрессорными установками поршневого типа.

Выбранная система напорного пескоструйного аппарата и поршневого компрессора позволит решить ряд задач по подготовке металлических деталей пожарной техники для нанесения защитных лака-красочных покрытий. Таким оборудованием можно обрабатывать детали с ровной поверхностью, полностью или локально, и детали, имеющие сложную геометрическую форму. Качество выполнения пескоструйной обработки значительно выше аналогичных обработок другими известными способами. Максимально устраняя следы коррозии, пескоструйная

обработка создает на поверхности металлических деталей микрошероховатость, обеспечивая лучшую адгезию защитных покрытий. Использование пескоструйной обработки в ремонтных мастерских пожарно-спасательных частей повысит качество проведения технического обслуживания пожарных автомобилей, что положительно отразится на готовности пожарной техники к применению по назначению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мухаметов, Ю. С. Эксплуатация и техническое обслуживание пожарных автомобилей при тушении крупных пожаров в северных регионах / Ю. С. Мухаметов, И. И. Межидов, В. П. Зарубин // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XVI всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. – С. 278-282.
2. Повышение эффективности эксплуатации пожарной техники за счет создания необходимых условий для ее ремонта и технического обслуживания / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, В. Е. Иванов, А. А. Покровский // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 2(51). – С. 47-55.
3. Зарубин, В. П. Влияние способа подготовки металлических конструкций для нанесения огнезащитных материалов на прочность покрытия / В. П. Зарубин, С. М. Хаджиев // Общенаучные проблемы инженерной подготовки кадров МЧС России: Сборник трудов XXXIV Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2024 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2024. – С. 129-133.
4. Альмухамбетов, А. С. Изучение влияния способа подготовки металлических деталей под покраску на надежность покрытия / А. С. Альмухамбетов, В. П. Зарубин // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции, Иваново, 23 ноября 2023 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 336-340.
5. Петров, В. С. Предложения по способам защиты от коррозии деталей кузова пожарной техники / В. С. Петров, В. П. Зарубин // Гражданская оборона на страже мира и безопасности : Материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 4-х частях, Москва, 01 марта 2022 года / Том Часть III. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022. – С. 104-108.
6. Гасанов, Ш. М. О необходимости применения осушителя сжатого воздуха для работы пневматического инструмента / Ш. М. Гасанов, В. П. Зарубин // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов XVI всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. – С. 23-27.

УДК 621.882

П.В. Пучков, А.А. Покровский

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСИСТЕНТНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: в статье представлены результаты исследований защиты от коррозии оцинкованных резьбовых соединений типа «винт-гайка» с помощью различных консистентных смазочных материалов. Резьбовые соединения обычной точности не являются герметичными, поэтому жидкости (атмосферная влага, реагенты) могут беспрепятственно проникать в зазор между витками наружной и внутренней резьбы и вызывать их коррозию. Продукты коррозии (ржавчина) возникающие между витками наружной и внутренней резьбы значительно превышают объем металла, из которого они образуются, что в свою очередь приводит к увеличению момента отвинчивания резьбового соединения или к полной утрате его подвижности.

Ключевые слова: резьба, ключ моментный, смазочный материал, коррозия, коррозионная среда, надежность.

P.V. Puchkov, A.A. Pokrovsky

IMPACT STRENGTH OF SOME ALUMINUM ALLOYS USED IN FIRE FIGHTING EQUIPMENT

Abstract: This article presents the results of research on corrosion protection of galvanized screw-nut type threaded connections using various greases. Threaded connections of ordinary precision are not sealed, therefore liquids (atmospheric moisture, reagents) can freely penetrate into the gap between the coils of the external and internal threads and cause their corrosion. The corrosion products (rust) that occur between the turns of the external and internal threads significantly exceed the volume of the metal from which they are formed, which in turn leads to an increase in the moment of unscrewing the threaded connection or to a complete loss of its mobility.

Keywords: thread, torque wrench, lubricant, corrosion, corrosive environment, reliability.

В современных условиях обеспечение надёжности и безотказной работы пожарной и аварийно-спасательной техники выступает одним из важнейших факторов, определяющих эффективность и оперативность ликвидации чрезвычайных ситуаций. Среди ключевых элементов конструкции любого механизма, в том числе и пожарного автомобиля являются резьбовые соединения, обеспечивающие сборку и функциональность большинства агрегатов: насосных систем, гидравлических приводов, узлов ходовой части, систем подачи огнетушащих веществ [1].

Однако в процессе эксплуатации эти соединения подвержены частичной или полной потере подвижности. Причины могут быть самые разные: развитие пластических деформаций витков резьбы, образование задиров, низкая точность сборки, нарушение смазочного слоя, циклические нагрузки. Однако все резьбовые соединения подвержены в разной степени коррозионному разрушению. По данным статистических наблюдений до 20–25 % внеплановых ремонтов пожарной техники

сопряжены с проблемами демонтажа узлов и агрегатов автомобиля по причине отсутствия подвижности в резьбовых соединениях.

Основной причиной потери подвижности резьбовыми соединениями является коррозия. Металлические элементы, находящиеся в постоянном контакте с коррозионными средами: воздухом, влагой, агрессивными жидкостями, подвергаются постепенному разрушению вследствие окислительных процессов. Наиболее часто встречающийся вид самопроизвольного разрушения стальных деталей – это ржавление, происходящее в результате взаимодействия стальных металлических метизов с атмосферным кислородом и влагой. Продукты коррозии (ржавчина) накапливаются в зазорах между витками наружной и внутренней резьбы резьбового соединения, увеличивая коэффициент трения, момент отвинчивания и затрудняя движение соединяемых частей резьбового соединения относительно друг друга.

Для решения проблемы коррозионного разрушения внутренней и наружной поверхностей крепежных резьб в соединении винтовой пары «винт-гайка» были смоделированы условия работы таких соединений. Созданные лабораторные условия сходны с условиями, в которых работают резьбовые соединения пожарной и аварийно-спасательной техники на дорогах России, где кроме атмосферной влаги присутствуют различные химические реагенты, применяемые в качестве антиобледенительного агента, а также образующиеся на их основе водные соляные аэрозоли.

Известно, что в жидких электролитах коррозионные процессы в сталях протекают быстрее чем на воздухе. Для проведения исследований влияния негативного воздействия жидких электролитов на работоспособность резьбовых соединений был подготовлен комплект оцинкованных винтовых пар «болт – две гайки» с метрической резьбой М12 и классом прочности болтов 5.8 (ГОСТ 1759.4-87) (рис.1).

В качестве агрессивных сред для проведения исследований использовались жидкие агрессивные среды: водопроводная вода, водный раствор поваренной соли (100 мл. H_2O + 25 г. $NaCl$ + 1 мл HCl) (рис. 2). Соляная кислота вводилась в раствор для разрушения цинкового покрытия и ускорения коррозии резьбового соединения. Предварительно, все резьбовые пары затягивались с нормированным усилием равным 40 Нм с помощью ключа моментного показывающего КМ-140.



Рис. 1. Резьбовое соединение «Болт М12х30 мм – две гайки» с цинковым покрытием

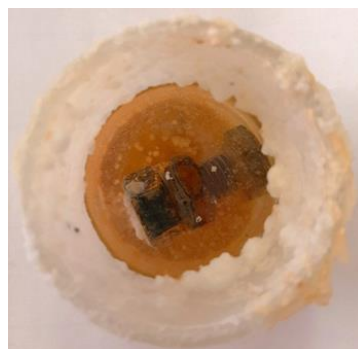


Рис. 2. Поверхность резьбового соединения «Болт М12 – две гайки» после выдержки 45 суток в растворе поваренной соли

Для защиты резьбы ее витки заполнялись различными консистентными смазочными материалами, а затем соединения погружались в коррозионные растворы. Основными критериями в подборе консистентных смазочных материалов являлись: доступность; невысокая стоимость; высокая водостойкость; высокая вязкость; стабильность против коррозии; широкий диапазон рабочих температур.

Для заполнения зазора в резьбовом соединении были подобраны следующие смазочные материалы (таблица).

Таблица. Характеристики консистентных смазочных материалов

№	Название материала	Рабочий диапазон температур, °С	Среднерыночная стоимость материала, руб./100 г.
1	Жировой солидол	-30 до +65°С (в мощных механизмах до -50°С)	27,00
2	Графитовая смазка	от -20°С до +70°С.	42,00
3	ФИОЛ-2У	-40...+120°С (кратковременно до 130°С)	81,00
4	Смазка №158М	от -30 до +110 °С	40,00

Исследования показали, что применение консистентных смазочных материалов существенно снижает момент отвинчивания. На рис. 3 представлен график, иллюстрирующий величины моментов отвинчивания в зависимости от выбранного смазочного компонента и без его применения.

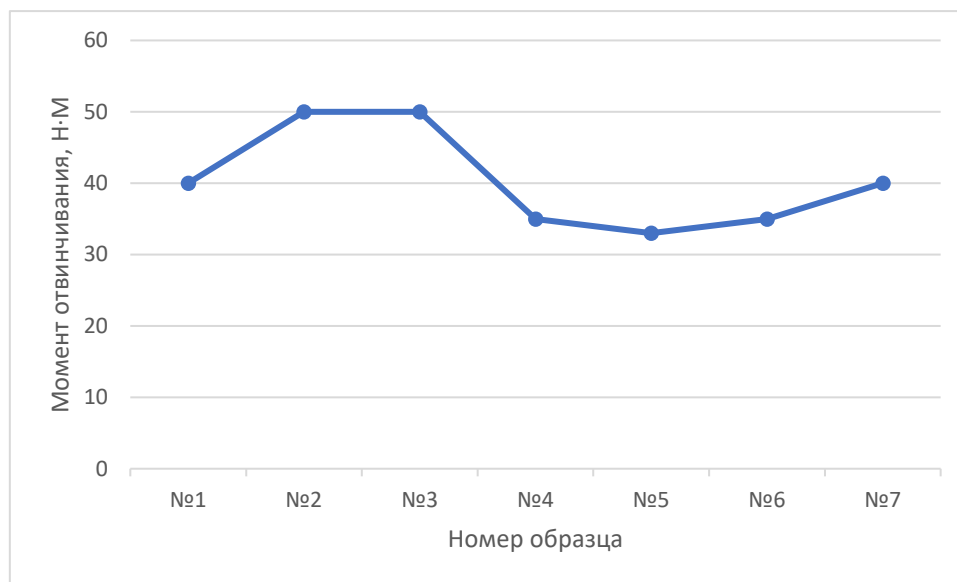


Рис. 3. График зависимости момента отвинчивания от вида смазочного материала:

- 1 – без обработки (на воздухе); 2 – без обработки (водопроводная вода);
3 – без обработки (NaCl); 4 – жировой солидол (NaCl); 5 – графитовая смазка (NaCl);
6 – ФИОЛ-2У (NaCl); 7 – №158М (NaCl).

Из графика видно, что образцы № 2, 3, извлеченные из воды и раствора NaCl, имеют максимальный момент отвинчивания по причине отсутствия смазки в

соединениях. Остальные соединения, напротив, имеют момент меньше величины предварительной затяжки (40 Н·м).

Из четырех использованных консистентных смазок наиболее эффективно зарекомендовал себя жировой солидол с моментом отвинчивания (35 Н·м) и стоимости 27 руб./100 г. Минимальный момент (33 Н·м) отмечается при обработке резьб графитовой смазкой, но ее стоимость на 35,7 % выше, чем у жирового солидола. Применение смазки №158М практически не повлияло на момент отвинчивания, он оказался равным нормированному моменту затяжки.

Таким образом для защиты резьбовых соединений от действия агрессивных сред наиболее целесообразно применение жирового солидола, обеспечивающего минимальный момент отвинчивания при минимальной стоимости смазки. Данный смазочный компонент подходит для использования в качестве консервационной смазки для открытых шарниров и резьбовых соединений, рычагов управления и других узлов пожарной техники, подверженных воздействию пыли, влаги и умеренно агрессивной среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смазочная композиция для механических передач текстильных машин / Е. А. Топорова, В. П. Зарубин, В. В. Киселев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2021. – № 2(392). – С. 99-104. – DOI 10.47367/0021-3497_2021_2_99. – EDN AMPFDR.

2. Каргаев, З. С. Исследование влияния некоторых жидких сред на коррозионное разрушение резьбовых соединений / З. С. Каргаев, П. В. Пучков // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2022. – С. 497-501. – EDN IESRQK.

3. Кононов, И. А. Коррозионное разрушение резьбовых соединений в водных растворах / И. А. Кононов // Энергия-2019: Материалы конференции: в 6 томах, Иваново, 02–04 апреля 2019 года. Том 4. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2019. – С. 87. – EDN HLENGW.

4. Пучков, П. В. Проблемы обеспечения надежности и работоспособности резьбовых соединений, применяемых в пожарной и аварийно-спасательной технике / П. В. Пучков, И. А. Конов // Современные проблемы создания и эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов в системе МЧС России : сборник трудов XXIX Международной научно-практической конференции, Химки, 21 марта 2019 года / Академия гражданской защиты МЧС России. Том Секция 10. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2019. – С. 14-18. – EDN GBRKJK.

5. Разработка способов защиты резьбовых соединений пожарной техники от коррозии / А. В. Топоров, П. В. Пучков, В. Е. Иванов, С. С. Кузин // Пожарная и аварийная безопасность. – 2019. – № 1(12). – С. 59-65. – EDN CHQOTS.

6. Масленников, Р. А. Снижение надежности крепежных резьб вследствие воздействия на них негативных факторов пожара / Р. А. Масленников, П. В. Пучков, В.

В. Киселев // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 года. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 151-155. – EDN UTXASX.

УДК 628.147.22

Я.А. Резанов, С.А. Егоров

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАЩИТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ОТ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ

Аннотация: Трубопровод подачи воды для охлаждения и водоснабжения электростанций находится под воздействием электрохимической коррозии, что приводит к его преждевременному разрушению. Для защиты от электрохимической коррозии трубопровода и его элементов спроектирована протекторная и катодная системы. Они включают в себя магниевые аноды и приборы поляризации. Защита рассчитана на срок эксплуатации 10 лет.

Ключевые слова: электростанция, трубопровод, электрохимическая коррозия, протектор, катодная защита, магниевый анод.

Ya.A. Rezanov, S.A. Egorov

DESIGN OF PROTECTION OF POWER PLANT COOLING PIPELINES FROM ELECTROCHEMICAL CORROSION

Abstract: The water supply pipeline for cooling and water supply of power plants is under the influence of electrochemical corrosion, which leads to its premature destruction. A protective and cathode system has been designed to protect against electrochemical corrosion of the pipeline and its elements. They include magnesium anodes and polarization devices. The protection is designed for a 10-year service life.

Keywords: power plant, pipeline, electrochemical corrosion, protector, cathodic protection, magnesium anode.

Трубопроводы электростанций, предназначенные для подачи воды находятся под воздействием коррозионного разрушения, которое связано с составом подаваемой воды. В некоторых случаях используется морская вода с микроорганизмами и водорослями без предварительной очистки. В этом случае наблюдается повышенное коррозионное разрушение элементов трубопровода и труб. Изготовление труб для подачи воды производится из стали различных марок.

Электрохимическая коррозия возникает из-за микрогальванопар металлического сплава, образующего стальную трубу. Это могут быть фазы твердого раствора железа, никеля, карбидов железа, фосфидов железа и других включений. Чаще всего разрушение происходит в местах соединения труб, фланцев, сварных швов.

Металлические части трубопровода, погруженные в водную среду, начинают работать как гальванические элементы. Может проходить как химическая, так и

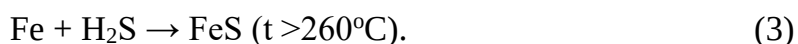
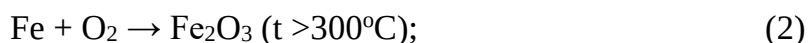
электрохимическая коррозия. Размеры разрушения определяются разностью потенциалов микрогальванопар. По данным некоторых исследователей размер разрушения трубопроводов может достигать 4000 г/(м²год) [1].

Коррозионные процессы, протекающие в стальных трубопроводах, преимущественно протекают при катодном разрушении с кислородной деполяризацией. Размер разрушения зависит от условий доставки кислорода к поверхности и может быть рассчитан по формуле:

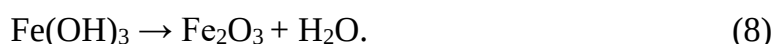
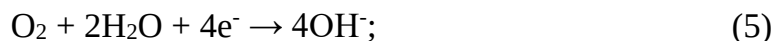
$$i_{np} = \frac{z \cdot F \cdot D \cdot C_{O_2}}{\delta}, \quad (1)$$

где z число электронов, участвующих в реакции, F – постоянная Фарадея, D – коэффициент диффузии растворенного кислорода, C_{O_2} – концентрация растворенного кислорода, δ – толщина диффузионного слоя.

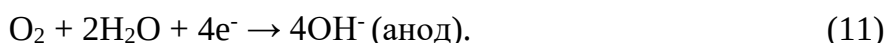
Процесс протекает в соответствии с химическими реакциями:



Электрохимическая коррозия протекает в присутствии электролита и возможна при комнатной температуре:



Био-коррозия протекает в присутствии микроорганизмов, содержащихся в проточной воде, и возможна при комнатной температуре:



Цель работы заключается в проектировании протекторной и катодной защиты от электрохимической коррозии трубопровода подачи воды электростанции.

Срок службы трубы из углеродистой стали диаметром 100 мм составляет 2-3 года. Возможно повышение этого периода за счет нанесения покрытий, анодной защиты и катодной поляризации.

Снижение электрохимической коррозии проводят при помощи нанесения защитных покрытий на поверхность трубы, покрывая наружную или внутреннюю поверхность лакокрасочными покрытиями.

Также можно использовать металлические покрытия, например цинк. В некоторых случаях используют полимеры.

Использование протекторной защиты и катодной поляризации основано на восполнении электронов, стекающих с участков подверженных коррозионному разрушению

Для более точного определения параметров электрохимической защиты необходимо проводить замеры электрического сопротивления грунта, а также поляризационные потенциалы трубопровода по всей трассе пролегания. Замеры проводятся вольтметром с внутренним сопротивлением не менее 1 Мом с применением медно-сульфатного электрода сравнения по методике [2].

Необходимо было провести расчет электрических характеристик защищаемого трубопровода. Таких как, продольное сопротивление участка, переходное сопротивление участка трубопровода.

Были рассчитаны сопротивление растеканию тока, среднее удельное электрическое сопротивление грунта, постоянную распространения тока вдоль трубопровода, входное сопротивление.

Длина защитной зоны трубопровода диаметром 108 мм составляет примерно 100 м и защищаемая площадь поверхности около 34 м².

Для такой площади необходима сила тока электрохимической защиты 0,3 А. Выбираем рекомендуемые аноды из магниевого сплава ПМ-5 [3]. Так как сила тока одного протектора 0,04 А, то необходимо 9 протекторов на участок. Выбираем расположение анодов группами в грунте горизонтально на глубине 2 м по 3 штуки в группе. Всего 3 группы.

Для определения срока службы протектора вычисляется средний ток, вырабатываемый в течении эксплуатации. Масса анода постепенно уменьшается и разность потенциалов между трубой и анодом изменяется. Поэтому сила тока одного протектора будет уменьшаться по мере уменьшения массы. Теоретически рассчитанная долговечность будет составлять 17 лет. Формула для определения долговечности протекторов:

$$T = \frac{Gq\eta_u\eta_n}{I_{cp}8760}, \quad (12)$$

где G – масса протектора, q – теоретическая токоотдача, η_u – коэффициент использования материала протектора, η_n – КПД протекторов, I_{cp} – средний ток протектора.

Наличие блуждающих токов приводит к необходимости поляризованной протекторной защиты. Подключение протекторов к трубопроводу производится через специальные контактные устройства. Преобразователь представляет собой вентильное устройство со смещенным порогом открывания 0,3 В.

Для катодной защиты вычислена сила тока катодной установки. Определены электрические параметры преобразователя катодной защиты. Напряжение на выходе и мощность. Источник тока сухой гальванический элемент 1,5 В. Всего срок службы источника 4000 часов, поэтому необходимо проводить контрольные замеры катодного тока поляризации и замену элементов питания два раза в год.

Катодная защита устанавливается только в том случае, если присутствуют блуждающие токи, при этом длина защищаемого участка обычно около 3 км.

Расчетным путем установлено, что долговечность защищаемого участка трубопровода будет составлять 17 лет. Определены параметры магниевых анодов и электрические параметры катодной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория и технология электрохимических методов защиты от коррозии: [учеб.-метод. пособие] / О. В. Ярославцева, В. М. Рудой, Н. И. Останин, Т. Н. Останина, А. А. Трофимов; [науч. ред. А. Б. Даринцева]; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 96 с.

2. ГОСТ 9.602-2016. Единая система защиты от коррозии и старения. Сооружения подземные. Общие требования к защите от коррозии. – М.: Стандартинформ, 2016. – 93 с.

3. СТО Газпром 2-3.5-047-2006. Инструкция по расчету и проектированию электрохимической защиты от коррозии магистральных газопроводов. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2006. -50 с.

УДК 614.846.6

Н.А. Сырейщиков, М.С. Кнутов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ТЕРМОИЗОЛЯЦИИ ОСНОВНОГО СИЛОВОГО АГРЕГАТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы эксплуатации пожарных автомобилей в условиях низких температур, анализируются причины повышенного износа двигателей и предлагаются комплексные технические решения по их утеплению. Представлены результаты исследования температурных полей силовых агрегатов, обоснована необходимость модернизации штатной системы утепления. Особое внимание уделяется особенностям применения разработанных решений на технике различного года выпуска.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, надежность, термоизоляция, двигатель внутреннего сгорания, эксплуатация в условиях низких температур.

N.A. Syreishchikov, M.S. Knutov

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF A THERMOISOLATION SYSTEM FOR THE MAIN POWER UNIT OF FIRE EQUIPMENT TO INCREASE OPERATIONAL RELIABILITY

Abstracts: The article discusses the problems of operating fire trucks in low-temperature conditions, analyzes the causes of increased engine wear, and proposes comprehensive technical solutions for engine insulation. The article presents the results of a study of the temperature fields of power units and substantiates the need for modernizing the standard insulation system. Special attention is paid to the application of these solutions on vehicles of different years of production.

Keywords: fire truck, reliability, thermal insulation, internal combustion engine, low-temperature operation.

Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью обеспечения эффективной работы пожарной техники в условиях низких температур, характерных для значительной части территории России. [1]. Эксплуатация пожарных автомобилей при отрицательных температурах сопряжена с рядом технических проблем, влияющих на надежность и долговечность силовых агрегатов.

В ходе исследования были проведены эксперименты для различных климатических зон. Анализ территории применения пожарной техники показывает, что значительная часть регионов России характеризуется длительными периодами отрицательных температур, достигающих -40°C . Именно эти регионы демонстрируют более быстрый износ техники и основных агрегатов пожарного автомобиля. Несомненно, при таких условиях наблюдается существенное ухудшение эксплуатационных характеристик пожарной техники, что требует разработки специальных технических решений.

Экспериментальные исследования для техники северных регионов демонстрируют критическое влияние низких температур на работу силовых агрегатов. При понижении температуры от 0 до -40°C износ двигателя внутреннего сгорания (далее – ДВС) пожарного автомобиля возрастает на 25 % вследствие повышенной нагрузки на конструктивные элементы. Данный процесс обусловлен следующими факторами:

- увеличением вязкости моторного масла;
- ухудшением смесеобразования;
- снижением эффективности работы системы охлаждения;
- повышенным износом деталей при холодном пуске.

Штатная система утепления пожарных автомобилей не обеспечивает достаточной защиты двигателя. Исследования температурных полей (рис. 1, 2) выявили критические зоны теплопотерь, интенсивность которых возрастает при увеличении скорости ветра, в том числе при наборе скорости движения пожарным автомобилем во время следования на место тушения пожара.

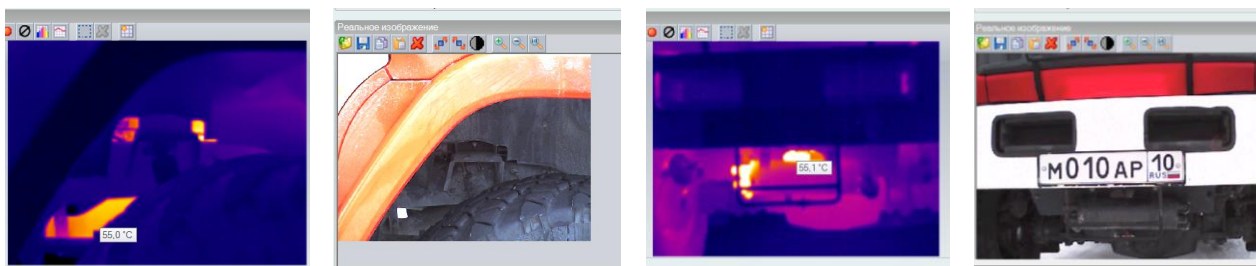


Рис. 1. Температурные поля при работе ДВС шасси «Урал «Next»»

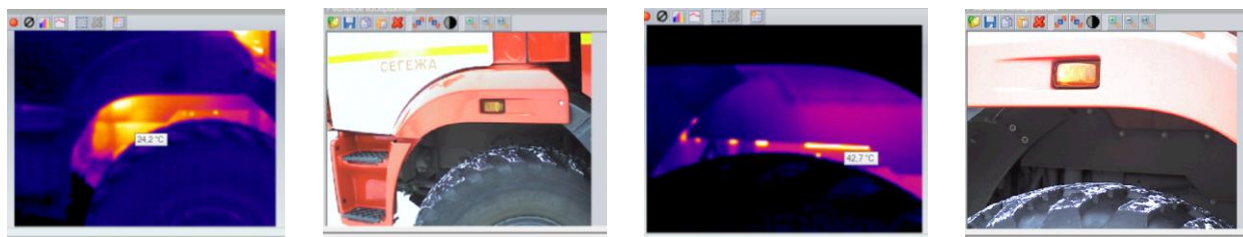


Рис. 2. Температурные поля при работе ДВС шасси «КамАЗ»

Таким образом, для оптимизации теплового режима ДВС необходимо комбинированное регулирование температуры жидкостной системы охлаждения (далее – СО), т.е. изменение циркуляции теплоносителя в жидкостной СО термостатом, поэтому оптимизация СО может быть осуществлена рядом технических решений:

- капсулирование силового отделения, которое включает в себя экранирование силового отделения пожарного автомобиля посредством размещения сверху ДВС, под капотом «автоодеяла», снизу постоянным, либо съемным, фальшподдоном (брезент, пенофол¹);
- монтаж дополнительных жалюзи (либо шторки), размещенных на фронте радиатора, обращенном к вентилятору ДВС (рис. 3).



Рис. 3. Пример исполнения дополнительных шторок и жалюзи на фронте радиатора

- оптимизация циркуляции охлаждающей жидкости, которая обеспечивается водяным насосом (помпой). Оптимизация этого процесса включает в себя управление направлением и интенсивностью потока жидкости с использованием термостата. [2]

Немало известным фактом также является, что не все пожарные подразделения нашей страны имеют на вооружении новую технику [3]. Следовательно, одним из основных аспектов нашего исследования является модернизация устаревших моделей пожарных автомобилей. Они в свою очередь требуют учет следующих особенностей:

¹ Пенофол — это теплоизолирующий материал, который используется для утепления различных конструкций, в том числе стен, перекрытий и кровли. Основа пенофола — вспененный полиэтилен, который с одной или с двух сторон покрыт алюминиевой фольгой.

- отсутствие современных систем терморегуляции. В старых автомобилях могут отсутствовать электронные контроллеры и датчики, что усложняет точную настройку температурного режима;

- специфика конструктивного размещения двигателя. Расположение двигателя, ограниченный доступ к некоторым узлам и устаревшие материалы могут затруднять установку современных теплообменников и систем регулирования;

- необходимость адаптации утеплительных элементов. Утеплительные элементы и дополнительные системы охлаждения нужно монтировать с учётом особенностей конкретной модели, чтобы не нарушить работу других агрегатов;

- ограничения по мощности. В старых двигателях может не хватать запаса мощности для привода дополнительного насоса или обеспечения циркуляции жидкости в расширенной системе.

Для решения вышеописанных проблем в ходе написания статьи было предложено внедрение решений, которое включает следующие этапы:

- диагностическое обследование техники, которое включает в себя изучение технической документации, анализ условий эксплуатации, составление акта обследования и формирования необходимого перечня работ:

- подбор оптимальных теплоизоляционных материалов, которые будут соответствовать заданным режимам работы двигателя и эксплуатироваться в определенных климатических условиях;

- монтаж утеплительных конструкций, которые будут учитывать механическую прочность, пожаробезопасность и экологическую безопасность при эксплуатации;

- контрольные испытания, для подтверждения эффективности принятых решений и составления базы по внедрению на остальные единицы пожарной техники [4].

По предварительной оценке, реализация предложенных решений позволит достичь следующих показателей, а именно:

- сокращение времени послепускового прогрева на 30-40%;
- снижение скорости охлаждения после остановки на 45-50%;
- предотвращение переохлаждения при работе на холостом ходу;
- увеличение ресурса двигателя на 20-25%;
- повышение надежности эксплуатации в зимних условиях.

В заключении проведенного исследования эксперименты подтвердили, что предложенные решения по утеплению двигателей пожарных автомобилей являются эффективным способом повышения надежности эксплуатации техники в условиях низких температур. Особое значение данные разработки имеют для парка устаревших пожарных автомобилей, требующих модернизации для обеспечения их работоспособности в зимний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 58715-2019. Пожарная техника. Специальные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний.

2. Голубь С. А., Сероштан И. А. Организация эффективной эксплуатации автомобилей предприятия в зимних условиях за счет сохранения тепла от предыдущей работы двигателя //состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. – 2017. – С. 68-69.

3. Логинов В. И., Пичугин А. И. и др. О необходимости реструктуризации возрастного состава парка основных пожарных автомобилей. внедрение новых моделей пожарных автомобилей при формировании структуры обновленного парка // Актуальные вопросы пожарной безопасности. – 2019. – №2.

4. Матяш С. П., Иванов З. А. Перспективные способы тепловой подготовки двигателя внутреннего сгорания при эксплуатации в зимний период //Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования. – 2018. – С. 178.

5. Семенов А.Д. Памятка по утеплению основного силового агрегата пожарного автомобиля.

УДК 621

Х.В. Тазбаев, Н.А. Кропотова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ ХИМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация: в статье представлены результаты аналитического обзора отказов пожарной техники, вследствие коррозионной усталости материала. За счет выбранной коррозионной модели активности атмосферных влияний на стальные детали, где основным компонентом является железо, приведены кинетические кривые коррозии. Обоснован выбор авторами 80 % эффективного ингибитора для защиты пожарной автоцистерны, применяемого в южном регионе России пожарно-спасательного гарнизона, находящейся длительно время нагруженной.

Ключевые слова: коррозия, отказ техники, коррозионная усталость материала, кинетические кривые коррозии, ингибиторы коррозии.

Ch.V. Tazbaev, N.A. Kropotova

ENGINEERING SOLUTIONS TO REDUCE THE CHEMICAL RESISTANCE OF MACHINE PARTS DURING THEIR OPERATION

Abstracts: the article presents the results of an analytical review of fire equipment failures caused by material corrosion fatigue. Based on the chosen corrosion model of atmospheric effects on steel parts, where the main component is iron, the article provides kinetic corrosion curves. The authors have justified the choice of an 80 % effective inhibitor for protecting a fire truck used in the southern region of Russia, which is heavily loaded.

Keywords: corrosion, equipment failure, material corrosion fatigue, corrosion kinetic curves, and corrosion inhibitors.

Пожарная техника – это основное средство борьбы с огнем, которое стоит на вооружении в подразделениях пожарной охраны. Данные по оснащению новыми образцами техники, к сожалению, в открытом доступе отсутствуют. По результатам исследования коллег [1], стоит сделать вывод о том, что в территориальных органах МЧС России не в полной мере реализуются меры по замещению устаревшей техники

современными образцами, следовательно, парк техники устаревает, а значит растет число отказов. Многие детали машин подвергаются воздействию сразу нескольких факторов: агрессивной среды, усталостным напряжениям, знакопеременным нагрузкам и перегрузкам, растягивающим усилиям и касательным напряжениям, перегревам и критически низким температурам, а также их цикличность, механические повреждения, ударные нагрузки, др. Множество факторов влияет на причины происшествий, которые приводят к отказам техники, но основной остается – снижение коррозионной стойкости материалов (рис. 1).

Коррозионная усталость металла – это разрушение металла под действием коррозионно-активной среды и знакопеременных напряжений.

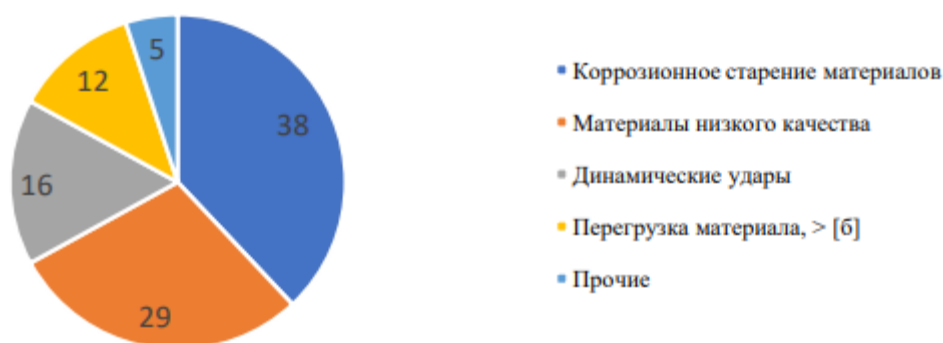


Рис. 1. Статистика причин отказов пожарной техники за 2025 год по ГУ МЧС России по Чеченской Республике

Практический опыт эксплуатации пожарной техники показал, что наиболее подвержены коррозии автоцистерны, вероятно это связано с проливами огнетушащих веществ, содержащих щелочную среду пенообразователя, в том числе его проливы при заправке. Стоит отметить одну особенность, что знакопеременные напряжения как таковые не являются причиной самого процесса коррозии, а вызывают появление множества микротрещин, которые со временем переходят, сливаясь в более глубокие и крупные трещины, которые в последствии переходят в одну крупную трещину коррозионной усталости (рис. 2).

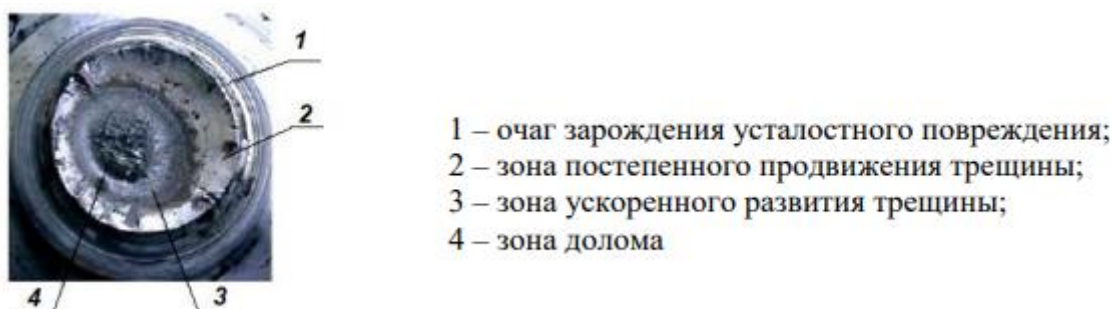


Рис. 2. Коррозионная усталость материала

Коррозионная усталость материала может усиливаться вследствие ряда дополнительных факторов: колебания огнетушащих веществ внутри резервуара автоцистерны; колебания подрессорных масс при движении пожарной техники, колебания, обусловленные заливкой и опорожнением цистерны, технологические

причины (например, некачественная сварка, поля остаточных сварочных напряжений), несостыковка или неправильное конструирование деталей узлов (например, жесткие элементы конструкции: материал работает в зоне концентрации напряжений, когда возникают трещины малоциклового усталости). Основной причиной коррозионной усталости материалов является постоянное воздействие негативных и агрессивных факторов: температура, наличие хлорид ионов, влага, давление, пенообразователи, др.

В любом случае, коррозия материалов неразрывно связана с атмосферными осадками и окружающей средой: влага, температура, давление, причем скорость коррозии будет зависеть от внешних и внутренних факторов, которые постоянно меняются во времени. Поэтому коррозионная модель (*КМ*) активности атмосферных влияний на материал [2] можно представить выражением:

$$KM = a_1 + a_2 RH + a_3 P + a_4 T + a_5 OBC + a_6 SO_2 + a_7 Cl, \quad (1)$$

где $a_1, a_2, a_3 \dots, a_7$ – коэффициенты; RH – относительная влажность; P – давление; T – температура; OBC – общее время смачивания (время нахождения влаги на поверхности металла); SO_2 – концентрация диоксида серы в окружающей среде, Cl – концентрация хлоридов в воздухе.

Модель, связанная с воздействием агрессивной среды, в качестве которых могут выступать пенообразователи, имеет гораздо больше факторов, но в любом случае, любая модель – это не практическое исследование, это всего лишь форма выражения коррозионных разрушений.

В современном представлении различают следующие виды исследований:

- теоретическое исследование с помощью модели;
- квантовое исследование с помощью квантово-химического расчета по силе связи и погружении в диэлектрическую среду с заданными количествами хлоридов;
- компьютерное исследование с помощью искусственного интеллекта, который дает прогноз по расчетам скорости коррозии;
- проведение эксперимента, когда погружается материал (гвоздь или пластина) в активную или агрессивную среду (химический стакан с активными жидкостями, как правило, это соленая и подкисленная вода, либо в камеру с соляным туманом, или в термокамеру с влажным воздухом).

Результатом любого исследования является скорость коррозии, которая определяется экспериментально в течение ограниченного промежутка времени – несколько дней, поэтому эти данные достаточно сомнительные, поскольку скорость коррозии зависит от продолжительности погружения образца в среду.

Поместили 20 образцов из низкоуглеродистой стали в исследуемую среду (рис. 3), затем через определенный промежуток времени (t_1 – 5 суток, t_2 – 10 суток) взвешивали образцы без среды – получили коррозионные потери железа ($\Delta m/S$, г/см²) в атмосфере [2], воде [2], соленой воде, подкисленной воде, солено-подкисленной воде (рис. 4).

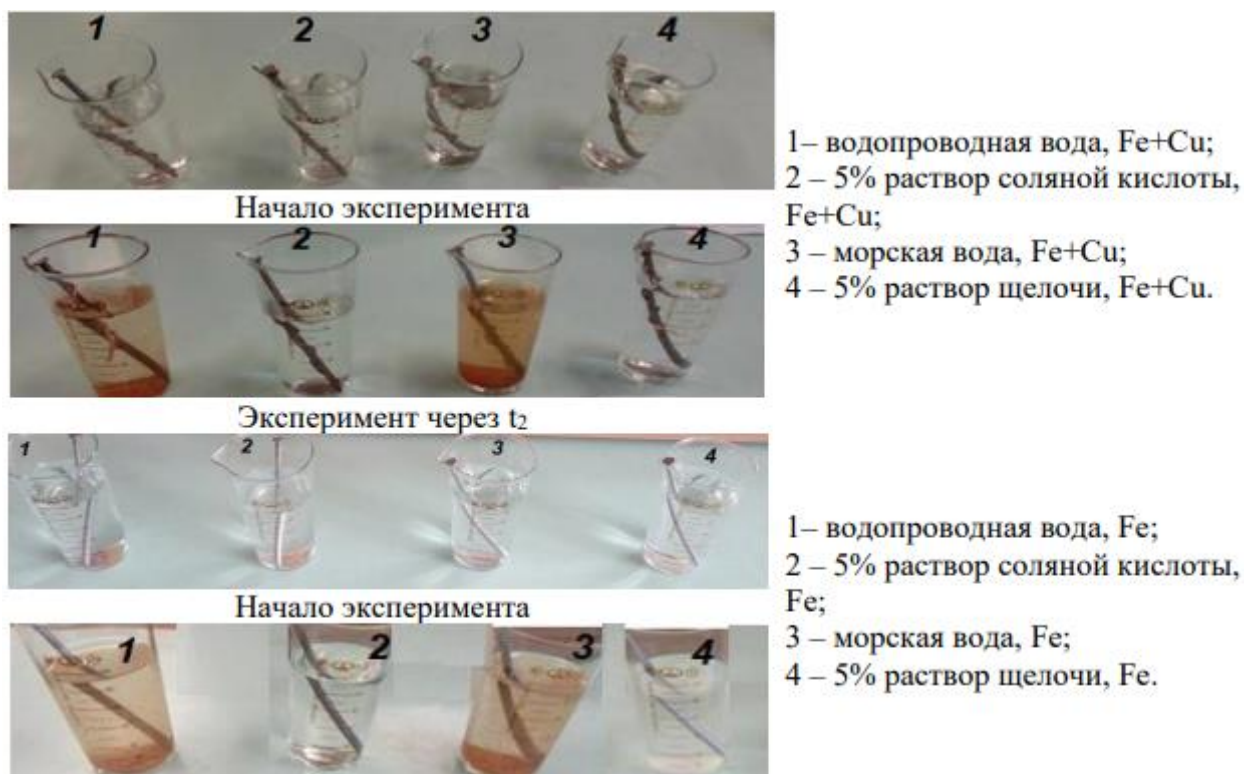


Рис. 3. Внешний вид экспериментальных образцов: начало эксперимента и по истечении времени t_3

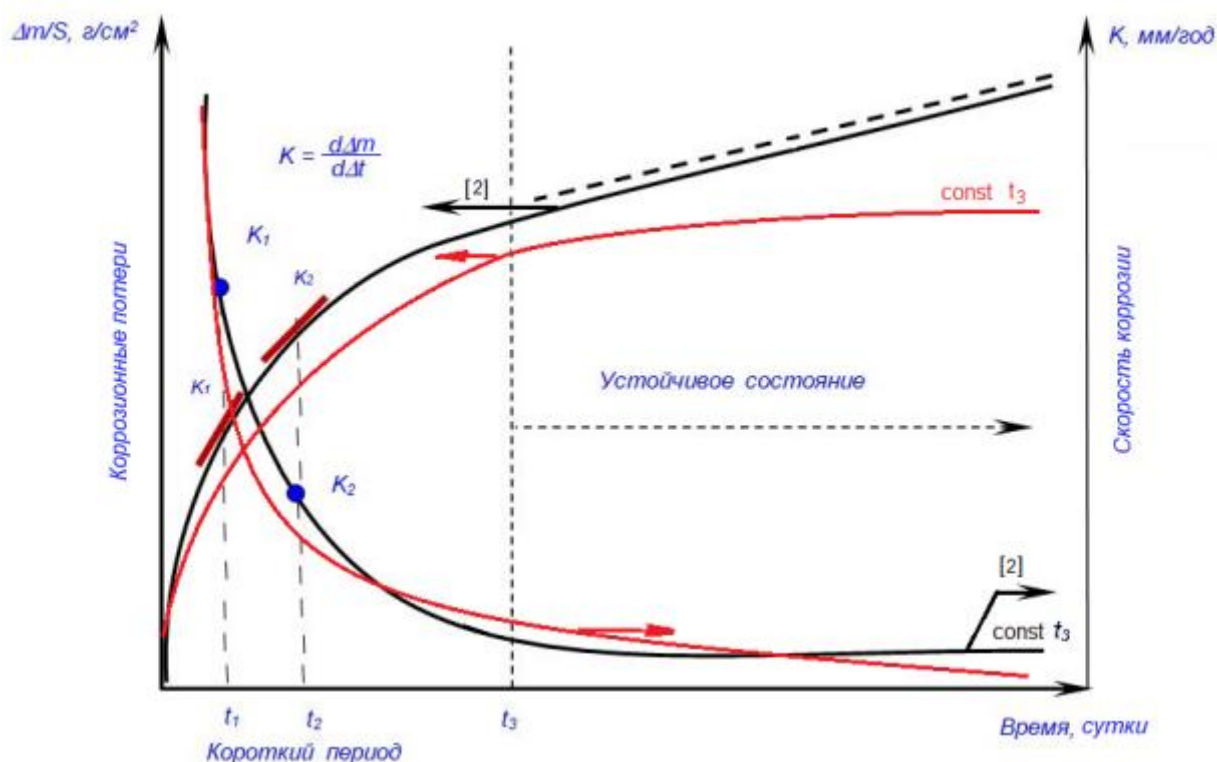


Рис. 4. Кинетическая зависимость коррозии образцов из низкоуглеродистой стали: [2] – в воде, атмосфере и почве, красным цветом выделены экспериментальные данные в соленой, подкисленной и солено-кислой среде

Из рисунка видим, что в первые сутки эксперимента происходит резкий скачек коррозионных потерь, который спустя пару месяцев становится менее четким и выходит на постоянную прямую спустя год эксперимента. Считается, что полученная прямая и есть устойчивое состояние, которое во многом зависит от структуры металлической основы и окружающей среды [3]. Для водной среды устойчивое состояние коррозии достигается спустя два месяца [2], для атмосферы – через два года [2], для соленой воды, подкисленной воды и солено-подкисленной среды спустя два года происходило постепенное снижение массы по отношению к площади, достижение устойчивого состояния не наблюдалось, а значит t_3 может быть бесконечно большим. Тогда, если учитывать, что для практического внедрения используют значения достигнутого стационарного состояния ($const\ t_3$), то для активных сред, богатых Cl^- хлорид ионами, сульфат ионами SO_4^{2-} эти показатели должны были в разы уменьшать сроки, но как показали экспериментальные данные, эти сроки не достижимы, коррозия не останавливается.

Тогда возникает вопрос, какие ингибиторы применять для защиты деталей машин? Для того, чтобы разобраться в этом вопросе, необходимо выяснить разрешенную скорость коррозии для деталей пожарных автомобилей. Оказалось, что в нормативных документах МЧС России конкретное значение разрешенной скорости коррозии для пожарных автомобилей не определен. Срок службы металлических цистерн пожарных автомобилей не регламентируется действующими документами. Однако в исследованиях были получены данные о скорости коррозии углеродистой стали (часто используемой для изготовления цистерн) в различных средах: при ежедневной смене воды в цистерне значение глубинного показателя коррозии составляет около 0,05 мм/год; если вода не меняется (например, при нахождении автоцистерны в режиме ожидания или длительном не сливании воды), скорость коррозии со временем замедляется – $0,06 \div 0,007$ мм/год; для новых или отремонтированных цистерн из углеродистой стали с защитным покрытием по всей площади расчет расхода ресурса в жидких средах проводится по значениям показателя скорости коррозии для окрашенной углеродистой стали; для автоцистерн, находящихся в эксплуатации с возможным нарушением защитного покрытия, расчет производится по показателям для незащищенной углеродистой стали – 0,1 мм/год. Получили значение реальной коррозии $K_{реальн.} = 0,5$ мм/год, тогда как разрешенная $K_{разр.} = 0,1$ мм/год, тогда рассчитаем минимальную эффективность ингибитора $E_{мин}$ по формуле:

$$E_{мин} = [(K_{реальн.} - K_{разр.})/K_{реальн.}] \cdot 100\% \quad (2)$$

получаем $E_{мин} = 80\%$. Ингибиторы с коррозионной активностью в 80 % будут эффективны, при том, что многие автомобили находятся в режиме длительного ожидания выезда данного гарнизона. Следовательно, в качестве экономической выгоды, необходимости в покупке дорогостоящих коррозионных ингибиторов с эффективностью 95 % не целесообразно.

Металлы, из которых изготавливают детали машин пожарной техники должны обладать достаточной пассивностью к воздействию агрессивной среды, в качестве которых могут быть пенообразователи, вода и соль. Поэтому повышенная кислотность, влажность и воздействие атмосферного кислорода будут снижать его химическое сопротивление. Поскольку все детали машин изготавливаются из различных марок

стали, где основным компонентом является железо, поэтому перечисленные факторы будут повышать скорость его окисления переводя его в оксиды и комплексонаты.

Вред, приносимый коррозией достаточно велик:

- потери металлов;
- выход из строя и ремонт техники с последующей заменой конструкционных деталей [3];
- косвенные потери: повышение экологической нагрузки с связи с непригодностью деталей машин, техногенные аварии, отказы на тушении пожаров, которые приводят к повышению пожарной опасности, травмам, гибели людей и животных, повышению материального ущерба и угрозе распространения негативных и вредных факторов, др.) [4, 5].

В ходе исследования были решены следующие задачи:

- проанализирована пожарная техника гарнизона;
- выявлены причины отказов пожарной техники гарнизона;
- единого «разрешенного» значения скорости коррозии для деталей пожарной техники нет, оценка проводится с учетом конкретных условий эксплуатации, типа материала, наличия защитного покрытия и других факторов;
- выбрана коррозионная модель активности атмосферных влияний на материал, на основе которой произведен кинетический расчет;
- проведен эксперимент с различными средами углеродистой стали (основной компонент которого Fe) и электроотрицательная пара (Fe + Cu);
- основные результаты эксперимента в сравнении с теорией представлены в виде кинетических кривых: скорости и коррозионных потерь;
- доказана 80% эффективность коррозионного ингибитора для пожарной автоцистерны, используемой в гарнизоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А.А., Панченков Ю.М., Кузнецов Ю.И. Атмосферная коррозия и защита металлов // Materials, 2017. – 10(4). – 394 p. URL: <https://doi.org/10.3390/ma10040394>.
2. Гроссман А. Может ли искусственный интеллект помочь в решении коррозионных проблем? // Химическая техника, 01.12.2025. – 33 с. URL: <https://chemtech.ru/mozhet-li-iskusstvennyj-intellekt-pomoch-v-reshenii-korroziionnyhproblem>.
3. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей главной передачи пожарных автомобилей за счет улучшения триботехнических характеристик смазочных материалов // Пожарная и аварийная безопасность. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2021. – № 3 (22). – С. 5-10.
4. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей трансмиссий пожарных автомобилей за счет улучшения применяемых смазочных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2021. – № 1 (38). – С. 51-59.
5. Кензеев Д.С., Кропотова Н.А. Обоснование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники и его планомерного совершенствования // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2023. – С. 81-86.

УДК 62-192:629.4.01

В.А. Татаринцев

Брянский государственный технический университет

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ОТКАЗОВ

Аннотация: В статье проанализированы виды отказов элементов транспортных машин при нерегулярном режиме нагружения. Для различных по физической природе типов отказов (внезапных и постепенных) получены зависимости для оценки их вероятностей, которые могут быть использованы при расчете объема ремонтных работ, количества запасных частей и стоимостных параметров восстановительных работ, а также характеристик надежности.

Ключевые слова: детали транспортных машин, режим нагружения, виды отказов, вероятность отказа, развитие трещин, разрушение, характеристики надежности.

V.A. Tatarintsev

ASSESSMENT OF RELIABILITY CHARACTERISTICS OF TRANSPORT VEHICLE COMPONENTS UNDER VARIOUS TYPES OF FAILURES

Abstracts: This article analyzes failure modes of transport vehicle components under irregular loading conditions. For failure modes of varying physical nature (sudden and gradual), relationships are derived for estimating their probabilities. These relationships can be used to calculate the scope of repairs, the number of parts to be repaired, the cost parameters of restoration work, and reliability characteristics.

Keywords: transport vehicle components, loading conditions, failure modes, failure probability, crack development, fracture, reliability characteristics.

При действии на детали транспортных машин и механизмов напряжений, переменных во времени, в материале происходят процессы накопления повреждений. Наступление предельного состояния детали связано с изменением физико-механических свойств металла, особенностями напряженного состояния в исследуемых зонах, степенью нерегулярности режима нагружения. Процесс разрушения разбивается на две стадии – период до образования трещины и период ее развития до тех пор, пока при некоторых условиях произойдет скоротечное разрушение (в зависимости от состояния металла – хрупкое или вязкоупругое) [1]. Исходя из условия обеспечения безопасности движения на транспорте эксплуатация ответственных деталей до потери несущей способности и разрушения недопустима. Поэтому потребителем разработана и установлена система правил и норм, определяющая зоны и количественные параметры (признаки предельного состояния), по которым производится деление отказов на устраняемые ремонтом и браковочные [2]. Первые отказы устраняются в ремонтных подразделениях, а отбракованные детали утилизируются.

Основное повреждающее действие на деталь оказывают переходные режимы движения – трогание, торможение и особенно погрузочно-разгрузочные операции сортировочные операции. Уровень воспринимаемых усилий такой, что вызывает

пластические деформации деталей в зонах концентрации напряжений (малоцикловые перегрузки) [3]. Например, ввиду конструктивных особенностей автосцепного устройства подвижного состава корпус автосцепки работает при растягивающих и сжимающих нагрузках, тяговый хомут воспринимает только растягивающую часть спектра, на корпус поглощающего аппарата действуют сжимающие силы, причем растягивающие силы спектра преобразуются в сжимающие. Рассмотрим различные по физической природе отказы этих элементов машин и выполним оценку их вероятности.

Вероятность появления трещин при перегрузке. Наступление события, связанного с образованием трещины при перегрузке, определяется условием [3], выполняющимся тогда, когда случайная безразмерная величина параметра $z = (\sigma / \bar{\sigma}) / (\sigma_B / \bar{\sigma}_B)$ превысит коэффициент запаса прочности при перегрузке n_n , вычисленный по средним значениям характеристики прочности σ_B и нагруженности σ , $n_n = \bar{\sigma}_B / \bar{\sigma}$. Вероятность этого события находится из соотношения, определяющего превышение случайной величины z детерминированного значения n_n

$$q_1(n_n) = \text{Вер}(z > n_n) = \int_{n_n}^{\infty} f(z) dz \approx \sum_{i=1}^n p_i(z_i > n_n). \quad (1)$$

Необходимые для расчета распределения пределов текучести σ_T и прочности σ_B взяты из работы [4], а распределение действующих напряжений σ в переходном сечении корпуса автосцепки рассчитывалось методом простого перебора по зависимостям, определяющим величину номинальных и местных напряжений в этом сечении при известной силе F и разности уровней продольных осей автосцепок Δh

$$\sigma_n = F[1/A + 10^{-3}(44,1 + 0,23\Delta h - 2F)/W_x]; \quad (2)$$

$$\sigma_{\max} = \sigma_{1,0}(44,1 + 0,23\Delta h - 2F)F/40; \alpha_\sigma = \sigma_{\max} / \sigma_n, \quad (3)$$

где A – площадь сечения, м^2 ; W_x – момент сопротивления, м^3 ; F – продольная сила, МН; Δh – разность уровней продольных осей, мм; $\sigma_{1,0}$ – напряжения (МПа) в опасной точке при $F = 1$ МН и $\varepsilon_{y,y} = 0$; α_σ – коэффициент концентрации напряжений в упругой области.

Для расчетов в упругопластической области использовались формулы, приведенные в работе [5]:

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma}_{nc} / \tilde{\sigma}_e &= (J_{\max} J_n)^{1-m} \left(\frac{D_{e\max k} D_{en}}{k_e} \right)^m \quad \text{при } \tilde{\sigma}_n > 1; \\ \tilde{\sigma}_{nc} &= \sigma_{nc} / \sigma_T; \tilde{\sigma}_n = \tilde{\varepsilon}_n^m; \end{aligned} \quad (4)$$

$$q_T^{\text{усл}} = \text{вер}(z_T > n_T) = \int_{n_T}^{\infty} f(z_T) dz_T \approx \sum_{i=1}^n P_i(z_{T_i} > n_T)$$

$$D_{e\max} = \frac{K_D}{J_{\max}(1 + \sigma_{\max k})}; J_{\max} = \sqrt{2/[1 - \tilde{\sigma}_{2\max k}^2 + \tilde{\sigma}_{2\max k}^2]};$$

$$\tilde{\sigma}_{2\max k} = \tilde{\sigma}_2 / \tilde{\sigma}_1 = \frac{(\sigma_x + \sigma_y) - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}{(\sigma_x + \sigma_y) + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_{xy}^2}}.$$

Величины D_{en} и J_n рассчитываются по аналогичным зависимостям, в которых $\sigma_{\max k}$ заменена на σ_n . При $\tilde{\sigma}_{nc} < 1$ $J_n = D_{en} = 1$.

Местные напряжения определялись из выражения

$$\sigma_{\max} = \sigma_n K_\sigma, \quad (5)$$

где
$$K_\sigma = \frac{\alpha_\sigma^{2m/(1+m)}}{\tilde{\sigma}_n^{(1-m)(1+m)} (\alpha_\sigma \tilde{\sigma}_n)^{n(1-m)[1-(\tilde{\sigma}_n-1/\alpha_\sigma)]m/(1+m)}} \text{ при } \tilde{\sigma}_n < 1$$

и
$$K_\sigma = \frac{\alpha_\sigma^{2m/(1+m)}}{(\alpha_\sigma \tilde{\sigma}_n)^{n(1-m)[1-(\tilde{\sigma}_n-1/\alpha_\sigma)]m/(1+m)}} \text{ при } \tilde{\sigma}_n > 1.$$

Показатель степени при степенной аппроксимации диаграммы деформирования стали $m = 0,25$. Напряжения $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ на поверхности корпуса автосцепки в переходном сечении заимствованы из работы [4]. В расчетах принималось $n = 0,5$.

По формулам (2)–(5) проводился расчет статистического распределения действующих напряжений $\tilde{\sigma}$, по которому при известном распределении $\tilde{\sigma}_B$ проводился расчет параметра z по формуле $z = (\tilde{\sigma} / \tilde{\sigma}) / (\tilde{\sigma}_B / \tilde{\sigma}_B)$. Как показали предварительные расчеты, статистическое распределение z отличается от нормального, поэтому вероятность появления трещины при однократном нагружении определялась с помощью численного приема, представленного зависимостью

$$q(n_n) \approx \sum_{i=1}^k p_i(z_i > n_n).$$

Вероятность появления трещины за t лет при известном количестве нагружений в год $N_{\text{год}}$ оценивалась по формуле

$$Q_{\text{тр}}(t) = 1 - [1 - q(n_n)]^{t \cdot N_{\text{год}}}.$$

Вероятность появления усталостных трещин. Многочисленными работами [1, 3, 5] доказана допустимость принятия нормального закона распределения вероятностей для предела выносливости детали σ_{-1D} и средних амплитуд напряжений $\bar{\sigma}_\alpha$. В этом случае вероятность появления усталостной трещины связана с соответствующим коэффициентом запаса зависимостью, выраженной через интегральную функцию нормированного нормального закона в виде

$$Q_{TY} = \Phi\left(\frac{1 - n_y}{\sqrt{g_{\sigma-1}^2 n_y^2 + g_{\bar{\sigma}_\alpha}^2}}\right).$$

Значения коэффициента запаса рассчитываются по формуле

$$n_y = \bar{\sigma}_{-1D} / \bar{\sigma}_z$$

где $\bar{\sigma}_{-1D}$ – средний предел выносливости детали; $\bar{\sigma}_z$ – эквивалентное амплитудное напряжение, определяемое по зависимости

$$\bar{\sigma}_z = \sqrt[m]{\frac{\lambda N_{\text{год}}}{N_0 \alpha_p} \sum \bar{\sigma}_{\alpha_i}^m}$$

m – показатель степени кривой усталости; $N_{\text{год}}$ – размер годового блока нагружений в циклах; λ – количество блоков за срок службы L ; a_p – предельная сумма относительных долговечностей; $\bar{\sigma}_{ai}$ – средняя амплитуда напряжений на i -ой ступени; t_i – относительная длительность повторения напряжений σ_{ai} .

Величина коэффициента вариации предела выносливости $\mathcal{G}_{\sigma-1D} \approx 0,10 \dots 0,15$, а коэффициента вариации амплитуд напряжений $\mathcal{G}_{\bar{\sigma}_a} \approx 0,15 \dots 0,2$.

Вероятность разрушения детали с трещиной. Разрушение детали, имеющей трещину в переходном сечении, происходит при условии превышения действующего коэффициента интенсивности напряжений K_I над его критическим для данных условий значением K_{IC} . В этом случае справедлив подход, изложенный в [2, 4, 6], которые в новых обозначениях имеют вид

$$z_T \geq n_T$$

Здесь z_T – функция отказов детали с трещиной, которая определяется при известных законах распределения случайных величин K_I и K_{IC} и их средних значений $\bar{K}_I$ и $\bar{K}_{IC}$ по зависимости

$$z_T = \frac{K_I / \bar{K}_I}{K_{IC} / \bar{K}_{IC}} = \frac{K_I^*}{K_{IC}^*},$$

где коэффициент запаса по трещиностойкости находится из выражения $n_T = \bar{K}_{IC} / \bar{K}_I$.

Вероятность случайной величины z_T определяется при условии статистической независимости случайных величин K_I и K_{IC} как произведение их вероятностей

$$P(z_T) = P_{K_I} \cdot P_{K_{IC}}.$$

Тогда вероятность разрушения детали при наличии трещины запишется в виде

$$q_T^{\text{усл}} = d = \text{Вер}(z_T > n_T) = \int_{n_T}^{\infty} f(z_T) dz_T \approx \sum_{i=1}^n P_i(z_{Ti} > n_T).$$

При действии за t лет службы $N_{\text{год}}$ нагрузок в год имеем вероятность разрушения

$$Q_p^{\text{усл}}(t) = 1 - [q_p^{\text{усл}}(n_T)]^{t \cdot N_{\text{год}}}.$$

Для расчета случайной величины критического коэффициента интенсивности напряжений использовались следующие формулы:

$$K_{IC} = K_{IC*} \exp[\bar{\beta}_k (T_{C_2}^D - T_*) - \beta_k (T_{C_2}^D - T_3)],$$

где K_{IC*} – минимальное критическое значение коэффициента интенсивности напряжений при температуре абсолютной хрупкости $T_* = 43 \text{ K}$. В соответствии с работой [4] $K_{IC*} = 38,8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$, а $\mathcal{G}_{K_{IC*}} = 0,1$, T_3 – эксплуатационная температура.

Вторая критическая температура хрупкости образца $T_{C_2} = 173 \text{ K}$; $\beta_k = 0,0042 \beta_k = 4,05 \cdot 10^{-2} - 3,5 \cdot 10^{-5} \sigma_T$, где σ_T – предел текучести стали, МПа.

Расчет K_{Ic} выполнялся в случае действия номинальных напряжений $\sigma_{II} < 0,8\sigma_T$, т.е. $\tilde{\sigma}_{nc} < 0,8$ $\tilde{K}_{I\sigma_C} = \tilde{K}_{IC}$. При $0,8 \leq \tilde{\sigma}_{nc} \leq 1$ связь между критическим коэффициентом интенсивности напряжений в упругопластической области $\tilde{K}_{I\sigma_C}$ и критическим коэффициентом интенсивности в упругой области $\tilde{K}_{IC}$:

$$\tilde{K}_{I\sigma_C} = \tilde{K}_{IC}^{P_{k\sigma}};$$

$$P_{k\sigma} = \frac{m[2 - n(1 - m)(1 - \tilde{\sigma}_n)]}{1 + m}; \quad (6)$$

$$\tilde{K}_{I\sigma_C} = K_{I\sigma_C} / \sigma_T; \quad \tilde{K}_{IC} = K_{IC} / \sigma_T.$$

При $\tilde{\sigma}_{nc} > 1$

$$\tilde{K}_{I\sigma_C} = \tilde{\sigma}_{nc}^{\frac{1-m}{m(1+m)}} \cdot \tilde{K}_{IC}^{P_{k\sigma}}.$$

Действующие значения коэффициента интенсивности напряжений K_I при $\tilde{\sigma}_n < 0,8$ рассчитывались по зависимости, полученной для полуэллиптической трещины в переходной зоне корпуса автосцепки

$$K_I = 25,7F(\varepsilon_y + 0,04)\sigma_{1,0}\sqrt{2l}. \quad (7)$$

При $0,8 < \tilde{\sigma}_n < 1$ $\tilde{K}_{I\sigma} = \tilde{K}_I^{P_{k\sigma}}$. Для $\tilde{\sigma}_n \geq 1$ коэффициент интенсивности напряжений $\tilde{K}_{I\sigma} = \tilde{\sigma}_n^{\frac{1-m}{m(1+m)}} \cdot \tilde{K}_I^{P_{k\sigma}}$, здесь $P_{k\sigma}$ рассчитывается по зависимости (6). Для расчета $K_{I\sigma}$ по зависимостям (7) использовалось статистическое распределение длин трещин в переходном сечении корпуса автосцепки в период деповского ремонта и статистические распределения сил и разностей уровней продольных осей [4].

Методика расчета живучести корпуса автосцепки была усовершенствована применением результатов работы [6] в части учета влияния факторов нагруженности (перегрузок и асимметрии) и присутствия влаги при поцикловом расчете роста трещины.

Заключение. Таким образом, расчет вероятностных показателей реализации отказа позволил оценить меру опасности неблагоприятной ситуации, сочетающую вероятность возникновения этого события и его последствий [7]. При этом риск выражают в количественных показателях, что позволяет обеспечивать сравнимость степеней опасности отказов и на заданной стадии жизненного цикла объекта может быть оценен риск возникновения неблагоприятного события.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
2. Татаринцев В.А. Моделирование надежности элементов машин с учетом мониторинга их повреждений, диагностики и ремонтного цикла // В сборнике: Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКом-2018). Научные труды 4-

ой Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН. 2018. С. 264-266.

3. Tatarintsev V.A., Shlyushenkov A.P. Effect of structural parameters on the fatigue failure of cast steels in loading with low-cycle overloads // Strength of Materials. 1991. Т. 23. № 7. Р. 775-782.

4. Костенко Н.А. Прогнозирование надежности транспортных машин / Н.А. Костенко. М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

5. Махутов Н.А., Гаденин М.М., Резников Д.О. Критерии и определяющие уравнения для оценки прочности, ресурса, живучести и безопасности несущих элементов подвижного состава железнодорожного транспорта // Научные основы и технологии повышения ресурса и живучести подвижного состава железнодорожного транспорта. 2021. С. 94-107.

6. Kostenko N.A., Tatarintsev V.A. Influence of overloads, cycle asymmetry, and moisture on the cyclic crack resistance of cast steels//Materials Science. 1987. Vol. 23. № 2. Р. 186-191.

7. Tatarintsev V.A., Tolstosheev A.K. Risk assessment and reliability of rail way rolling stock element // AIP Conference Proceedings. Proceedings international conference «Problems of applied mechanics». 2021. Р. 020005.

УДК 621.3.019.34

К.П. Яблоков, И.В. Волков, Г.В. Чекан

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПАНЕЛЕЙ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Аннотация: Актуальность исследования обусловлена вступлением в силу обновлённой нормативной базы (СП 6.13130.2021), которая ввела понятие «панель ПЭСПЗ» и ужесточила требования к электроснабжению систем противопожарной защиты (СПЗ). Целью работы являлся анализ современных подходов к проектированию панелей ПЭСПЗ и их электрических сетей, обеспечивающих гарантированную работоспособность оборудования в условиях пожара. В ходе исследования проведён сравнительный анализ требований СП 6.13130.2021 и ГОСТ 31565-2012, рассмотрены архитектурные решения для различных категорий надёжности, выявлены коллизии между требованиями электробезопасности и пожарной безопасности. Особое внимание уделено обоснованию запрета на применение УЗО и выбору огнестойких кабелей. Сделан вывод о необходимости комплексного инженерного подхода, учитывающего как нормативные предписания, так и физику протекания аварийных процессов.

Ключевые слова: ПЭСПЗ, надёжность электроснабжения, СП 6.13130.2021, огнестойкие кабели, категория надёжности.

K.P. Yablokov, I.V. Volkov, G.V. Chekan

ENSURING RELIABILITY OF POWER SUPPLY TO POWER PANELS OF ELECTRICAL EQUIPMENT OF FIRE PROTECTION SYSTEMS

Abstracts: The relevance of this study is driven by the recent enactment of updated regulations (SP 6.13130.2021), which introduced the concept of "PPFPS panels" and tightened requirements for power supply to fire protection systems. The objective of the work was to analyze current approaches to the design of PPFPS panels and their electrical networks to ensure guaranteed equipment operability under fire conditions. The study conducted a comparative analysis of the requirements of SP 6.13130.2021 and GOST 31565-2012, examined architectural solutions for various reliability categories, and identified conflicts between electrical safety and fire safety requirements. Particular attention is paid to substantiating the ban on RCDs and the selection of fire-resistant cables. It is concluded that an integrated engineering approach is necessary, taking into account both regulatory prescriptions and the physics of emergency processes.

Keywords: PPFPS, power supply reliability, SP 6.13130.2021, fire-resistant cables, reliability category.

Обеспечение бесперебойного питания систем противопожарной защиты (СПЗ) является одной из ключевых инженерных задач при проектировании объектов капитального строительства. Трагическая статистика показывает, что в большинстве случаев гибели людей при пожарах сопутствует отказ техники: насосы пожаротушения не запускаются, подпор воздуха не создаётся, оповещение не срабатывает. Причина часто кроется не в самом оборудовании, а в потере питания на конечном участке сети.

До 2021 года нормативная база в этой области (СП 6.13130.2013) содержала ряд разночтений. Введение нового свода правил СП 6.13130.2021 стало попыткой систематизировать требования, однако на практике оно породило новые вопросы у проектировщиков и эксплуатирующих организаций. В частности, появилось новое понятие – «панель ПЭСПЗ», а требования к месту подключения и выбору кабелей были кардинально пересмотрены.

Цель данной работы – не просто перечислить требования новых нормативов, а проанализировать их эволюцию, выявить инженерные противоречия и предложить пути их разрешения на основе анализа первоисточников (СП, ГОСТ, разъяснений ВНИИПО) и физических процессов, протекающих в электрических сетях при пожаре.

Эволюция понятийного аппарата и требований к подключению. Ключевым нововведением СП 6.13130.2021 является введение специализированного устройства – панели ПЭСПЗ. Ранее термин «щит противопожарных устройств» (ЩПУ) существовал, скорее, как устоявшееся понятие, нежели юридически закреплённое. Анализ показал, что панель ПЭСПЗ фактически представляет собой низковольтное комплектное устройство (НКУ) со строго ограниченным функционалом: только питание СПЗ и связанных с безопасностью систем (СБС).

Наиболее значимым с инженерной точки зрения является требование о точке подключения. Согласно п. 5.2–5.4 СП 6.13130.2021, питание панели ПЭСПЗ или НКУ с АВР должна осуществляться после аппарата управления и до аппарата защиты на вводе в здание. Это кардинально меняет логику, принятую в многих типовых проектах ранее, где питание на СПЗ заводилось параллельно с основными нагрузками. Такой подход гарантирует, что при отключении вводного автомата (вручную или автоматически) питание СПЗ сохраняется, что критически важно для объектов с большим скоплением людей.

Анализ категорий надёжности и структуры питания. Одним из ключевых вопросов, требующих детального разбора, является сопряжение категории надёжности электроснабжения самого объекта и требований к питанию систем противопожарной

защиты. В ходе анализа нормативной базы и реальных проектных решений было выявлено, что именно здесь чаще всего возникают ошибки, ведущие к фатальным последствиям.

Эволюция подхода. В ранее действовавшем СП 6.13130.2013 требования к питанию СПЗ были сформулированы более размыто. На практике это приводило к тому, что проектировщики зачастую "вешали" противопожарные устройства на те же шины, что и обычное освещение или розеточные группы. Единственным отличием было требование к резервированию, но точка подключения чётко не оговаривалась. Новый СП 6.13130.2021 жёстко привязал схему питания СПЗ не только к категории объекта, но и к конкретной точке ввода.

Категория I (в том числе особая группа). Для объектов первой категории (например, высотные здания, больницы, школы, детские сады) СП 6.13130.2021 предписывает питание исключительно от панели ПЭСЗ.

Почему именно панель, а не просто щит? Анализ показал, что панель ПЭСЗ рассматривается нормативом как "последний рубеж". Это не просто распределительное устройство, а специализированный узел, к которому запрещено подключать что-либо, кроме СПЗ и связанных с безопасностью систем. Тем самым исключается ситуация, когда из-за короткого замыкания в цепи обычного кондиционера или обогревателя (ошибочно подключённых к тому же щиту) обесточивается пожарная автоматика.

Для особой группы I категории (объекты класса функциональной пожарной опасности Ф1.1 — детские дошкольные учреждения, дома престарелых, больницы) введено дополнительное, более жёсткое требование: наличие автономного источника питания (АИП). В ходе исследования выяснилось, что это требование продиктовано не только возможностью аварии на питающей подстанции, но и террористическими угрозами или диверсиями. Система должна работать, даже если внешний рубильник отключён намеренно.

Категория II. Для объектов II категории (основная масса жилых многоквартирных домов, общественные здания средней этажности) панель ПЭСЗ не является строго обязательной. Допускается питание от самостоятельного НКУ с АВР.

Здесь важно подчеркнуть инженерную логику: АВР (автоматический ввод резерва) требуется потому, что данные объекты по определению имеют два независимых ввода питания или подключение к двум разным трансформаторам. Однако проблема многих старых проектов заключалась в том, что АВР ставился на вводе в здание, а щит СПЗ подключался после него. В случае пожара автоматика на вводе могла сработать ложно или быть отключена вручную, и СПЗ теряла оба ввода одновременно. Новый норматив предписывает иную логику: НКУ с АВР для СПЗ должно стоять до общедомовых аппаратов защиты, то есть оно имеет приоритетный «захват» питания.

Категория III. Наиболее интересные изменения коснулись объектов III категории (небольшие здания, склады, мастерские). Ранее для них допускалось питание СПЗ по одному вводу без всякого резерва. Логика была такова: "пожар может случиться, а может и не случиться, зачем ставить батареи?".

Новый СП 6.13130.2021 предписывает для III категории питание от самостоятельного НКУ, но с обязательным резервированием от автономного источника питания (АИП) достаточной ёмкости. Это кардинальное изменение философии. Анализ разъяснений ВНИИПО показал, что законодатель исходил из

следующего: если здание настолько мало, что ему не положены два ввода по категории надёжности, это не значит, что при пожаре там не могут находиться люди. Следовательно, система должна гарантированно отработать цикл «обнаружение-оповещение-тушение» даже при отключении единственного ввода (например, из-за аварии на линии).

Проблема точки подключения. В ходе анализа технической литературы и форумов проектировщиков мы выявили устойчивое заблуждение относительно фразы «подключается после аппарата управления и до аппарата защиты». Многие понимают это как «после вводного автомата». На самом деле, как следует из буквального толкования нормы и разъяснений, речь идёт о последовательности: вводной рубильник (аппарат управления) – ответвление на ПЭСПЗ – главный аппарат защиты (автомат). Это гарантирует, что при срабатывании главного автомата (из-за КЗ в общедомовой сети) питание на ПЭСПЗ остаётся.

Табличный анализ. Для систематизации полученных данных нами была составлена расширенная таблица [1-2], учитывающая не только требования норм, но и типовые технические решения, применяемые на практике.

Таблица. Категории надёжности с требованиями к СПЗ и АИП

Категория объекта по ПУЭ	Типовые объекты	Требование к источнику питания СПЗ по СП 6.13130.2021	Обязательность АИП (АКБ)	Примечание (особенности реализации)
I (особая)	Детсады, больницы, дома престарелых (Ф1.1)	Панель ПЭСПЗ от двух независимых вводов	Да (обязательно, наряду с двумя вводами)	АИП резервирует оба ввода на время переключения или при полной потере внешнего питания
I	Высотные здания (>75 м), уникальные объекты	Панель ПЭСПЗ от двух независимых вводов	Нет (если есть два ввода), но рекомендуется для особо важных узлов	Требуется АВР на панели ПЭСПЗ
II	Многokвартирные дома, офисы, ТЦ (до 50 м)	Самостоятельное НКУ с АВР	Нет (резервирование осуществляется от второго ввода через АВР)	Критически важно подключение до главного аппарата защиты ВРУ
III	Небольшие магазины, склады, кафе, отдельно стоящие здания до 100 м ²	Самостоятельное НКУ (без АВР)	Да (обязательно)	Ёмкость АКБ рассчитывается на 24 ч дежурного режима + 1 ч работы в режиме «Пожар»

Дискуссионные вопросы защиты и безопасности

Наиболее противоречивым, на наш взгляд, является п. 5.12 СП 6.13130.2021, запрещающий применение УЗО в цепях питания СПЗ. С точки зрения классической

электробезопасности, отказ от УЗО повышает риск поражения людей электрическим током при повреждении изоляции. Однако анализ логики работы противопожарных систем показывает, что приоритетом является не защита от косвенного прикосновения, а гарантированная подача напряжения на исполнительные механизмы (насосы, вентиляторы).

УЗО чувствительно к токам утечки, которые неизбежно возникают при намокании изоляции во время тушения пожара водой или пеной. Срабатывание УЗО в такой ситуации приведёт к полному обесточиванию системы в момент её максимальной необходимости. Законодатель осознанно пошёл на риск поражения током ради спасения людей от пожара. Это яркий пример конфликта требований разных видов безопасности, разрешённый в пользу пожарной безопасности.

Требования к кабельной продукции и живучести сети [5]. Анализ ГОСТ 31565 и СП 6.13130.2021 показал, что основное требование к кабелям — сохранение работоспособности при пожаре в течение времени эвакуации и работы систем. Однако на практике часто возникает путаница между понятиями «негорючий» и «огнестойкий». Кабель может не гореть (не распространять горение), но быстро терять работоспособность (КЗ из-за плавления изоляции). Для СПЗ требуется именно огнестойкость (индекс FR), подтверждённая испытаниями по ГОСТ Р 53316.

В работе систематизированы исключения, когда допускается применение не огнестойких кабелей (например, для цепей управления нормально открытыми клапанами). Это связано с тем, что отказ такого кабеля при пожаре переводит клапан в безопасное состояние (закрытие), либо цепь заведомо короткая и защищена коробом.

Конструктивные особенности размещения панелей. Разъяснения ВНИИПО сняли вопрос об огнестойкости самих корпусов панелей ПЭСПЗ. Так как панель должна размещаться в помещении с нормальной средой (электрощитовой), к ней предъявляются лишь требования по климатическому исполнению и степени защиты IP. Однако анализ старых объектов показал, что при реконструкции часто приходится сталкиваться с нарушением этого правила (панели в коридорах, холлах), что требует либо выноса оборудования, либо применения специальных огнестойких кожухов.

Проведённый анализ нормативной документации и технических решений позволяет сделать следующие выводы:

Введение понятия «панель ПЭСПЗ» и требований к её подключению до аппарата защиты направлено на повышение живучести систем противопожарной защиты и исключение ошибок проектирования, при которых питание СПЗ терялось вместе с основным вводом.

Приоритетом при проектировании электропитания СПЗ является функциональная надёжность в условиях пожара, что подтверждается законодательным запретом на установку УЗО и выбором огнестойких кабелей. Требования электробезопасности в данном случае имеют подчинённое значение.

Категория надёжности объекта напрямую диктует архитектуру питания: от одиночного НКУ с АКБ (III кат.) до панели ПЭСПЗ с двумя независимыми вводами и АВР (I кат.).

Ключевым элементом обеспечения долговечности является не столько выбор оборудования, сколько соблюдение правил прокладки (разделение цепей, защита от помех) и регулярный эксплуатационный контроль, включая проверку состояния АКБ.

Таким образом, обеспечение надёжности панелей ПЭСПЗ требует от проектировщика не механического выполнения перечня требований, а понимания физических процессов, протекающих в сети в аварийных режимах, и умения разрешать конфликты между различными видами безопасности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 6.13130.2021. Системы противопожарной защиты. Электроустановки низковольтные. Требования пожарной безопасности. — М.: Стандартинформ, 2021.
2. ГОСТ 31565-2012. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности. — М.: Стандартинформ, 2013.
3. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
4. Разъяснения ФГБУ ВНИИПО МЧС России по применению требований СП 6.13130.2021 (письма и методические материалы).
5. ГОСТ Р 53316-2009. Кабельные линии. Сохранение работоспособности в условиях пожара. Метод испытания. — М.: Стандартинформ, 2009.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621

Э.Ф. оглы Алиев, Н.А. Кропотова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА КАНАВНОГО ПОДЪЕМНИКА И РОЛИКОВОГО ЛОЖЕМЕНТА ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ

Аннотация: в статье предложена конструкция канавного подъемного устройства и роликового ложемент, позволяющего облегчить техническое обслуживание и ремонт пожарной техники. За счет осуществления прочностного расчета подобрано рациональное поперечное сечение балок подъемника, швеллера в качестве поддерживающей системы и подобран гидропривод по грузоподъемности. Авторами предложен проект роликового ложемент для перемещения крупногабаритных элементов пожарной техники.

Ключевые слова: ремонт пожарной техники, техническое обслуживание, элементы конструкции подъемника, грузоподъемность, роликовый ложемент, прочностной и проверочный расчеты.

E.F. oglu Aliev, N.A. Kropotova

DEVELOPMENT OF A CHANNEL LIFT AND ROLLER LOAD FOR FACILITATING THE REPAIR OF FIRE EQUIPMENT IN THE FIRE AND RESCUE DEPARTMENT

Abstracts: the article proposes a design of a trench lifting device and a roller support, which makes it easier to maintain and repair firefighting equipment. By performing a strength analysis, the authors have selected a suitable cross-section for the lifting beam and a channel bar as a supporting system, and have also selected a hydraulic drive based on its load capacity. The authors have also justified the use of a roller support for moving large-sized elements of firefighting equipment.

Keywords: repair of fire equipment, maintenance, elements of the lift structure, load capacity, roller support, strength and verification calculations.

Каждый день структурные подразделения пожарной охраны проводят мероприятия по профилактике пожаров, спасению людей и имущества, оказанию первой помощи, организации и выполнении операций по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ в населенных пунктах и на различных объектах. Неоспорима роль пожарной техники в выполнении служебной деятельности. Чтобы задействовать личный состав по назначению, необходимо обеспечить его бесперебойной работоспособной техникой и оборудованием. Часто техническое обслуживание пожарной техники осуществляется силами водителей в самих частях.

Однако многие подразделения гарнизона не располагают специализированным оборудованием для ремонта пожарной техники, например, устройствами для монтажа силовых установок (двигатели) и различных узлов и агрегатов (коробки передач, раздаточные коробки, редукторы, пожарные насосы) пожарных автомобилей. Техническое обслуживание пожарной техники необходимо для: поддержания в рабочем состоянии и надлежащем внешнем виде; снижения скорости износа деталей; предотвращения поломок и неисправностей; своевременного обнаружения и устранения возникающих дефектов [1].

Техническое обслуживание представляет собой плановое мероприятие, проводимое через установленные интервалы пробега или времени работы автомобиля, а также при необходимости. По имеющейся статистике, опубликованной коллегами [2], в подразделениях пожарной охраны имеются некоторые проблемы, которые связаны с: устареванием техники (в 2021 году было около 50% пожарной техники сроки эксплуатации которой более 10 лет, а в некоторых регионах и вовсе превышало 70%), не списанием устаревшей пожарной техники, которые выработали сроки эксплуатации вследствие невозможности замены новыми образцами техники, что неизбежно приводит к отказам в работе и финансовым затратам на ремонт и техническое обслуживание. Основным способом увеличения надежности и долговечности пожарной техники, а также предотвращения поломок его отдельных узлов и агрегатов во время эксплуатации, является регулярное техническое обслуживание [3]. Причины отказов пожарной техники многофакторные (рис. 1), но основным среди них можно выделить: старение. Наибольшее число отказов приходится на основные пожарные автомобили, а именно шасси около 70 %, отказы по пожарной надстройке – 33 %, а вот доля отказов на специальных пожарных автомобилях по пожарной надстройке около 1 %, которое в основном относится к электрооборудованию.

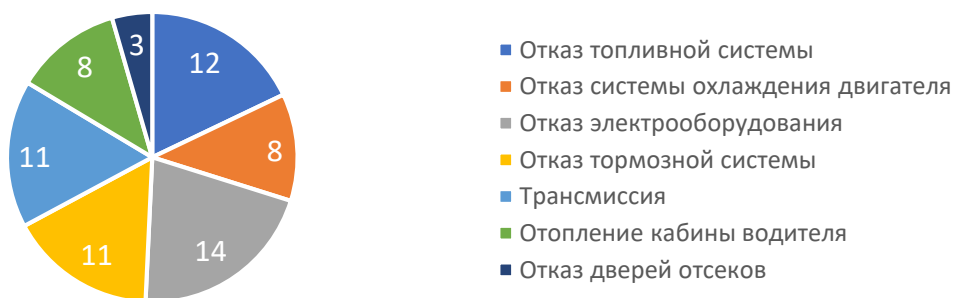


Рис. 1. Поэлементный перечень отказов пожарных автомобилей ГУ МЧС России по Ханты-Мансийскому автономному округу-Югра за 2025 год

Стоит отметить, что за последние три года число разрушений и прогораний отдельных соединительных элементов вакуумной системы (например, шпилек и гаек) увеличилось в 3 раза, стали чаще появляться трещины в корпусе, в насосной установке потеря герметичности и подтекание практически постоянна для пожарной техники, срок эксплуатации более 10 л при среднем сроке службы 8 лет, причина этому выход из строя прокладок – 35 %, выход из строя подшипников – до 40 %, а также течь цистерны в передних опорах – до 40 %. Если рассмотреть автолестницы, то там наибольшее число отказов приходится на механическую (50 %) и гидравлическую (40 %) системы.

Двигатель является ключевым компонентом пожарного автомобиля, обеспечивая его работоспособность. Несмотря на высокое качество российских двигателей, их ресурс напрямую зависит от регулярного и тщательного обслуживания. Специфика эксплуатации двигателей пожарных автомобилей заключается в том, что при вызове по тревоге не всегда возможно предварительное прогревание двигателя. Часто двигатель достигает рабочей температуры (80-100 градусов) только на месте происшествия. Кроме того, передвижение к месту вызова часто осуществляется на максимальных оборотах, что негативно сказывается на состоянии и долговечности двигателя [4]. Важно отметить, что резкое увеличение числа оборотов сразу после запуска холодного двигателя недопустимо, так как густое масло может не успеть дойти до подшипников коленчатого вала, что может привести к серьезным поломкам. Несмотря на то, что вся пожарная техника в процессе эксплуатации периодически проходит предупредительное обслуживание или ремонт, в процессе которых работоспособность его элементов восстанавливается. Применение подъемных устройств для облегчения технического обслуживания и ремонта пожарной техники в ремонтной зоне гаража целесообразно, в частности канавный подъемник [5]. Поскольку перемещение конструируемого подъемника достаточно часто требуется для перемещения агрегатов, то запланирован швеллер для передвижения по ремонтной канаве и упоры. Составлен рабочий эскиз предлагаемой подъемной конструкции (рис. 2) для применения в ремонтной канаве и чертеж общего вида в соответствии с габаритами, заложенными на ремонтную канаву гаража части. Конструктивно заложено, что колеса подъемного устройства будут двигаться по швеллеру. Проложенному в бетонном основании канавной стены, рис. 3.

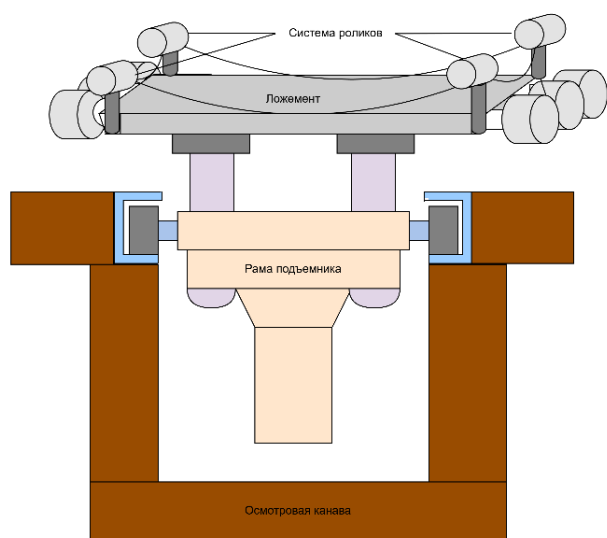


Рис. 2. Рабочий эскиз передвижного канавного подъемника с ложементом

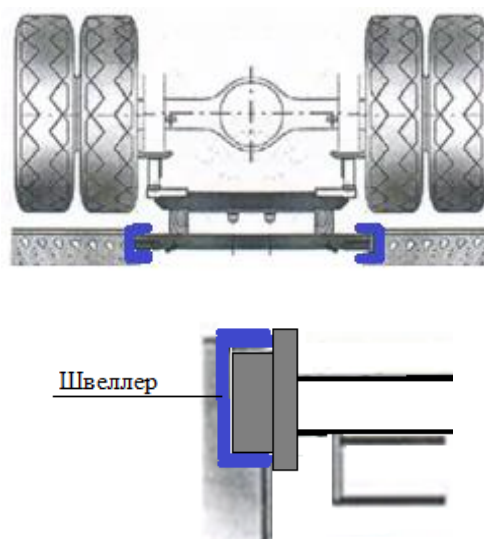


Рис. 3. Схема поддерживающей системы с помощью швеллера

Особенностью данной конструкции считаем, в качестве поддерживающей системы – швеллер. Считаем, что применение швеллера позволяет обеспечить достаточную жесткость системы, а также эффективна при восприятии изгибающих и сжимающих нагрузок при соотношении к общей массе швеллера по одной стороне. Полки швеллера равномерно распределяют нагрузки, а стенка швеллера отвечает за прочность и стабильность конструктивного элемента. Аналогичным способом был

проведен прочностной расчет и выбор сортамента – швеллер 14 П (рис. 4). Изготовили необходимые конструкционные элементы подобрав по грузоподъемности гидропривод, по швеллеру – ролики для передвижения, единственное что осталось заменить это ручной привод на механизированный подобрав электродвигатель и механические передачи. Канавный подъемник стал незаменимой частью для гаража поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники. Стоит отметить экономическую выгоду выполненной подъемной конструкции, которая составила более 20 тыс. руб. Для расширения возможностей использования подобной конструкции подъемника в мобильных мастерских [6], можно немного модернизировать: разместить подъемник на упорной платформе, заменив гидроцилиндры на подъемник ножничного типа. Аналогов данного подъемника нет, есть только домкраты.

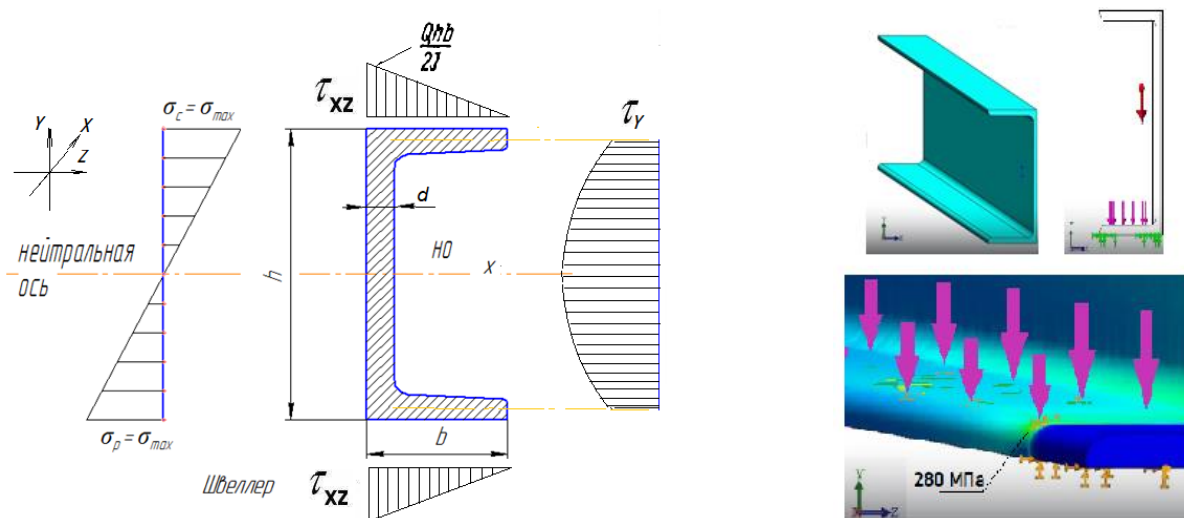


Рис. 4. Швеллер с параллельными гранями полок 14П

В качестве удобства при эксплуатации канавного подъемника предлагается его оснастить ложементом с роликовой системой (рис. 5), который можно применять как для перемещения вдоль осмотровой канавы, так и сам агрегат. Для изготовления необходимо провести дополнительные прочностные расчеты для того, чтобы определить основное назначение предлагаемого ложемента.

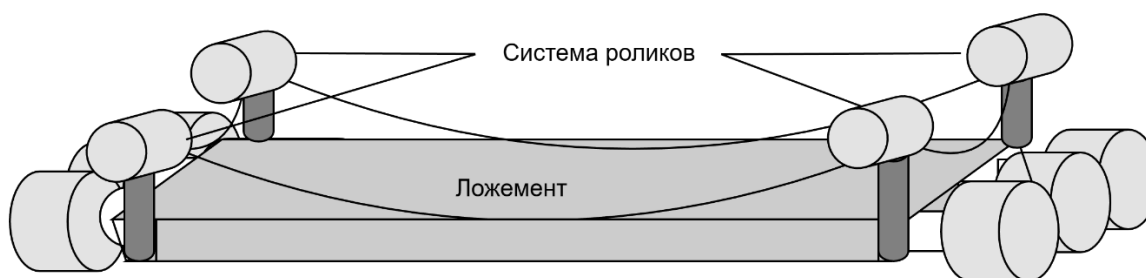


Рис. 5. Рабочий эскиз грузового ложемента с роликовой системой

В ходе исследования были решены следующие задачи:

- выполнен аналитический обзор по данным, которые отражают частоту выезда, отказы, объем ремонтных работ по пожарной технике и выявлены причины отказов;
- создан рабочий эскиз канавного подъемника и грузового ложементы;
- составлен чертеж общего вида проектируемой конструкции;
- подобраны конструкционные элементы подъемника;
- подобран швеллер 14П в качестве поддерживающей системы;
- проведен проверочный расчет с помощью «Компас 3D» с системой прочностного анализа АРМ FEM;
- выявлен наиболее рациональное поперечное сечение швеллера в качестве поддерживающей системы;
- соединены отдельные конструкционные элементы подъемника и передвижная система роликов на валах;
- осуществили прокладку двух 12 м швеллеров по стенам смотровой канавы;
- при экономической выгоде выполненных работ, приобрели ремонтный набор инструментов и вулканизатор для ремонта прорезиненных напорных рукавов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кензеев Д.С., Кропотова Н.А. Обоснование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники и его планомерного совершенствования // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2023. С. 81-86.
2. Нестеров И.В., Кузнецов Ю.С., Коренкова О.А., Волков В.Д. Исследование эксплуатации пожарных автомобилей в подразделениях ФПС ГПС МЧС России в условиях Крайнего Севера и в Арктической зоне // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2021. №1 (7). С. 41-51. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-ekspluatatsii-pozharnyh-avtomobiley-v-podrazdeleniyah-fps-gps-mchs-rossii-v-usloviyah-kraynego-severa-i-v-arkticheskoy> (дата обращения: 25.02.2026).
3. Кропотова Н.А. Альтернативный подход для облегчения ремонта пожарной техники // Актуальные проблемы пожарной безопасности. Материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Иваново, 2020. С. 751-754.
4. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей главной передачи пожарных автомобилей за счет улучшения триботехнических характеристик смазочных материалов // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2021. № 3 (22). С. 5-10.
5. Попов Е.В., Буторин В.В. Проект канавного подъемника для ремонта и обслуживания автомобилей различных типов и классов // Ученые заметки ТОГУ, Т. 15, №3, 2024. С. 11-16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proekt-kanavnogo-podemnika-dlya-remonta-i-obsluzhivaniya-avtomobiley-razlichnyh-tipov-i-klassov/viewer> (дата обращения: 09.02.2026)
6. Зарубин В.П., Киселев В.В., Кропотова Н.А., Легкова И.А., Иванов В.Е. Модернизация передвижной мастерской для обслуживания пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2018. № 2 (9). С. 47-57.

7. Патент на полезную модель № 165103 U1 Российская Федерация, МПК А62С 27/00. Гусеничная пожарная машина : № 2015146347/12 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 10.10.2016 / И. А. Малый, И. Ю. Шарabanова, О. И. Орлов [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий" (ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России). – EDN ZHSGLJ.

УДК 629.1.04

В.А. Альбах

ТСХК им И. С. Ефанова

УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ВПРЫСКА ТОПЛИВА F.I 1.3

Аннотация: Статья посвящена испытанию универсальной электронной системы впрыска топлива, предназначенной для установки взамен традиционных карбюраторов без внесения изменений в конструкцию двигателей. Представлены результаты проведенных испытаний, сравнительные характеристики новой системы и достигнутые технические решения для версии 1.3.

Ключевые слова: карбюратор, система впрыска, топливо, двигатель, система впрыска.

V.A. Albakh

UNIVERSAL FUEL INJECTION SYSTEM F.I 1.3

Abstract: This article is devoted to the testing of a universal electronic fuel injection system intended as a replacement for traditional carburetors without altering the engine structure. It presents the results of conducted tests, comparative characteristics of the new system, and technical solutions achieved in version 1.3.

Keywords: carburetor, injection system, fuel, engine, injection system.

Созданная в 2020 году электронная система впрыска топлива стала доступной альтернативой традиционным карбюраторам благодаря своей простоте конструкции и низкой стоимости производства. Основа системы — микроконтроллер ATMEGA 328P, обеспечивающий надежную работу даже в суровых эксплуатационных условиях.

Среди недостатков выделяются отсутствие экологической сертификации (класс Евро 0). Однако именно эта особенность становится преимуществом устройства — оно способно эффективно функционировать даже при минимальном наборе датчиков и небольшом объеме входящей информации.

На сегодняшний день используется версия 1.3, отличающаяся от предыдущих моделей наличием оптической изоляции между силовыми транзисторами и микроконтроллером (см. рисунок). Это нововведение позволило существенно уменьшить задержки и снизить уровень помех, воздействующих на процессор.

Летом 2025 года проводились испытания системы электронной подачи топлива версии 1.3 в экстремальных климатических условиях высоких и низких температур. Для проверки надежности и эффективности оборудованный нашим впрыском мотоцикл совершил поездку в Краснодарский край вместе с другим ТС, оснащенным стандартной заводской системой EFI. Результаты показали, что расход топлива на мотоцикле с версией 1.3 оказался аналогичен показателям, характерным для стандартного карбюраторного двигателя. Самым серьезным испытанием стало движение в плотном городском трафике Краснодара при максимальной температуре окружающей среды +42 градуса Цельсия.

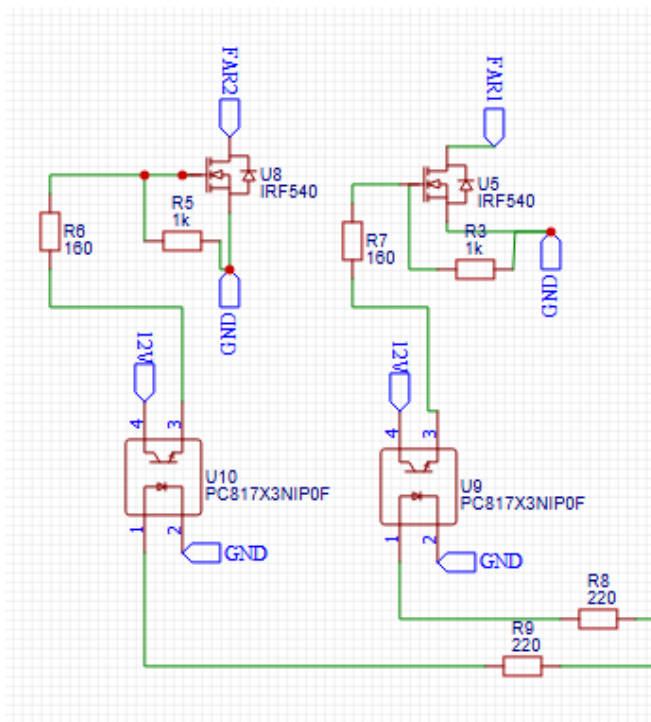


Рисунок. Оптическая развязка

Контроллер версии 1.3 успешно справился с нагрузками, тогда как штатная заводская система вышла из строя, выдав ошибку. Единственной сложностью стал перегрев транзистора, управляющего работой топливного насоса. Причина проблемы заключалась в недостаточно высоком качестве используемого полупроводникового компонента, поскольку при запуске контроллера транзистор мгновенно активировал насос, подвергаясь повышенным тепловым нагрузкам.

Испытания при отрицательных температурах были проведены зимой 2025 года. Использовался мотоцикл с установленной системой 1.3 и классическим карбюратором. Во время испытаний распыление воды осуществлялось непосредственно в диффузор карбюратора и область дроссельной заслонки, вследствие чего образовался слой льда на поверхностях обоих элементов. Из-за образовавшейся ледяной корки каналы карбюратора (жиклеры) заблокировались, что вызвало полную остановку его нормальной работы.

Это показало преимущество над стандартной системой впрыска топлива в которых создания воздушно топливной смеси происходит механически.

Кроме того, система широко применяется на двухтактных подвесных лодочных моторах с незначительными изменениями программного кода, обусловленными особенностями работы двухтактных двигателей.

В будущем планируется работа в следующих направлениях.

Версия блока 1.3 была модернизирована для поддержки сигналов не только от катушек зажигания, но также и от датчиков Холла. Эта опция уже доступна в текущих версиях устройства, однако требует обновления прошивки. Если датчики Холла подтвердят свою надежность и эффективность в работе, планируется дальнейшее усовершенствование оборудования путем добавления физической кнопки для удобного переключения между режимами.

Такая модернизация позволит устанавливать систему на одноцилиндровые двигатели с системами зажигания типа CDI, которые особенно востребованы на мотовездеходах, эксплуатируемых в условиях низких температур и повышенной влажности. Эти условия создают дополнительные сложности для стабильной работы карбюраторов, а новая версия блока 1.3 обеспечит дополнительную устойчивость и надёжность управления двигателем.

Помимо всего прочего к разработке планируется блок версии V3, в нем возможно будут такие функции как работа с фазированным впрыском топлива, для 4 цилиндровых и более двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гиравец А.К Теория управления автомобильным бензиновым двигателем // Стройиздат. 2018 №1 С. 67-68.
2. Интернет источник Datasheet atmega 328p. www.static.chipdip.ru/lib/549/DOC001549488.pdf №2
3. Монк С. Профессиональная работа со скетчами // Питер. 2017 №3 С. 251.
4. Нейросеть Сбербанка GigaChat.

УДК 621.391.1:519.872

К.А. Батенков, А.В. Козленко

МИРЭА – Российский технологический университет

АНАЛИЗ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЯ RTT В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ СЕТЕВЫХ УЗЛОВ

Аннотация: рассматривается механизм возникновения задержки и систематической ошибки при измерении времени кругового обращения (RTT) в протоколах TCP/QUIC. На основе математической модели очереди M/M/1 показано, что статистика RTT отражает состояние системы в момент ухода пакета, что приводит к недооценке реальной длины очереди в моменты скачкообразного роста нагрузки. Приводятся результаты численного моделирования переходного процесса.

Ключевые слова: TCP, QUIC, RTT, задержка, очередь, переходный режим, M/M/1, Congestion Control.

К. А. Batenkov, A.V. Kozlenko

ANALYSIS OF THE SYSTEMATIC ERROR OF RTT MEASUREMENT IN TRANSIENT OPERATING MODES OF NETWORK NODES

Abstracts: The mechanism of occurrence of delay and systematic error in the measurement of round-trip time (RTT) in TCP/QUIC protocols is considered. Based on the mathematical model of the M/M/1 queue, it is shown that RTT statistics reflect the state of the system at the time of packet departure, which leads to an underestimation of the actual queue length at the time of a surge in load. The results of numerical simulation of the transient process are presented.

Keywords: TCP, QUIC, RTT, Delay, Queue, Transition mode, M/M/1, Congestion Control.

В основе алгоритмов контроля перегрузки (Congestion Control) протоколов TCP и QUIC лежит оценка времени кругового обращения пакета – RTT (Round Trip Time). Принято считать, что рост RTT сигнализирует о росте очереди в узком месте (bottleneck) маршрута [1].

Однако при резком скачке трафика возникает контринтуитивный эффект: реальная очередь в маршрутизаторе уже переполнена, а TCP всё ещё «думает», что запас есть, и продолжает наращивать окно перегрузки (cwnd).

Рассмотрим классическую модель очереди M/M/1 (один маршрутизатор). Пусть в момент времени τ пакет прибывает в узел и застаёт там i других заявок (пакетов). Ему предстоит дожидаться обслуживания i заявок впереди него (в среднем это займет время i/μ , где μ – интенсивность обслуживания), пройти собственное обслуживание (время $1/\mu$).

Суммарное время пребывания пакета в узле (W_i) составит:

$$W_i = \frac{i + 1}{\mu}.$$

Пакет покидает узел в момент $\tau + W_i$. Именно после этого события ACK-ответ уходит обратно, и TCP-стек на стороне отправителя регистрирует его приход, вычисляя RTT.

Ключевая ошибка в оценке RTT возникает из-за смешения трёх разных моментов времени. В каждый из них состояние очереди описывается по-разному.

Момент 1 (Прибытие, $t = \tau$): пакет приходит и видит очередь из i заявок. По свойству PASTA (Poisson Arrivals See Time Averages), для пуассоновского потока вероятность застать i заявок совпадает с временной вероятностью состояния системы $P_i(\tau)$.

Момент 2 (уход, $t = \tau + W_i$): за время ожидания W_i очередь изменилась – пришли новые пакеты. Наш уходящий пакет оставляет за собой j заявок ($j \neq i$). Это состояние описывается распределением $D_j(\tau + W_i)$ – вероятностью покидающей заявки.

Момент 3 (измерение, $t = \tau + W_i + d_{back}$): ACK доходит до отправителя. Отправитель вычисляет измеренное значение:

$$RTT_{meas} = (\tau + W_i + d_{back}) - \tau = W_i + d_{back}.$$

Отбросив константу обратного пути d_{back} , мы получаем W_i . Но W_i базируется на i – размере очереди в момент прихода пакета в прошлом, а не в момент его ухода.

На первый взгляд кажется, что если W_i зависит от i , значит, RTT отражает $P_i(\tau)$. Но TCP/QUIC не измеряет пакеты изолированно. Алгоритмы используют сглаживание (например, по RFC 9002 для QUIC):

$$smoothed_{rtt} \leftarrow (1 - \alpha) \cdot smoothed_{rtt} + \alpha \cdot RTT_{meas}.$$

В эту формулу попадают только те пакеты, которые уже покинули систему. Следовательно, статистика RTT – это статистика уходящих пакетов. Математически, усреднённая переменная часть RTT по потоку уходящих пакетов равна математическому ожиданию по распределению D :

$$\overline{W} = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{i+1}{\mu} \cdot D_i(t) = \frac{\mathbb{E}_D i + 1}{\mu}.$$

Таким образом:

$$RTT_{meas} \approx \frac{\mathbb{E}_D i + 1}{\mu}.$$

В стационарном режиме (когда нагрузка неизменна) по теореме Бёрка $D_i = P_i$. Измерения точны.

Однако в переходном режиме это не так.

Пусть интенсивность скачком выросла с λ_0 до λ_1 . Очередь начинает стремительно расти.

Сторонний наблюдатель (P_i): фиксирует текущий момент. Очередь растёт, $\mathbb{E}_P i$ быстро увеличивается.

Уходящий пакет (D_i): провёл в системе время W_i . Он вошёл, когда очередь была короче, и несёт информацию о прошлом. Поэтому $\mathbb{E}_D i$ всегда отстаёт от $\mathbb{E}_P i$.

Строгое доказательство. Выразим $D_i(t)$ через P :

$$D_i(t) = \frac{P_{i+1}(t)}{1 - P_0(t)}.$$

Возьмём математическое ожидание:

$$\mathbb{E}_D i = \frac{\sum_{i=0}^{\infty} i \cdot P_{i+1}(t)}{1 - P_0(t)} = \frac{\sum_{k=1}^{\infty} (k-1) \cdot P_k(t)}{1 - P_0(t)} = \frac{\mathbb{E}_P i - (1 - P_0(t))}{1 - P_0(t)} = \frac{\mathbb{E}_P i}{1 - P_0(t)} - 1.$$

При высокой нагрузке вероятность пустой системы стремится к нулю ($P_0(t) \rightarrow 0$), и формула упрощается:

$$\mathbb{E}_D i \approx \mathbb{E}_P i - 1$$

Таким образом, уходящий пакет систематически оставляет за собой в среднем на 1 заявку меньше, чем реально видит сторонний наблюдатель в тот же момент.

Рассмотрим базовый сценарий скачка нагрузки: $\lambda_0 = 0,4 \rightarrow \lambda_1 = 0,85$ при $\mu = 1$. Рассчитаем значения в момент $t^* = 1,18$ с.

Таблица. Значения в момент $t^* = 1,18$ с

Величина	Значение	Физический смысл
$\mathbb{E}_P i$	3,04	Среднее число заявок в узле (реальная картина)
$\mathbb{E}_D i$	2,51	Среднее число заявок по версии уходящего пакета
RTT_{true}	$\frac{4,04}{\mu}$	Оценка RTT без искажений (если бы TCP видел P_i)
RTT_{meas}	$\frac{3,51}{\mu}$	То, что реально измеряет и усредняет TCP/QUIC
Расхождение	17,7 %	Систематическая ошибка алгоритма

Маршрутизатор уже перегружен (в очереди более 3 заявок), но TCP «думает», что их 2,51, и продолжает агрессивно увеличивать окно отправки, усугубляя затор.

Таким образом, ключевое противоречие алгоритмов контроля перегрузки кроется в рассинхронизации времени наблюдения и времени принятия решений:

пакет входит в момент τ и видит реальную очередь $P_i(\tau)$,

пакет уходит в момент $\tau + W_i$,

ТСР накапливает статистику по уходящим пакетам $\rightarrow D_i(t)$,

ТСР принимает решения в настоящем времени, опираясь на метрику, несущую информацию из прошлого.

В стационарном режиме прошлое равно настоящему. В переходном (при скачках трафика) – возникает «слепота» RTT.

Это приводит к тому, что протоколы TCP и QUIC систематически недооценивают уровень перегрузки в моменты всплесков трафика. На рис. 1 представлена динамика этого процесса, полученная в ходе численного моделирования.

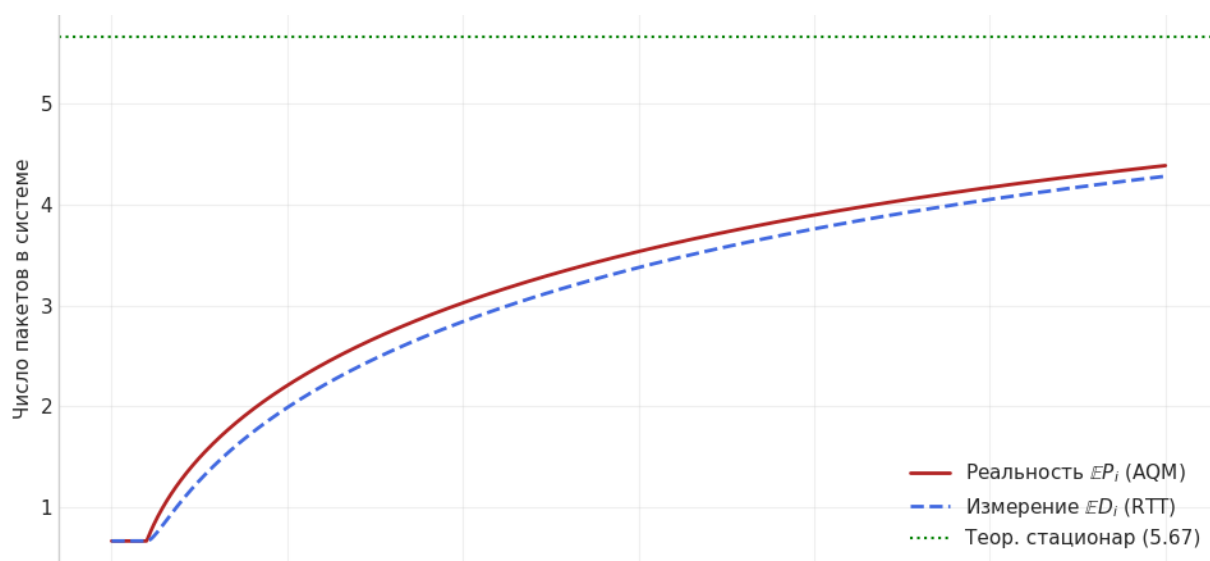


Рис. 1. Динамика изменения реальной и измеряемой очереди при скачке нагрузки

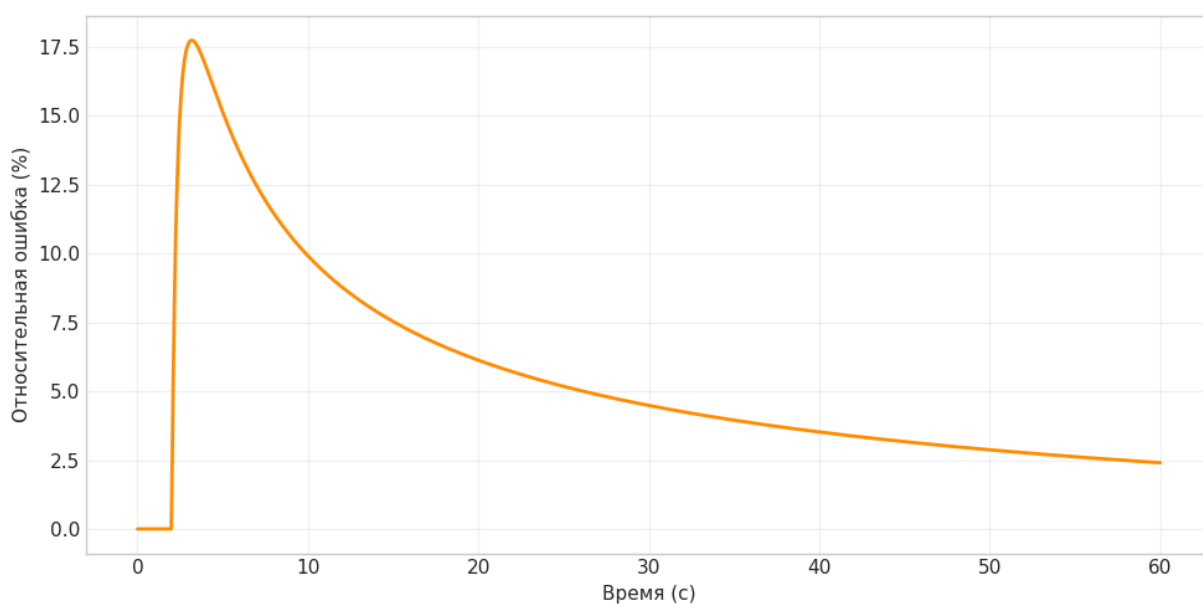


Рис. 2. Относительная погрешность оценки состояния очереди

Как видно из графиков, в интервале перехода к новому стационарному состоянию относительная погрешность измерения RTT может достигать 17 % (рис. 2).

Это подтверждает, что использование RTT как единственного индикатора перегрузки в высокоскоростных сетях с малой глубиной очередей может приводить к запоздалой реакции алгоритмов Congestion Control [1, 2]. Для компенсации данного эффекта рекомендуется использование механизмов явного уведомления о перегрузке (ECN) [3, 4].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. — СПб.: Питер, 2020. — 992 с.
2. Kleinrock L. Queueing Systems. Volume 1: Theory. — Wiley-Interscience, 1975. — 448 p.
3. RFC 3168. The Addition of Explicit Congestion Notification (ECN) to IP. — 2001.
4. Батенков, К. А. Анализ надежности двухполюсных сетей связи на основе метода приведения (редукции) / К. А. Батенков // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. — 2025. — Т. 28, № 6. — С. 56-70. — DOI 10.32603/1993-8985-2025-28-6-56-70. — EDN HXNUDF.

УДК 621

О.А. Беляков, Н.А. Кропотова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОЗДАНИЮ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДАННЫХ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИКИ В ГАРНИЗОНЕ

Аннотация: в статье представлены результаты аналитического обзора применения пожарной техники в пожарно-спасательном гарнизоне. За счет осуществления управленческих решений по техническому обслуживанию и ремонту пожарной техники возможно добиться рациональных параметров распределения техники по пожарно-спасательным частям. Авторами обоснованы предложения по созданию базы оперативного применения пожарной техники гарнизона.

Ключевые слова: единая база данных, техническое состояние техники, техническое обслуживание техники, ремонт пожарной техники, оптимизация параметров, рациональное распределение, информационная система гарнизона.

O.A. Belyakov, N.A. Kropotova

ANALYSIS OF THE TECHNICAL CONDITION OF FIRE EQUIPMENT. PROPOSALS FOR CREATING A UNIFIED INFORMATION SYSTEM FOR DATA ON THE CONDITION OF EQUIPMENT IN THE GARRISON

Abstracts: the article presents the results of an analytical review of the use of firefighting equipment in the fire and rescue garrison. By implementing management decisions on the maintenance and repair of firefighting equipment, it is possible to achieve rational parameters for the distribution of equipment among fire and rescue units. The authors have substantiated proposals for creating a database on the operational use of firefighting equipment in the garrison.

Keywords: unified database, technical condition of equipment, technical maintenance of equipment, repair of fire equipment, optimization of parameters, rational distribution, and garrison information system.

Все чаще можно видеть в отчетах цифры, которые говорят о снижении показателей по пожарам, усилении мер пожарной безопасности, повышении оперативности, качественный мониторинг, грамотное межведомственное взаимодействие, повышение профилактической противопожарной пропаганды среди населения. Но остается достаточно острой проблема обеспеченности пожарных подразделений необходимой работоспособной техникой и пожарно-техническим вооружением [1]. Оснащение структурных подразделений новыми образцами техники в Ульяновской области на протяжении последних 15 лет отсутствует. Поэтому тема сохранения имеющегося парка техники в подразделениях пожарной охраны актуальна.

Обзор статистических данных по пожарам показал, что, обстановка по пожарам и гибели людей остается достаточно высокой (рис. 1). Неосторожное обращение с огнем на территории области остается лидирующей причиной пожаров на протяжении последних 50 лет. Самыми эффективными мероприятиями за последние десятилетия являются: постоянное проведение профилактических мероприятий, которое способствует повышению культуры безопасности населения, а также создание инновационных инструментов обнаружения пожаров: только за 2025 год, например, закуплено 9 новых квадрокоптеров для мониторинга пожаров в лесном массиве и на ландшафтах промышленных зон и предприятий. Несмотря на принимаемые меры, еще на достаточно высоких позициях остается обстановка с пожарами.

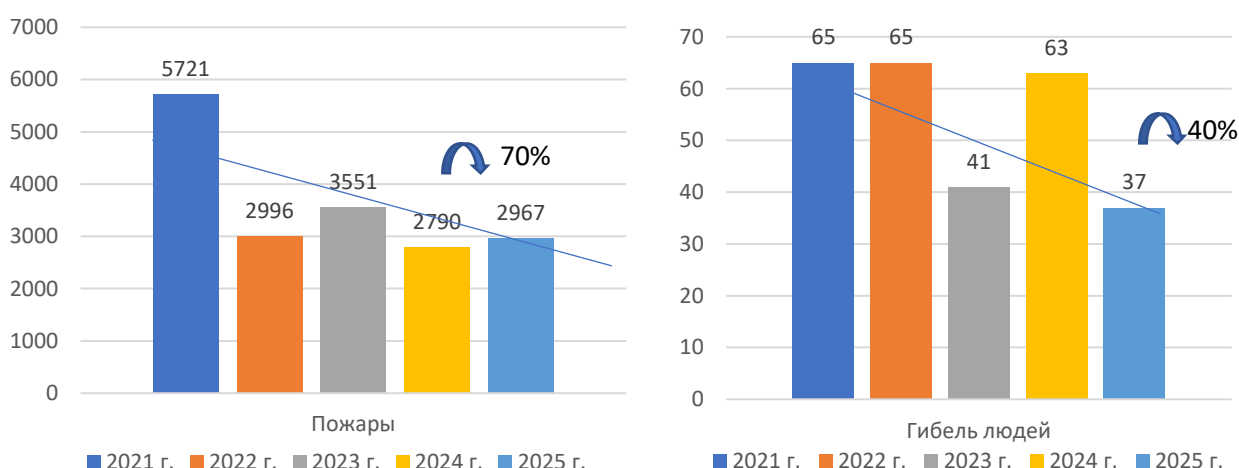


Рис. 1. Статистические данные по пожарам и гибели людей по Ульяновской области

Повышение эффективности по борьбе с пожарами на сегодня является актуальной темой, обсуждаемой в структурных подразделениях пожарной охраны гарнизона. Обеспеченность подразделений пожарной охраны новой техникой низкая,

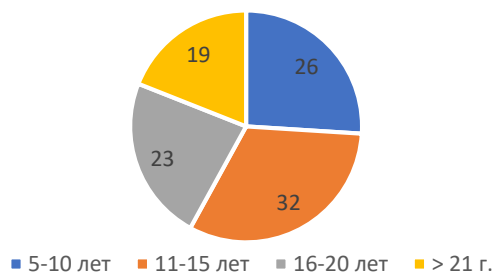


Рис. 2. Обобщенные данные по состоянию пожарной техники в Ульяновской области

поскольку только в 2015 году было закуплено 2 новые автоцистерны, обобщенные данные за 2025 год по Ульяновской области по эксплуатируемой пожарной техники представлены на рис. 2.

Аналитический обзор статистических данных показывает, что ремонт и техническое обслуживание пожарной техники осуществляется регулярно (рис. 3), но несмотря на это отказ пожарной техники имеет место быть [2,3]. Это, в свою очередь, приводит к увеличению сроков эксплуатации пожарной техники (рис. 4).

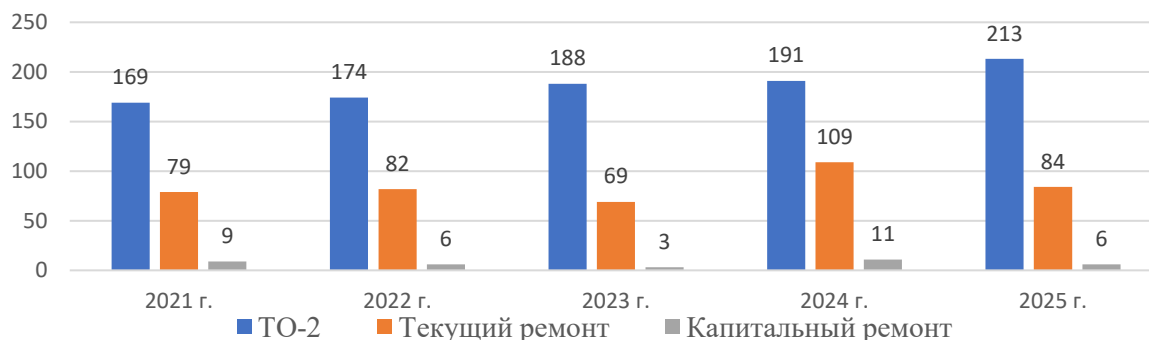


Рис. 3. Данные по ремонту пожарной техники и отказам за последние 5 лет

Срок эксплуатации пожарной техники составляет 15 лет. Вопрос только в том, как часто эксплуатируется подобная техника и по каким причинам она привлекается? К сожалению, ответа у нас нет.

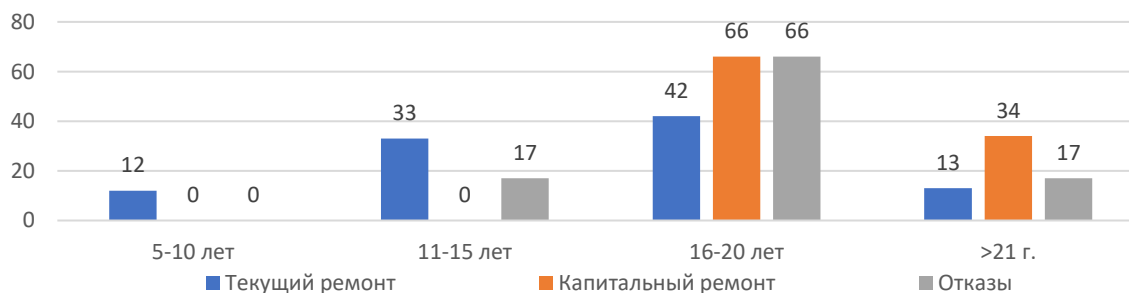


Рис. 4. Аналитические данные по состоянию пожарной техники в зависимости от срока эксплуатации пожарной техники по Ульяновской области (в %)

Основные выявленные причины отказов представлены на рис. 5.



Рис. 5. Распределение отказов по выявленным причинам

Повышение сроков эксплуатации техники приводит к увеличению ее отказов. Естественные износ, экстремальные условия эксплуатации, некачественный материал закупленных деталей приводит к повышению рисков появления неработоспособной пожарной техники [4]. Считаю обоснованным создание единой информационной системы данных состояния пожарной техники в гарнизоне (рис. 6).

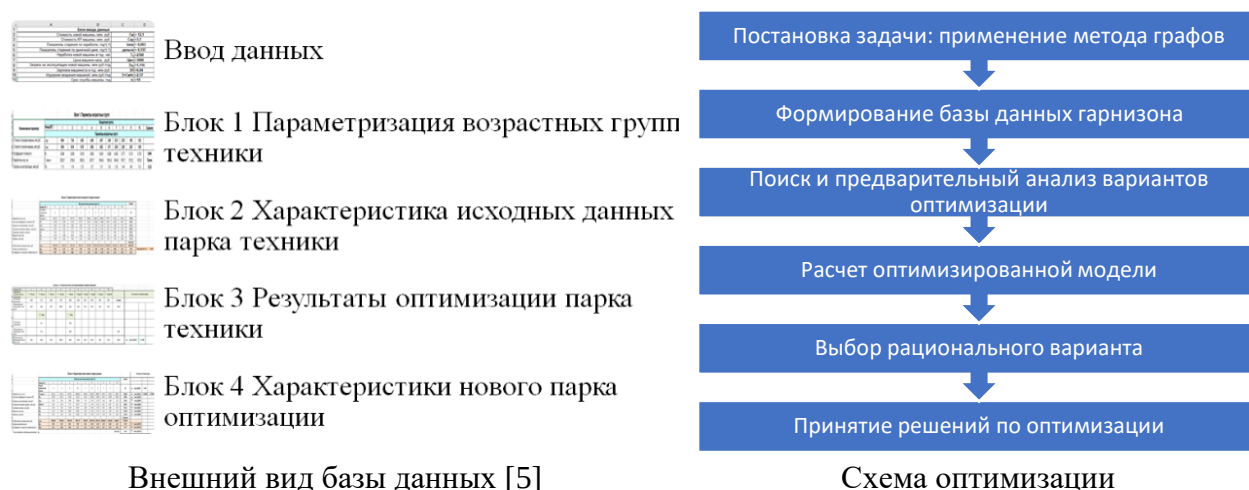


Рис. 6. Структура и принцип работы единой информационной системы данных состояния пожарной техники в гарнизоне

Единая информационная система данных состояния пожарной техники в гарнизоне представляет из себя файл Excel [5], состоящий из нескольких листов: вводные данные и четырех блоков: параметризация по возрастным группам, характеристика данных парка пожарной техники, многовариантные результаты оптимизации, оптимизационная модель парка.

Применяемый основной метод оптимизации пожарной техники в гарнизоне в условиях неполной определенности позволяет:

- выполнять многовариантные задачи;
- выбирать оптимальный путь оптимизации;
- создавать необходимые условия хранения пожарной техники, технического обслуживания и ремонта;

- рациональная расстановка пожарной техники в зависимости от меняющихся погодных условий или возникновения чрезвычайной ситуации природного или техногенного характера;

- планирование ремонтных работ по обеспечению боеготовности подразделений.

Появление единой электронной систематизирующей базы данных будет способствовать:

- структуризации системы;
- своевременной реновации пожарной техники;
- создание ремонтных постов в гарнизоне;
- логистическое оснащение будет налажено с российскими производителями, что будет способствовать своевременному оснащению нужными деталями;
- сокращению финансовых затрат на перевозку техники и заключение дополнительных договоров на оказание ремонтных услуг;
- значительному сокращению времени простоя техники.

В ходе исследования были решены следующие задачи:

- проанализирована пожарная техника гарнизона;
- проведен аналитический обзор причин отказов;
- предложено создание единой информационной системы данных состояния пожарной техники в гарнизоне;
- выбрана методика оптимизации и программное обеспечение для создания единой базы данных;
- предложена схема оптимизации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей главной передачи пожарных автомобилей за счет улучшения триботехнических характеристик смазочных материалов // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2021. № 3 (22). С. 5-10.

2. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей трансмиссий пожарных автомобилей за счет улучшения применяемых смазочных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. Иваново, 2021. № 1 (38). С. 51-59.

3. Кензеев Д.С., Кропотова Н.А. Обоснование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники и его планомерного совершенствования // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2023. С. 81-86.

4. Кропотова Н.А. Альтернативный подход для облегчения ремонта пожарной техники // Актуальные проблемы пожарной безопасности. Материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Иваново, 2020. С. 751-754.

5. Колесниченко В.В., Кропотова Н.А. Оптимизация парка техники, используемой для проведения пиротехнических работ на основании анализа ее применения // Материалы VIII Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны «Гражданская оборона на страже мира и безопасности»: в 5 ч. Ч. II / Сост. В.С. Бутко, М.В. Алешков, С.В. Подкосов [и др.]. Москва: Академия ГПС МЧС России, 2024. С. 194 – 200.

УДК 621.192

Р.В. Волокушин, А.Л. Бараш

Военный институт (инженерно-технический) Военной академии
материально-технического обеспечения, Санкт-Петербург

МЕТОДЫ ПРОГНОЗА И КОРРЕКЦИИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация: в статье рассматривается возможность применения метода прогноза и коррекции в процессе прогнозирования показателей надежности механических систем

Ключевые слова: надежность механических систем, прогнозирование надежности, метод прогноза и коррекции

R. V. Volokushin, A. L. Barash

METHODS OF FORECASTING AND CORRECTION IN FORECASTING THE RELIABILITY OF MECHANICAL SYSTEMS

Abstract: The article discusses the possibility of using the forecasting and correction method in the process of forecasting the reliability indicators of mechanical systems.

Keywords: reliability of mechanical systems, reliability forecasting, forecasting and correction method

В процессе применения механических систем различных видов и типов по назначению в условиях вариативности воздействий внешней среды, недостатка априорной информации или низкой степени ее достоверности, когда для осуществления планирования, как формализованного структурированного процесса определения целей, разработки стратегий, выявления необходимых ресурсов и установления последовательности действий для достижения конкретных результатов не представляется возможным, наиболее целесообразным способом решения возникающих проблем является прогнозирование, которое, в свою очередь, должно выступать как средство определения технического состояния (надежности) объекта в будущем.

В процессе практического применения аппарата теории надежности для описания изменения ее показателей в функции других переменных (чаще всего в функции календарного времени, наработки, пробега и т. п.) используются системы дифференциальных уравнений с целью построения математической модели реального процесса эксплуатации объекта, которая может быть использована для описания его поведения в будущем или анализа различных состояний, т. е. решения задач технического генезиса, технического контроля и технического прогнозирования.

Повысить точность результатов решения этих задач, т. е. определить показатели надежности механической системы, как фазовые координаты объекта технической природы при интегрировании системы обыкновенных дифференциальных уравнений (т. е. уравнений, содержащих одну или несколько производных от искомой функции) не только повышением порядка точности аппроксимации производных, но и путем последовательного уточнения получаемого результата на текущем шаге интегрирования.

Методами, позволяющими достичь практически любой заданной точности на шаге за счет итерационной процедуры, являются методы прогноза и коррекции [1].

Сущность методов прогноза и коррекции заключается в том, что расчет траектории, задаваемой уравнением на каждом шаге производится многократно: сначала осуществляется расчет приближенного значения функции на конце шага какой-либо несложной формулой (например, методом Эйлера [2]), после этого в данной точке определяется производная и расчет повторяется из начальной точки на шаге, но с уточненным значением производной.

Последняя операция, уточнение производной и значения функции на конце шага, производится многократно на каждом шаге, т. е. до тех пор, пока рассчитанные значения не прекратят меняться или эти изменения станут незначительными, меньше какой-то заданной величины ϵ [2].

В общем случае методы прогноза и коррекции реализуются в два этапа:

- на первом (предиктор) определяется грубое приближение требуемой величины;
- при помощи иного метода приближение корректируется.

Посредством корректора (второго этапа) итерации продолжаются до того момента, когда будет достигнута желаемая точность, далее осуществляется переход к следующей узловой точке.

На практике применяются такие методы прогноза и коррекций как метод Милна (для обыкновенных дифференциальных уравнений); метод (схема) Хойна (для предиктора используется метод Эйлера, для корректора – метод трапеций); метод Адамса-Башфорта (параллельный метод для решения нежестких краевых задач) и др.

Существуют различные варианты метода прогнозирования коррекции в зависимости от того, как часто применяется корректор [3]:

- режим «Прогнозирования–оценки–исправления–оценки» (PECE);
- режим «Прогнозирования–оценки–корректности» (PEC).

Основное ограничение при использовании методов прогноза-коррекции связано с отсутствием у этих методов свойства самостартуемости, т. е. для начала вычислений по этим методам необходимо предварительное применение другого самостартующего метода (численного метода, в котором для начала вычислений не требуется дополнительных расчетов).

В этой связи необходимо отметить некоторые особенности этих методов [4]:

1) Для реализации методов прогноза и коррекции необходимо иметь информацию о нескольких предыдущих точках. Поэтому они не относятся к числу «самостартующихся» методов и начинать решение приходится с помощью какого-либо одношагового метода. По этой же причине в процессе решения дифференциальных уравнений нельзя изменять шаг интегрирования.

2) Одношаговые методы и методы прогноза и коррекции обеспечивают приблизительно одинаковую точность результатов, однако вторые в отличие от первых позволяют легко оценить погрешность на шаге.

Для достижения большей точности коррекция часто неоднократно повторяется на каждом шаге. Для обеспечения сходимости результатов обычно достаточно 2–3 шагов коррекции.

Уравнения коррекции обычно дают более точное решение по сравнению с математическими зависимостями прогноза, и, хотя их использование сопряжено с большим объемом вычислений, применение их оправдано.

Применение метода прогноза и коррекции для прогнозирования показателей надежности механической системы можно рассмотреть на следующем примере:

На основе данных предыдущих наблюдений известна зависимость количества отказов механической системы от времени $N_i = f(t)$ (рисунок).

На первом шаге прогнозное значение параметра N_{i+1} прогнозируется в точке $(i+1)$, а затем используется тот или иной метод корректировки этого значения. Для корректировки можно воспользоваться формулой второго порядка точности:

$$N_{i+1}^{(0)} = N_{i-1} + 2hf(N_i; t_i), i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где $N_{i+1}^{(0)}$ – исходное приближение к N_{i+1} , т. е. спрогнозированное значение;

h – шаг по оси абсцисс (шаг значений аргумента функции).

n – количество интервалов наблюдения (прогнозирования).

Шаг в общем случае определяется как

$$h = \frac{t_n - t_0}{n}. \quad (2)$$

Геометрическая интерпретация (1) представлена на рисунке.

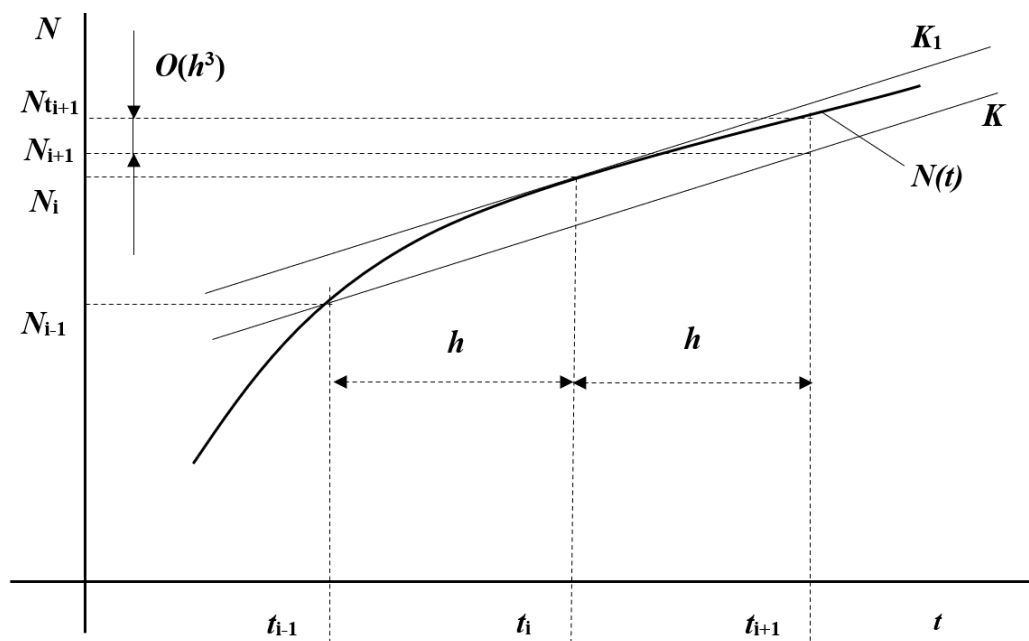


Рисунок. Геометрическое представление этапов прогноза по методике [5]

На рисунке $O(h^3)$ – величина оценки погрешности приближения, в данном случае 3-го порядка.

Уменьшение h и увеличение порядка величины погрешности приближения способствуют повышению точности прогноза, но ведут к увеличению объема вычислений.

Прогнозирование осуществляется следующим образом:

1) Определяется угол наклона касательной K_1 в точке $(t_i; N_i)$;

2) Далее, через точку $(t_{i-1}; N_{i-1})$ проводится прямая K , параллельная касательной к точке $(t_i; N_i)$, $K \parallel K_1$;

3) Прогнозное значение $N_{i+1}^{(0)}$ находится в точке пересечения линии K с прямой $t = t_{i+1}$.

Коррекция производится по формуле [2]:

$$N_{i+1}^{(1)} = N_i + \frac{h}{2} [f(t_i, N_i) + f(t_{i+1}; N_{i+1}^{(0)})]. \quad (3)$$

Далее, можно уточнить полученное значение, используя $N_{i+1}^{(1)}$: k -е приближение к N_{i+1} определяется по формуле [2]:

$$N_{i+1}^{(k)} = N_i + \frac{h}{2} [f(t_i, N_i) + f(t_{i+1}; N_{i+1}^{(k-1)})], \quad k = 1, 2, 3 \dots \quad (4)$$

Процесс итерации прекращается, когда [3]

$$|N_{i+1}^{(k)} - N_{i+1}^{(k-1)}| < \varepsilon. \quad (5)$$

На основании вышеизложенного можно полагать, что применение методов прогноза и коррекции при определении показателей надежности механических систем позволит компенсировать отклонения параметров от расчетных значений, обусловленные технологическими разбросами, нестабильностью воздействий внешней среды, статистические выбросы значений временного ряда на предпрогнозном периоде, тем самым способствовать повышению точности и расширению границ применимости прогнозных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасик, В. П. Методы прогноза и коррекции. Неявные методы интегрирования. Математическое моделирование технических систем. – Текст : электронный : Studref : [сайт]. – 2026. – https://studref.com/649860/tehnika/metody_prognoza_korreksii (дата обращения 15.03.2026). – Текст : электронный.
2. Демидович, Б. П. Основы вычислительной математики : учебное пособие / Б. П. Демидович, И.А. Марон. – Изд. 8-е, стер. – Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2026. – 664 с. – Текст : непосредственный.
3. РУВИКИ – новая российская интернет-энциклопедия : официальный сайт. – URL : <https://ru.ruwiki.ru/wiki/> (дата обращения 15.03.2026). – Текст : электронный.

4. Вычислительная математика и информационные технологии: учебное пособие / И.П. Болодурина, Л.М. Анциферова, Д.И. Парфенов, Л.С. Гришина; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2021 – 132 с. – Текст : непосредственный.

5. Predictor-Corrector or Modified-Euler method for solving Differential equation (в переводе Яндекс). – Текст : электронный. – Последнее обновление 23 июня 2022 года. – URL : <https://www.geeksforgeeks.org/dsa/predictor-corrector-or-modified-euler-method-for-solving-differential-equation/> (дата обращения 14.03.2026).

УДК 66.045.1

П.А. Воробьев, М.А. Ноздрин

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: Рассмотрены основные типы рекуперативных теплообменников, наиболее распространенных в промышленности и энергетике. Выделены и систематизированы характерные «механически слабые места» и перечислены основные причины возникновения дефектов и отказов.

Ключевые слова: теплообменные аппараты, рекуператоры, конструкции теплообменников.

P.A. Vorobiev, M.A. Nozdrin

WAYS TO IMPROVE MODERN HEAT EXCHANGERS

Abstracts: The main types of recuperative heat exchangers most commonly used in industry and power engineering are reviewed. Typical "mechanically weak points" are identified and systematized, and the main causes of defects and failures are listed.

Keywords: heat exchangers, recuperators, heat exchanger designs.

По способу действия различают три типа теплообменных аппарата – рекуперативные, регенеративные и смешительные [2]. В рекуператорах потоки теплоносителей разделены стенкой – этот принцип лежит в основе подавляющего числа теплообменников. В регенераторах насадка или стенка попеременно омываются то горячим, то холодным теплоносителем, аккумулируя тепло и затем отдавая его. Смешительные (контактные) теплообменники смешивают теплый и горячий теплоноситель, например воду и пар.

В данной работе рассмотрены наиболее актуальные в технике теплообменники с рекуперативным типом действия, проанализированы их конструкции и выявлены слабые механические места.

Кожухотрубный теплообменный аппарат (рис.1) конструкционно представляет собой набор трубок, заключенный в цилиндрический кожух; один теплоноситель течет внутри трубок, другой – в межтрубном пространстве (в кожухе). Для увеличения эффективности и жесткости в кожухе устанавливают перегородки [1].

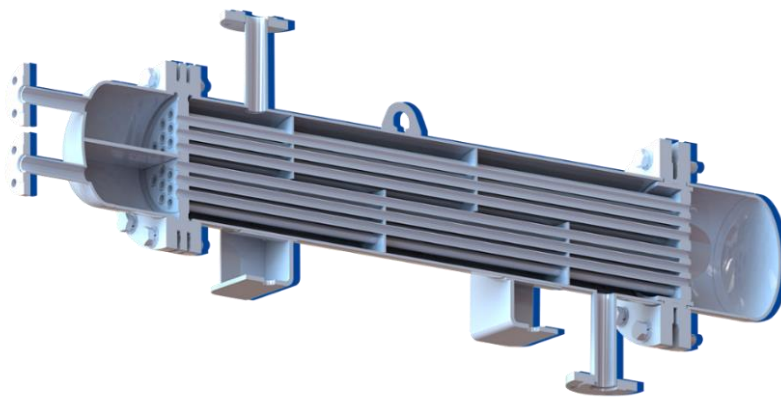


Рис. 1. Конструкция кожухотрубного теплообменника

Кожухотрубные теплообменники применяют во многих сферах энергетики, нефтегазовой и химической промышленности, судовых установках, холодильниках и кондиционерах, системах отопления.

Механически слабыми местами этих конструкций являются:

- трубы из-за коррозии, эрозии и вибраций разрушаются, что может привести к перетоку сред и снижению давления и эффективности;
- соединение труб с решеткой (зона развальцовки / сварки) – из-за усталости материала и коррозии под напряжением сварка разрушается, что приводит к утечкам между контурами;
- прокладки фланцевых соединений повреждаются из-за старения, перекосов и температурных циклов, что приводит к наружным течам [3].

Пластинчатые теплообменные аппараты конструкционно представляют собой набор тонких штампованных пластин с гофрами, для увеличения поверхности и турбулизации потока. Пластины собраны в пакет на раме и уплотнены резиновыми прокладками. Каналы для горячего и холодного теплоносителя чередуются.

Пластинчатые теплообменники применяют в пищевой промышленности, центральном отоплении и горячем водоснабжении, вентиляции, судостроении, химической промышленности.

Слабые места конструкций:

- точки контакта пластин работают на противодействие, первыми деформируются при превышении давления или гидроударе, что приводит к потере геометрии и разрыву металла в самой тонкой части гофры;
- уплотнения из эластомера, не несущие нагрузку, чувствительны к перепадам температур, давлению и химии, поэтому стареют, теряют эластичность, выдавливаются;
- крепежные болты испытывают полную нагрузку от давления среды на всю площадь пластин. При перетяжке или коррозии могут растянуться или разрушиться.
- направляющие балки при больших габаритах и весе пакета могут прогнуться, затрудняя движение пластин;
- резьбовое отверстие в неподвижной плите для крепежных болтов – резьба может сорваться при перетяжке или износе.

Кожухопластинчатые теплообменные аппараты (рис. 2) являются гибридной конструкцией кожухотрубного и пластинчатого теплообменников. Внутри кожуха находится блок паяных пластинчато-ребристых теплообменных матриц. Потoki движутся по каналам внутри блока, кожух создает прочную оболочку.

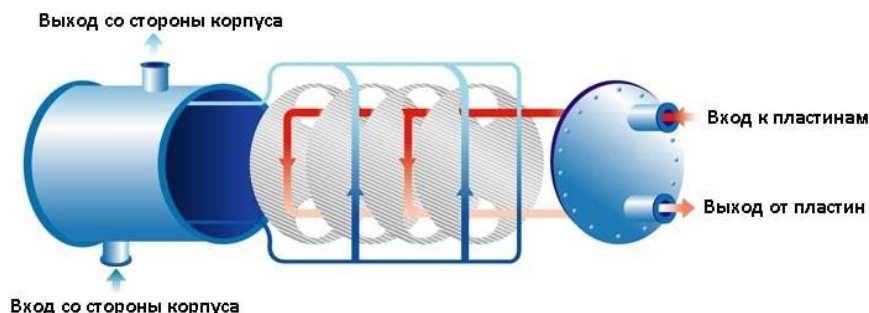


Рис. 2. Конструкция кожухопластинчатого теплообменника

Кожухопластинчатые теплообменные аппараты применяются там, где нужны преимущества пластинчатой технологии (высокая эффективность), но для рабочих сред требуются высокие давления и температуры.

Слабые места этого типа:

- пластинчатый пакет внутри кожуха – тонкие пластины и их гофрированные точки контакта испытывают давление со стороны кожуха и среды. Риск деформации или смятия пакета при высоком давлении или гидроударе;
- торцевые камеры и их уплотнения – слабое место для утечек. Крышки могут деформироваться;
- кожух, работающий на сжатие – при коррозии или эрозии снижается прочность стенки кожуха, что может привести к его раздутию или разрыву;
- опорные элементы внутри кожуха – при неправильном монтаже или вибрации могут сместиться, вызывая деформацию пакета;
- соединение кожуха с трубопроводами – концентраторы механических напряжений от веса труб и вибрации.

Теплообменный аппарат воздушного охлаждения представляет собой трубчатый пучок с оребренными трубками, обдуваемый мощными вентиляторами. Охлаждаемая жидкость течет внутри трубок, отдавая тепло воздуху. Теплообменные аппараты воздушного охлаждения применяются там, где дефицит или высокая стоимость воды – нефтепереработка и нефтехимия, энергетика, газоперекачивающие станции.

Слабыми местами являются:

- трубные решетки в зоне развальцовки / сварки оребренных труб – концентрация напряжений и вибрация приводят к усталостным трещинам и разгерметизации;
- оребренные трубки легко деформируются от града, падения инструментов, обледенения или очистки;
- опорные рамы и крепление секций испытывают циклические нагрузки от работы вентиляторов и ветра. Сварные швы на рамах склонны к усталостным трещинам;
- привод и лопасти вентилятора – наиболее сложный механический узел с вращающимися частями (большая вероятность поломки).

Элементный теплообменный аппарат «труба в трубе», конструкционно представляет собой трубу меньшего диаметра, вставленную в трубу большего диаметра. Один поток идет по внутренней трубе, другой – по кольцевому зазору. Для увеличения площади несколько таких элементов соединяются последовательно или параллельно калачами.

Теплообменные аппараты элементного типа применяются там, где используется высокое давление вязких загрязнённых или химически агрессивных сред, где важна простота и надежность. Сферы применения – нефтехимия, испытательные стенды, системы с высоким давлением.

Слабыми местами являются:

- компенсаторы на кожухе – тонкостенная гофрированная оболочка для компенсации теплового расширения. Крайне чувствительна к давлению, вибрации и усталости;
- проставки между внутренними трубами – тонкие элементы, центрирующие трубы. Могут разрушиться от вибрации, нарушив геометрию пучка;
- колена и возвратные камеры – места поворота потока, подвержены эрозии и утоньшению стенки из-за удара потока, что снижает прочность.

Погружные теплообменные аппараты конструкционно представляют собой змеевик или панель, погруженные в резервуар с жидкостью.

Они применяются там, где необходимо нагревание или охлаждение жидкостей в емкостях и резервуарах – котлы-утилизаторы, бассейны, простейшие системы нагрева.

Механически слабые места конструкции:

- точки крепления змеевика к стенке/дну ёмкости – кронштейны или опоры испытывают вибрацию от кипения/потока;
- змеевик (трубка) — делается из меди или тонкостенной стали для лучшей теплопередачи. Легко деформируется при механической чистке или падении предметов в ёмкость;
- входной/выходной патрубок в месте выхода из стенки ёмкости – концентратор напряжений от вибрации и теплового расширения.

Оросительный теплообменный аппарат представляет собой несколько рядов гладких труб, по которым течет охлаждаемая вода. Сверху на трубы равномерно разбрызгивается вода, которая, стекая пленкой и испаряясь, охлаждает трубный пучок.

Теплообменные аппараты оросительного типа применяются там, где нужна экономия воды, в системах оборотного водоснабжения промышленных предприятий.

Механически слабые места:

- оросительный насад (ороситель, каплеуловитель) – лёгкие пластиковые или деревянные панели/решетки: деформируются, засоряются, разрушаются от обледенения;
- теплообменные катушки/змеевики – тонкостенные трубки, открытые для атмосферы и струй воды: уязвимы к эрозии от капель, коррозии;
- коллекторы распределения воды (оросительные трубы с форсунками) – форсунки забиваются, трубы могут прогибаться;
- поддон (ванна) в нижней части испытывает циклические нагрузки от воды и льда.

В работе представлен обзор рекуперативных теплообменных аппаратов, из сравнения которых можно сделать вывод, что проблемными зонами являются соединения труб с решеткой и прокладки фланцевых соединений, пластинчатый пакет

внутри кожуха, торцевые камеры и их уплотнения. Выбор теплообменного аппарата определяется специализацией его применения и условиями эксплуатации в отраслях технологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. — М.: Машиностроение, 1989.
2. Моделирование конструкции динамического теплообменного аппарата / М.А. Ноздрин, А.А. Михайлишина // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии. 2025 (XXIII Бенардосовские чтения): материалы Международной научно-технической конференции, 20-31 мая 2025 г., г. Иваново. — Иваново: ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». — 2025. — Т.3. — С. 183 – 186
3. Тимонин А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: справочник: в 3 т. Т. 2 / А.С. Тимонин. — Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2002.

УДК 614.8

С.А. Гарелина, А.Ю. Скрынников

Академия гражданской защиты МЧС России

ПОДВИЖНЫЙ КОМПЛЕКС ЛОКАЛИЗАЦИИ И ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация: В статье рассматривается состав, принцип работы и условия применения подвижного комплекса, предназначенного для ликвидации последствий разливов мазута и других нефтепродуктов, а также нефти в условиях чрезвычайных ситуаций. Комплекс включает два функционально взаимосвязанных элемента: транспортное средство повышенной проходимости с установленным плазмохимическим реактором для переработки нефтесодержащих отходов и контейнерный прицеп с мобильной системой локализации и сбора нефти и нефтепродуктов. Предлагаемый подход ориентирован на сбор и переработку нефти и нефтепродуктов непосредственно в зоне чрезвычайной ситуации без транспортировки загрязнённых отходов на стационарные полигоны.

Ключевые слова: подвижный комплекс, мазут, разлив нефти и нефтепродуктов, плазмохимический реактор, переработка нефтесодержащих отходов, локализация разливов, система локализации, транспортное обеспечение, чрезвычайные ситуации.

S.A. Garelina, A.U. Skrynnikov

MOBILE COMPLEX LOCALIZATION AND PROCESSING OF OIL AND OILY WASTE IN EMERGENCY SITUATIONS

Abstract: The article discusses the composition, principle of operation and conditions of use of a mobile complex designed to eliminate the consequences of spills of fuel oil and other oil products, as well as oil in emergency situations. The complex includes two functionally interrelated elements: an off-road vehicle with an installed plasma-chemical reactor for processing oily waste and a container trailer with a mobile system for localization and collection of oil and petroleum products. The proposed approach is focused on the collection and processing of oil and petroleum products directly in the emergency zone without transporting contaminated waste to stationary landfills.

Keywords: mobile complex, fuel oil, oil and petroleum products spill, plasma-chemical reactor, oily waste processing, spill containment, containment system, transport support, emergencies.

Крупные аварийные разливы нефти и нефтепродуктов (далее – ННП), в частности мазута в прибрежных зонах водоемов, на промышленных объектах и вдоль линейных объектов инфраструктуры относятся к числу наиболее экологически опасных чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) [1–3].

Показательным примером является авария танкеров с мазутом в Керченском проливе в декабре 2024 г., последствия которой проявились в виде широкомасштабного загрязнения морской акватории и прибрежной среды. Высокая вязкость мазута, его склонность к адгезии и образованию устойчивых загрязнений существенно осложняют традиционные методы ликвидации, основанные на механическом сборе и последующей транспортировке загрязнённых нефтешламов (грунтов и сорбентов) на полигоны для складирования и переработки [3].

Существующая практика показывает, что основными ограничениями таких подходов являются значительные логистические затраты, необходимость привлечения стационарных инсинераторных установок для утилизации, а также риск вторичного загрязнения территории при перевозке отходов и шламов от ННП. В связи с этим актуальной является задача создания подвижных комплексов, способных обеспечить полный цикл работ: от локализации разлива ННП до переработки собранного нефтешлама непосредственно в зоне ЧС [4].

Рассматриваемый подвижный комплекс локализации и переработки нефти и нефтесодержащих отходов построен по модульному принципу и включает два основных элемента:

1) транспортное средство повышенной проходимости с размещенной в кузове мобильной установкой плазмохимической переработки ННП в контейнерном исполнении;

2) транспортный прицеп (буксируемый контейнер), укомплектованный мобильной системой локализации разлива и сбора ННП (рис. 1).

Такое функциональное разделение позволяет адаптировать состав подвижного комплекса под конкретные аварийные сценарии, условия подъезда к зоне ЧС и масштабы загрязнения от разлива ННП.

Система локализации разливов и сбора ННП, входящая в состав подвижного комплекса, включает:

– мобильное заградительное средство, выполненное из модульных секций фиксированной геометрии, секции которого в транспортном положении складываются в компактный пакет и размещаются в контейнере прицепа;

– оборудование для сбора ННП, размещаемое в отдельной части контейнера прицепа.

В рабочем положении после разворачивания секции мобильного заградительного средства формируют замкнутый контур, ограничивающий распространение ННП (на поверхности воды в прибрежной зоне, в береговой полосе, на асфальте).

Для сбора и удержания ННП на секциях закрепляются утилизируемые сорбирующие элементы (например, пакеты ветоши), которые перевозятся в антресольных отсеках контейнера.



Рис. 1. Мобильный прицеп со средством локализации и сбора ННП

Конструктивные решения, предусмотренные в подвижном комплексе локализации и переработки нефти и нефтесодержащих отходов обеспечивают:

- быстрое развёртывание ограниченными силами небольшой бригады (формирования);
- адаптацию секций к рельефу местности и форме разлива ННП;
- возможность установки (навески) сорбирующих элементов для первичного сбора разлива ННП.

Конструкция подвижного комплекса локализации и переработки нефти и нефтесодержащих отходов ориентирована на многократное применение и допускает эксплуатацию в различных климатических и дорожных условиях.

Основным элементом рассматриваемого комплекса является мобильная установка для плазмохимической переработки собранных ННП (рис. 2).

Рассматриваемая установка реализована в контейнерном исполнении на шасси транспортного средства повышенной проходимости (автомобиль, гусеничная платформа) и включает: реакционную камеру, систему подачи инертного газа, дозаторы сырья и реагента, разрядное устройство и блоки отбора продуктов переработки. В основу переработки положен плазмохимический метод, обеспечивающий разложение углеводородов в неравновесной плазме.

Элементарный состав ННП, например, мазута (по соотношению водорода и углерода) близок к составу насыщенных углеводородных полимеров, что позволяет использовать ранее апробированные технологические подходы без детальной идентификации молекулярной структуры данного вида топлива.

В результате переработки формируются [4]:

- газообразные продукты, прежде всего водород, который может использоваться как вторичный энергоноситель;
- конденсированные твёрдые продукты, пригодные для дальнейшей промышленной утилизации (при использовании кальция в качестве реагента преимущественно образуется карбид кальция).

Эксплуатационные параметры установки (диапазон мощности, температурный режим, тип разряда) выбираются на основе математического моделирования рабочих процессов реактора.



Рис. 2. Концептуальная схема функционирования подвижного комплекса локализации и переработки ННП

Подвижный комплекс локализации и переработки ННП предусматривает эксплуатацию в условиях ограниченной транспортной доступности, что характерно для зоны ЧС. Транспортное средство с установленным реактором обеспечивает автономность процесса за счёт собственного источника энергоснабжения, а прицеп с системой локализации и сбора ННП позволяет оперативно доставлять и развёртывать мобильное заградительное средство и оборудование для сбора ННП.

Выбор параметров шасси комплекса и прицепа для него определяется следующими факторами:

- проходимость и возможность работы на слабонесущих грунтах;
- грузоподъёмность и устойчивость при буксировке;
- вместимость состава аварийной бригады;
- минимизация времени прибытия к месту ЧС.

Модульная конструкция подвижного комплекса позволяет использовать:

- автомобили средней грузоподъемности для аварий на промышленных объектах и дорожных аварий;
- тяжёлые полноприводные грузовые автомобили для песчаной поверхности прибрежных территорий при авариях с выбросом разливов ННП на берег;
- гусеничные шасси для работы в труднодоступной местности на линейных объектах нефтегазовой инфраструктуры.

Использование подвижного комплекса с возможностью плазмохимической переработки ННП обеспечивает ряд принципиальных преимуществ:

- сокращение логистических операций и отказ от транспортировки нефтешламов и загрязнённых материалов (сорбентов) на большие расстояния;
- снижение суммарного экологического ущерба за счёт переработки нефтешламов и загрязнённых материалов (сорбентов) на месте;
- получение полезных продуктов переработки, в том числе водорода;
- высокая оперативность развёртывания и гибкость применения элементов комплекса как вместе, так и раздельно.

Для сопоставления возможностей рассматриваемого подвижного комплекса с условиями эксплуатации в транспортной системе приведены оценочные показатели, увязывающие требуемую установленную мощность, производительность переработки и основные параметры транспортной платформы. Оценки предназначены для выбора класса шасси и компоновки комплекса и представлены в таблице.

Таблица. Типовые параметры базовых транспортных средств подвижного комплекса и расчётная производительность переработки ННП (на примере мазута)

№ п/п	Параметр	Вариант А	Вариант В
1	Колесная формула автомобильного шасси	4×2 / 4×4	6×6
2	Полная масса автомобиля, т	12 – 15	20 – 25
3	Параметры контейнерного исполнения	20-футовый контейнер	20-футовый контейнер (возможна компоновка на полуприцепе с 40-футовым контейнером)
4	Установленная электрическая мощность, кВт	250 – 300	400 – 500
5	Производительность (по мазуту), кг/ч	4 – 5	6 – 8
6	Выход газового продукта (H ₂), кг/ч	0,5 – 0,7	0,8 – 1,0
7	Выход твёрдого продукта (преимущественно CaC ₂), кг/ч	8 – 10	13 – 16
8	Численность обслуживающего персонала, чел.	3 – 4	4 – 6
9	Масса комплекта оборудования, т	до 1,5	до 3,0

Представленные значения отражают диапазоны параметров, характерные для мобильных установок контейнерного исполнения, и показывают связь между установленной мощностью, производительностью переработки и требованиями к транспортной платформе. Увеличение мощности повышает производительность, но

одновременно усиливает требования к энергетическому обеспечению, массе и габаритам комплекса. Выделение двух типовых вариантов базовых транспортных средств позволяет адаптировать комплекс под различные сценарии ЧС – от локальных разливов на промышленных и дорожных объектах до аварий на линейной части нефтепродуктопроводов.

Заключение

Подвижный комплекс, включающий машину с установленным в контейнере плазмохимическим реактором и прицеп с системой локализации и сбора ННП, представляет собой перспективное техническое решение для локализации и ликвидации последствий разливов ННП.

Предложенный подход соответствует современным требованиям к мобильности, автономности и экологической эффективности аварийно-спасательных средств и может быть использован в качестве основы для дальнейшей опытной отработки и внедрения в практику транспортных, экологических и аварийно-спасательных служб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nemirovskaya I.A., Zavialov R.O., Khramtsova A.V. (2022). Hydrocarbon pollution in the waters and sediments of the Kerch Strait. *Marine Pollution Bulletin*, 180, 113760. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113760>
2. Tsibenko B., Malik T., Liashenko D., Tsiupa I., Kravchenia V., Tsvyk O. (2025). Monitoring of hydrocarbon pollution in the Black Sea and the Sea of Azov using remote sensing methods. *European Association of Geoscientists & Engineers Conference Proceedings*, 18th International Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment”, Vol. 2025, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2025510062>
3. Conflict and Environment Observatory (CEOBS). (2025). *The ongoing environmental impact of the Kerch Strait oil spill*. Available at: <https://ceobs.org/the-ongoing-environmental-impact-of-the-kerch-strait-oil-spill/>
4. Гарелина С.А., Латышенко К.П., Скрынников А.Ю. Комплексное решение для защиты береговой полосы черного моря от разливов нефти и нефтепродуктов (мазута) // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2025. – 3 (66). – С. 22 – 31.

УДК 621.313

И.А. Грачев, Ю.Б. Казаков

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОФАКТОРНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Аннотация: В статье представлена разработка подхода к количественной диагностике статического эксцентриситета ротора турбогенератора на основе анализа внешнего магнитного поля. Особое внимание уделено использованию методологии планирования

эксперимента для формирования адекватных математических зависимостей, описывающих взаимосвязь характеристик повреждения и диагностируемых сигналов. На примере ортогонального центрального композиционного плана второго порядка продемонстрирована возможность построения регрессионной модели по результатам ограниченного количества вычислительных экспериментов. Предложен способ решения обратной задачи диагностики с использованием итерационного метода Ньютона-Рафсона, позволяющий определять степень смещения и угловую координату эксцентриситета.

Ключевые слова: турбогенератор, бесконтактная диагностика, внешнее магнитное поле, эксцентриситет ротора, планирование эксперимента, метод Ньютона-Рафсона.

I.A. Grachev, Y. B. Kazakov

CAPABILITIES OF MULTIFACTOR DIAGNOSTICS OF ELECTROMAGNETIC DAMAGE TO A TURBOGENERATOR

Abstracts: The paper presents the development of an approach to quantitative diagnostics of static rotor eccentricity in a turbogenerator based on the analysis of the external magnetic field. Special attention is paid to the use of experimental design methodology to form adequate mathematical relationships describing the interconnection between damage characteristics and diagnosed signals. Using an orthogonal central composite design of the second order as an example, the possibility of constructing a regression model based on the results of a limited number of computational experiments is demonstrated. A method for solving the inverse diagnostic problem using the iterative Newton-Raphson method is proposed, allowing determination of the displacement degree and angular coordinate of the eccentricity.

Keywords: turbogenerator, contactless diagnostics, external magnetic field, rotor eccentricity, experimental design, Newton-Raphson method.

Обеспечение надежного и бесперебойного энергоснабжения является одной из ключевых задач для функционирования систем безопасности, в том числе для объектов пожарной охраны и аварийно-спасательных подразделений. Турбогенераторы, выступающие в роли основных источников электрической энергии на тепловых и атомных электростанциях, относятся к числу критически важных элементов энергетической инфраструктуры. Внезапный выход из строя турбогенератора вследствие развития электромагнитных повреждений способен привести к масштабным нарушениям электроснабжения жилых районов, промышленных объектов и самих пожарных частей. Это, в свою очередь, создает предпосылки для возникновения техногенных пожаров, затрудняет работу систем автоматического пожаротушения, дымоудаления и противопожарного водоснабжения, а также снижает эффективность деятельности оперативных служб в условиях чрезвычайной ситуации. Особую опасность представляют возгорания, возникающие непосредственно на энергогенерирующих объектах, где высокая концентрация горючих материалов (изоляция, масло) и сложность электротехнического оборудования требуют оперативного и точного контроля его состояния. В этой связи разработка и внедрение методов бесконтактного мониторинга технического состояния турбогенераторов, позволяющих на ранней стадии выявлять развивающиеся дефекты, является актуальной научно-практической задачей, способствующей повышению уровня пожарной безопасности и надежности энергоснабжения социально значимых объектов.

Статистика показывает, что более половины отказов турбогенераторов связано с электромагнитными повреждениями: витковыми замыканиями в обмотке возбуждения, эксцентриситетом ротора, дефектами магнитопровода [1]. Непосредственный контроль состояния внутренних узлов в процессе эксплуатации затруднен, поэтому актуальное значение приобретает развитие бесконтактных методов диагностики, основанных на анализе внешнего магнитного поля машины [2, 3].

Внешнее магнитное поле (ВМП), замыкающееся в пространстве за пределами магнитопровода, содержит информацию о возникающих внутренних несимметриях магнитной системы. Фиксация его характеристик с помощью датчиков Холла, устанавливаемых на корпусе статора, не требует конструктивных изменений или остановки агрегата. Однако зависимость между характером повреждения и регистрируемыми сигналами является нелинейной и многопараметрической, что делает прямую расшифровку результатов измерений затруднительной.

Перед нами стоит задача разработки методики, которая позволит строить диагностические модели для количественного определения параметров статического эксцентриситета ротора. В основе методики лежат методы планирования эксперимента (ПЭ) и последующее решение обратной задачи.

Эксцентриситет воздушного зазора, представляющий собой несоосность ротора и статора, приводит к искажению магнитного поля и росту вибраций. Для бесконтактной диагностики перспективно использование радиальной (B_r) и тангенциальной (B_t) составляющих индукции внешнего магнитного поля.

В качестве входных факторов задачи рассматриваются: X_1 – величина статического эксцентриситета ε [мм]; X_2 – угловое положение эксцентриситета φ [град]. Функциями отклика Y выступают значения магнитной индукции (например, B_r) в контрольных точках вокруг статора. Требуется по измеренным значениям Y решить обратную задачу – найти параметры (ε , φ).

Для получения математической модели связи «параметры дефекта – отклик» используется центральный композиционный план второго порядка. Для двух факторов ЦКП включает: ядро – полный факторный эксперимент 2^2 (4 опыта); «звездные» точки с плечом $\alpha = \sqrt{2}$ (4 опыта); опыты в центре плана n_0 (3-5 опытов) [4].

В таблице 1 представлена матрица ЦКП для двух факторов с тремя опытами в центре и результаты расчета отклика B_r для точки, расположенной сверху машины. Данные получены путем численного моделирования в среде Ansys Electronics. Диапазон варьирования факторов: ε от -0.2 до +0.2 мм; φ от 0 до 180° (с учетом симметрии). Опыты №9-11 соответствуют соосному положению ротора.

Таблица 1. Матрица ЦКП и результаты расчета отклика B_r

№ опыта	X_1 (ε)	X_2 (φ)	B_r , Тл
1	-1	-1	0.1550
2	+1	-1	0.2470
3	-1	+1	-0.2460
4	+1	+1	-0.1560

№ опыта	X_1 (ε)	X_2 (φ)	B_r , Тл
5	-1.414	0	0.1510
6	+1.414	0	0.2050
7	0	-1.414	0.1635
8	0	+1.414	-0.1635
9	0	0	0.1630
10	0	0	0.1630
11	0	0	0.1630

Методом наименьших квадратов получена полиномиальная модель второго порядка (в кодированных переменных):

$$Y(B_r) = 0.1633 + 0.0418 \cdot X_1 - 0.2463 \cdot X_2 + 0.0115 \cdot X_1 X_2 + 0.0212 \cdot X_1^2 + 0.0083 \cdot X_2^2 \quad (1)$$

Дисперсионный анализ подтвердил адекватность модели: расчетное значение F-критерия неадекватности (2.00) меньше табличного (9.28), что свидетельствует о хорошем соответствии модели экспериментальным данным.

Диагностика представляет собой обратную задачу: по измеренным значениям поля требуется найти параметры (ε, φ). Используя модели для нескольких точек установки датчиков, получаем систему нелинейных уравнений. Для ее решения применяется метод Ньютона-Рафсона (в форме Гаусса-Ньютона для переопределенных систем).

Алгоритм включает следующие шаги:

1. Задание начального приближения (ε^0 , φ^0).
2. Расчет невязок $r = Y_{\text{изм}} - Y_{\text{модель}}(\varepsilon, \varphi)$.
3. Формирование матрицы Якоби J (размером $m \times 2$), содержащей частные производные моделей по ε и φ.
4. Решение системы линейных уравнений относительно поправок:
 $\Delta = (J^T J)^{-1} J^T r$.
5. Обновление параметров: $(\varepsilon, \varphi)^{k+1} = (\varepsilon, \varphi)^k + \Delta$.
6. Повторение шагов 2-5 до достижения сходимости.

Рассмотрим численный пример. Пусть в результате измерений получены значения: для верхнего датчика $B_{r\_верх} = 0.2000$ Тл, для нижнего датчика $B_{r\_низ} = -0.1000$ Тл. Модель для нижнего датчика строится аналогично (1).

Решая систему двух уравнений методом Ньютона с начальным приближением $\varepsilon = 0$ мм, $\varphi = 90^\circ$, после 3-4 итераций получаем сходимость к решению: $\varepsilon^* = 0.15$ мм, $\varphi^* = 16^\circ$. Это означает, что ротор смещен вверх на 0.15 мм. Полученный результат совпадает с исходными данными, заложенными в модельный эксперимент, что подтверждает работоспособность предложенного подхода.

В данной статье предложена методика количественной диагностики статического эксцентриситета ротора турбогенератора, основанная на анализе внешнего магнитного поля. Применение методов планирования эксперимента позволяет с минимальными вычислительными затратами построить адекватные нелинейные модели, связывающие параметры дефекта с сигналами датчиков внешнего магнитного поля. Решение обратной задачи методом Ньютона-Рафсона обеспечивает высокую скорость сходимости и возможность количественной оценки величины и угла эксцентриситета с использованием избыточных измерений.

Разработанный подход создает основу для создания автоматизированных систем бесконтактного мониторинга состояния турбогенераторов. Внедрение таких систем позволит повысить надежность энергоснабжения объектов, критически важных для деятельности пожарно-спасательных подразделений, и снизить риски возникновения аварийных ситуаций на энергообъектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глебов И.А., Данилевич Я.Б. Диагностика турбогенераторов. – Л.: Наука, 1989.
2. Волохов С.А., Добродеев П.Н. Проявление статического эксцентриситета ротора во внешнем магнитном поле электрических машин // Электротехника. – 2002. – №11.
3. Хайруллин И.Х., Пашали Д.Ю. Диагностика электромеханических преобразователей по внешнему магнитному полю // Вестник УГАТУ. – 2006. – №1(14).
4. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976.
5. Казаков Ю.Б., Андреев В.А., Сухинин В.П. Энергоэффективность асинхронных двигателей при вариациях режимных и конструктивных параметров / Под общ. ред. Ю.Б. Казакова / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2011.
6. Казаков Ю.Б., Щелыкалов Ю.Я. Конечно-элементное моделирование физических полей в электрических машинах / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2001.

УДК 614.846

А.П. Губанов, А.Г. Бубнов, А.Д. Семенов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПРОЦЕСС ЗАПОЛНЕНИЯ ПЕНОБАКОВ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ: АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ПРОБЛЕМ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация: В статье проведён анализ проблем, связанных с процессом заполнения пенобаков на пожарных автомобилях. Отмечается, что современные методы зачастую приводят к неэффективному использованию пенообразователя из-за его нежелательного вспенивания на этапе заполнения, что снижает общий объём и время восстановления боеготовности пожарного расчёта. Предлагаются пути решения, основанные на модернизации оборудования,

применении новых технологий дозирования и контроля, а также разработке регламентированных процедур заполнения. Статья направлена на повышение эффективности тушения пожаров путём рационализации одного из ключевых этапов подготовки пожарного автомобиля.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, пенобак, пенообразователь, вспенивание, заполнение.

A.P. Gubanov, A.G. Bubnov, A.D. Semenov

FILLING PROCESS OF FOAM TANKS OF FIRE TRUCKS: ANALYSIS OF EXISTING PROBLEMS AND PROSPECTS OF INTRODUCING NEW TECHNOLOGIES

Abstract: The article analyzes the problems associated with the process of filling foam tanks on fire trucks. It notes that current methods often lead to inefficient use of foam due to its undesirable foaming during the filling process, which reduces the overall volume and time required to restore the fire department's combat readiness. The article proposes solutions based on the modernization of equipment, the use of new dosing and control technologies, and the development of standardized filling procedures. The article aims to improve the efficiency of firefighting operations by streamlining one of the key stages of preparing a fire truck.

Keywords: fire truck, foam tank, foam generator, foaming, filling.

Пожарные автомобили [1], оснащённые системами хранения и подачи пены, играют критически важную роль в борьбе с огнём, особенно при тушении пожаров классов А и В. Эффективность применения пены напрямую зависит от количества и качества пенообразователя, находящегося в баках пожарного автомобиля. Однако, как показывает практика, процесс подготовки пенобаков к работе сопряжен с рядом трудностей, одной из которых является неконтролируемое вспенивание пенообразователя при его закачивании в резервуар [2–4]. Это явление приводит к снижению фактического объёма залитого пенообразователя, уменьшению продолжительности его использования при пожаре и, как следствие, снижению боеспособности подразделения.

Несмотря на постоянное совершенствование пожарной техники и средств пожаротушения, методики и оборудование для заполнения пенобаков зачастую остаются устаревшими, не учитывая современных требований к точности, скорости и контролю процесса. Данная статья посвящена комплексному анализу проблемы вспенивания пенообразователя при заполнении пенобаков и поиску путей ее решения.

Пенообразователи – это поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые при смешивании с водой и воздухом образуют устойчивую пену [5]. Свойства пенообразователя, такие как вязкость, поверхностное натяжение, химический состав, напрямую влияют на его склонность к вспениванию. Многие современные пенообразователи, особенно синтетические и фторсодержащие, обладают высокой поверхностной активностью, что при интенсивном перемешивании или воздействии воздуха может приводить к образованию пены уже на этапе заливания в бак [5, 6].

В настоящее время на большинстве пожарных автомобилей применяют несколько различных подходов к заполнению пенобаков пожарных автомобилей. Наиболее часто применяемый способ заключается в использовании промежуточной

емкости для перелива жидкости из первичной емкости (как правило, емкости объемом 1 м³). Данный способ является преимущественным ввиду отсутствия дополнительных денежных затрат, но процесс занимает большое количество времени. Происходит это ввиду того, что при переливе жидкость находясь в свободном падении соударяется со стенками емкости и вследствие чего начинается процесс пенообразования [2–4, 7].

В качестве более эффективной альтернативы рассматривался метод, основанный на применении специализированного насосного оборудования. Данный подход потенциально позволяет ускорить процесс заполнения и снизить трудозатраты [2–4, 7].

Наименее распространённым методом является самотечное заполнение пенобаков ПА с использованием стационарных трубопроводных систем. Данная технология обеспечивает полное заполнение резервуара без привлечения дополнительного персонала или оборудования. Однако, реализация этого метода требует существенных вложений, связанных с реконструкцией гаражных помещений ПСЧ или строительством специализированных заправочных модулей высотой не менее 4 м. Значительные финансовые затраты и потребность в дополнительной площади ограничивают применение этого способа [2–4, 7].

Для решения проблемы вспенивания пенообразователя и ускорении процесса заполнения пенобаков предлагается рассмотреть следующие направления:

1. Авторами [8] предлагается модернизировать пенобак дополнив ёмкость специальными патрубками для заполнения жидкостью различными способами. Первый способ будет подразумевать заполнение «подслойным» способом, с целью исключения турбулентности жидкость и соответственно исключение пенообразования. Второй способ заключается в монтировании дополнительного насадка [9] в пенобак позволяющий заполнять ёмкость через горло пенобака исключая соударения жидкости со стенками пенобака тем самым исключая пенообразование. Данный способ эффективно себя показал в других промышленных областях связанных с наливом пенообразующих жидкостей.

2. Авторами [2–4, 7] предлагается модификация водопенных систем пожарного автомобиля, а именно добавление системы клапанов и проведение дополнительного трубопровода к стационарному шиберному насосу. Данный способ позволит существенно сократить время заполнения пенобака пожарного автомобиля. Аналогичный способ применяется на зарубежных пожарных автомобилях [10]. Главным недостатком зарубежной системы заполнения является то, что присутствует прямой контакт жидкости с шиберным насосом, а следовательно, после каждого заполнения необходимо будет тщательно промывать всю систему заполнения ввиду того, что пожарный пенообразователь – кислота, которая быстро кристаллизуется и выводит из строя все механизмы, где используется пенообразователь.

В последующем предлагается рассмотреть возможность создания системы заполнения пенобака пожарного автомобиля через использование:

- 1) насосов с переменной частотой вращения (VFD) и современных электронных расходомеров, которые позволят точно контролировать скорость подачи пенообразователя, устанавливая оптимальные, минимально вспенивающие режимы;
- 2) специализированных насадок, закрепляющихся на конец заправочного рукава, которые рассекают поток пенообразователя, уменьшая его кинетическую энергию и предотвращая образование пены.

Для подтверждения эффективности предложенных решений необходимо проведение серии экспериментальных исследований. Эти исследования должны включать:

- измерение фактического объема залитого пенообразователя при различных скоростях подачи и с использованием различных типов входных устройств;
- сравнение времени оседания пены при использовании существующих и модернизированных систем;
- оценку точности измерения уровня пенообразователя после заполнения;
- полевые испытания на пожарных автомобилях в условиях, приближённых к реальным.

Таким образом, проблема вспенивания пенообразователя остается актуальной для пожарных автомобилей. Последствия неконтролируемого вспенивания могут быть различными, в основном это:

- уменьшение времени боеготовности, поскольку объем жидкого пенообразователя сокращается, время, в течение которого пожарный автомобиль может эффективно использовать пену, также уменьшается;
- образовавшаяся пена занимает значительный объем, в результате чего в бак помещается меньше жидкого пенообразователя, чем предполагалось (это может привести к нехватке пенообразователя во время пожара);
- невозможность полной заливки так как в некоторых случаях пена может полностью заполнить входное отверстие, блокируя дальнейшую подачу, что делает процесс заливки крайне медленным или вовсе невозможным до полного оседания пены.

Существующие методы заполнения либо неэффективны, либо дорогостоящи. Предложенные подходы изменения пенобаков и водопенных систем имеют потенциал для рационализации процесса, повышения его скорости и снижения потерь пенообразователя, что напрямую влияет на эффективность тушения пожаров. Дальнейшее исследование и внедрение данных решений может значительно улучшить техническую оснащенность пожарных подразделений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 53247-2009 Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения;
2. Губанов, А. П. Анализ конструктивных особенностей и способов заполнения пенобака пожарного автомобиля / А. П. Губанов, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов, И. В. Сараев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2025. – № 2(55). – С. 40-47. – EDN MFBOBP.
3. Губанов, А. П. Возможное решение проблемы пенообразования при заполнении резервуаров с пенообразователем / А. П. Губанов, А. Г. Бубнов, А. О. Борисов // Современные проблемы обеспечения безопасности: Сборник материалов XXVII Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 24–25 апреля 2025 года. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2025. – С. 192-197. – EDN GSBXVM.
4. Губанов, А. П. Актуальные проблемы устройства пожарных автомобилей, влияющие на восстановление боеготовности подразделения пожарной охраны / А. П.

Губанов, А. Д. Семенов, А. Н. Бочкарев, Д. С. Катин // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 56-60. – EDN NFLHCE.

5. Семенов, А. Д. Заполнение пенообразователем резервуаров мобильной техники / А. Д. Семенов, А. Г. Бубнов, И. В. Сараев, А. О. Семенов // Российский химический журнал. – 2025. – Т. 69, № 2. – С. 120-128. – DOI 10.6060/rcj.2025692.14. – EDN ZDL DYK.

6. ГОСТ Р 50588-2012 Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний.

7. Губанов, А. П. Анализ существующих методов заполнения пенобака пожарного автомобиля / А. П. Губанов, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов // Пожарная и аварийная безопасность : Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России, Иваново, 21 ноября 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 340-345. – EDN YGHONQ.

8. Патент на полезную модель № 233850 U1 Российская Федерация, МПК А62С 27/00. Емкость для транспортировки и хранения пенообразователя пожарного автомобиля : заявл. 09.01.2025 : опубл. 07.05.2025 / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, А. С. Федоринов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий". – EDN ZHMCYA.

9. Патент на полезную модель № 192239 U1 Российская Федерация, МПК В67D 1/08. Насадка на кран для розлива газированной и/или пенящейся жидкости : № 2019106559 : заявл. 07.03.2019: опубл. 09.09.2019 / И. Ф. Провоторов; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Хмельник".

10. Installation Andoperation Manual. FoamPro. Systems 3012. USA. 56 p. URL: www.foampro.com (дата обращения: 21.02.2025).

УДК 614.847.7

С.П. Данилов

ООО Крайтекс- Ресурс

Е.Ю. Бобраков, А.В. Топоров

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА ФРИКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ САМОСПАСЕНИЯ

Аннотация: В статье рассматривается принцип работы фрикционного устройства для самоспасения. Замедление спуска осуществляется за счет трения веревки о специальные штифты. Проводится расчёт его основных параметров на основе формулы Эйлера для трения, а также даются практические рекомендации по конструкции и применению.

Ключевые слова: самоспасение, устройство, трение, формула Эйлера

S.P. Danilov, E.U. Bobrakov, A.V. Toporov

DEVELOPMENT OF A FRICTIONAL DEVICE FOR SELF-RESCUE

Abstracts: The article discusses the principle of operation of a friction device for self-rescue. The descent is slowed down by the friction of the rope against special pins. The main parameters of the device are calculated using Euler's formula for friction, and practical recommendations for its design and use are provided.

Keywords: self-rescue, device, friction, Euler's formula

В условиях чрезвычайных ситуаций, связанных с необходимостью эвакуации с высоты или из труднодоступных мест, особую важность приобретают простые, надёжные и автономные средства самоспасения [1]. В основе таких устройств лежит использование тормоза с центробежным регулятором. Этот способ достаточно эффективен, но приспособление получается достаточно дорогостоящим. Простейшим из наиболее эффективных и доступных решений является устройство, основанное на многократном перегибе верёвки через систему штифтов. Это позволяет обеспечить контролируемый и безопасный спуск даже для неподготовленного человека, минимизируя риск травм и не требуя сложных навыков обращения со специализированным снаряжением.

В основе работы устройства лежит фундаментальный физический принцип — трение. Когда верёвка огибает штифт, между её поверхностью и материалом штифта возникает сила трения, направленная против движения. Эта сила преобразует кинетическую энергию спускающегося человека в тепловую энергию, рассеиваемую в окружающую среду, и тем самым замедляет падение.

Ключевая особенность рассматриваемого устройства заключается в многократном создании таких точек перегиба. Вместо одного сильного изгиба (как в классических спусковых устройствах типа «восьмёрка» или «стакан»), здесь используется ряд штифтов, расположенных таким образом, чтобы верёвка проходила через них зигзагообразно. Каждый последующий штифт добавляет свою долю трения, что позволяет достичь очень высокого общего тормозящего эффекта при относительно

небольших усилиях на управляющем конце верёвки. Эта идея не нова и применяется в спусковых устройствах для промышленного альпинизма типа «решетка» [2].

Предлагаемое устройство представляет собой жёсткую основу (пластину или раму), на которой под определённым углом закреплены штифты — цилиндрические стержни из металла или высокопрочного пластика. Верёвка заправляется в устройство таким образом, чтобы она последовательно огибала каждый штифт, меняя направление движения на значительный угол (рисунок).

При натяжении свободный конец верёвки (который удерживает спасающийся) испытывает значительно меньшую нагрузку, чем вес самого человека. Основная часть веса гасится за счёт трения на перегибах. Чем больше штифтов и чем больше угол охвата каждого из них, тем выше тормозящий эффект и тем легче контролировать скорость спуска.

Для проектирования безопасного устройства необходимо определить количество штифтов и угол их охвата. Это позволит гарантировать, что скорость спуска не превысит допустимых для человека значений (обычно 1–2 м/с), а нагрузка на руки спасающегося останется в безопасных пределах.

Основным инструментом для расчёта является формула Эйлера, которая описывает соотношение сил натяжения на входе и выходе из зоны контакта гибкой нити (верёвки) с цилиндром (штифтом).

Данная формула показывает экспоненциальную зависимость между силами натяжения и углом охвата. Даже небольшое увеличение угла или коэффициента трения приводит к значительному росту тормозящего эффекта.

Если верёвка последовательно огибает n одинаковых штифтов с углом охвата α на каждом, общий эффект трения суммируется:

$$T_1 = T_2 \cdot e^{n\mu\alpha}$$

где:

T_1 - сила натяжения на входе в зону контакта (со стороны груза, то есть веса человека).

T_2 - сила натяжения на выходе из зоны контакта (со стороны руки спасающегося).

μ - коэффициент трения между верёвкой и материалом штифта (безразмерная величина).

α - угол охвата штифта верёвкой, выраженный в радианах.

Для обеспечения безопасности необходимо, чтобы сила натяжения на выходе T_2 , которую должен развивать человек для удержания себя и управления спуском, не превышала определённого порога. Если T_2 будет слишком велика (сравнима с весом тела), человек не сможет удерживать верёвку и произойдёт неконтролируемое падение.

Качественно оценим количество штифтов, необходимое для нормальной работы устройства. Примем следующие усреднённые значения для расчёта:

масса человека - 80 кг;

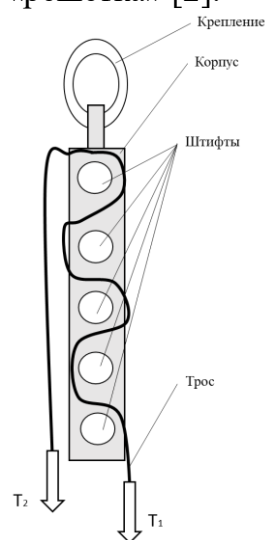


Рисунок. Изображение расчетной области

коэффициент трения μ для синтетической динамической или статической верёвки по полированной нержавеющей стали коэффициент трения 0,3;

угол охвата $\alpha = 60^\circ$ на каждом штифте;

допустимая сила натяжения $T_2 = 200\text{Н}$.

Значение силы натяжения T_2 выбрано исходя из того, что спуск должен быть комфортным и безопасным для человека без специальной подготовки. Это позволит легко контролировать скорость одной рукой [3, 4].

Выразим необходимое число штифтов:

$$n = \frac{\ln \frac{T_2}{T_1}}{\mu \alpha}$$

Подставив значения в формулу получим 4,35. Так как количество штифтов должно быть целым и необходимо обеспечить запас прочности (реальный коэффициент трения может быть чуть ниже расчетного из-за износа или влаги), округляем полученное значение в большую сторону. Поэтому, минимальное необходимое количество штифтов должно быть 5.

Изделие должно быть изготовлено из лёгкого сплава (например, дюралюминия) или ударопрочного композита. Штифты изготавливаются из нержавеющей стали диаметром 8–12 мм. Крайне важно избегать острых граней и заусенцев на штифтах, так как они могут повредить оплётку верёвки под нагрузкой. Штифты должны быть расположены зигзагом так, чтобы угол между входящей и выходящей ветвью верёвки составлял ровно 60° . Расстояние между центрами штифтов должно быть достаточным для свободного прохождения верёвки без перехлёстов. Для работы устройства подходит любая сертифицированная статическая или динамическая верёвка диаметром 9–11 мм.

Возможный способ применения устройства заключается в следующем. Надежно закрепить свободный конец верёвки к своей страховочной системе. Удерживать свободный конец верёвки ниже последнего штифта. Контролировать скорость спуска изменением силы хвата: ослабление хвата уменьшает трение и ускоряет спуск, усиление-замедляет. Использовать перчатки для защиты рук от ожога при трении.

Таким образом, устройство для самоспасания на основе многократного перегиба верёвки через штифты может быть принципиально применимо. Основной проблемой, связанной с его использованием, является необходимость контроля натяжения свободного конца веревки, что требует определенных навыков, а при применении устройства ребенком практически невозможно. Устранение данного недостатка обозначает дальнейший путь работы над данным устройством.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Критерии, влияющие на время и вероятность обеспечения безопасности работников посредством средств спасения / Д. А. Бесперстов, А. И. Фомин, В. В. Соболев [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 9. – С. 78-84.

2. Гусейнова Э. М., Неверов Е. Н., Горелкина А. К. К вопросу усовершенствования охраны труда в промышленном альпинизме //Редакционная коллегия. – 2024. – С. 79.

3. Перспективы применения элементов трения, изготавливаемых с использованием технологии 3D печати / А. В. Топоров, В. П. Зарубин, В. В. Киселев, Е. А. Топорова // Пожарная и аварийная безопасность. – 2024. – № 2(33). – С. 77-85.

4. Максимова, Е. М. Силовой расчет страховочных станций, применяемых при проведении работ на высоте / Е. М. Максимова, М. О. Фадеев, Е. А. Топорова // Пожарная и аварийная безопасность : Сборник материалов XX Международной научно-практической конференции, посвящённой 35-й годовщине со дня образования МЧС России, Иваново, 13–14 ноября 2025 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. – С. 483-487.

УДК 621.8

А.В. Зайцев, И.А. Легкова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ВЫБОРУ СПЕЦИАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ РЕМОНТА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: В статье приведен обзор устройств, предназначенных для проведения ремонта автомобилей, в том числе пожарной техники; выявлены преимущества и недостатки устройств для демонтажа деталей, требующих ремонта; обоснован выбор конструкции механического съемника.

Ключевые слова: пожарный автомобиль, ремонт, съемник, демонтаж деталей, захват.

A.V. Zaitsev, I.A. Legkova

OFFERS FOR SELECTING SPECIAL EQUIPMENT FOR FIRE TRUCKS REPAIR

Abstract: The article provides an overview of devices designed for repairing cars, including fire equipment; it identifies the advantages and disadvantages of devices for dismantling parts; and it justifies the choice of a mechanical puller design.

Keywords: fire truck, repair, puller, dismantling of parts, grip.

В подразделениях пожарной охраны эксплуатируются тысячи единиц техники, при этом значительная часть парка имеет высокий уровень износа и требует качественного технического обслуживания и ремонта. Обеспечение постоянной готовности мобильных средств пожаротушения является важной задачей, так как неисправность пожарного автомобиля или отказ любого из его узлов ставит под угрозу успешное выполнение основной задачи – тушения пожара [1, 2].

При проведении технического обслуживания или ремонта пожарных автомобилей необходимо наличие специального оборудования [3]. Например, для обеспечения доступа к узлам и агрегатам, расположенным под автомобилем, используют различные подъемные устройства [4, 5].

Для демонтажа деталей прессового соединения (подшипников, шестерен, различных втулок и т.п.), требующих замены, используют различные съемники. Зачастую при выполнении простых видов работ по ремонту автомобиля съемник может показаться лишним инструментом, но есть ситуации, когда его использование является единственно безопасным и технически правильным способом демонтажа детали. В этих случаях съемник не просто облегчает работу, он предотвращает повреждения деталей, экономит время и снижает риск повторного ремонта.

В настоящее время существует большое количество съемников, которые различаются по конструкции, назначению и принципу работы. Рассмотрим наиболее универсальные из них, которые используются в большинстве операций по демонтажу различных деталей. Основные разновидности съемников могут быть механические и гидравлические.

Гидравлические съемники состоят из цилиндра, насоса и захватов; бывают двух- и трёхзахватные модели (рис. 1). Они используют гидравлическое давление для создания значительного усилия, поэтому подходят для демонтажа крупных прессованных деталей и сильно изношенных подшипников. Таким образом, достоинством гидравлических съемников является высокое усилие при плавном и контролируемом процессе съема. Это минимизирует риск повреждения деталей и позволяет с большей скоростью выполнять требуемые операции.



Рис. 1. Гидравлический съемник

Однако конструкция гидравлических съемников достаточно громоздкая и сложная; требует регулярного обслуживания (необходимо проверять состояние гидравлической системы, насоса и уплотнений). Также они отличаются высокой стоимостью по сравнению с механическими моделями.

Рычажные съемники используют достаточно редко. Силу тяги данные съемники образуют за счет отношения плеч рычага, который является одним из основных элементов конструкции. Достоинством рычажных съемников является простота конструкции и относительно низкая стоимость. Но при этом данные устройства не способны создавать больших тяговых усилий, а их конструктивные особенности приводят к возникновению боковых сил, способствующих перекашиванию снимаемой детали. По данным причинам рычажные съемники имеют ограниченную область применения.

Применяют также съемники сепараторного типа (также известные как сегментные). В состав сепараторного съемника входит: сепаратор (сегменты с заостренными кромками), который подводится под снимаемую деталь; перекладина для опоры силового винта; прижимной винт, создающий усилие; болты для стягивания сегментов при захвате детали (рис. 2). Их основное преимущество – возможность работать там, где съёмники с лапами неприменимы (например, при ограниченном доступе или тонкостенных деталях). Но такой съемник имеет ограниченный диапазон диаметров для одного типоразмера.



Рис. 2. Сегментный съемник

Наиболее распространенными являются винтовые механические съемники. Для создания усилия, необходимого для снятия деталей, у них используется принцип винтовой передачи. Они состоят из захватов (лап), которые крепятся к силовому винту; при вращении винта захваты расходятся и выпрессовывают деталь (рис. 3).

Съемники данного вида обладают большим разнообразием конструктивных исполнений [6, 7]. Они могут быть двух- или трёхлапые. Чаще используют съемники с тремя захватами (лапами), расположенными симметрично под углом 120° , что обеспечивает равномерное распределение усилия и снижает риск соскальзывания.



Рис. 3. Винтовые съемники

Крепление лап съемника может быть европейского типа, когда лапы имеют шарнирное соединение, что позволяет регулировать угол захвата и работать в труднодоступных местах; и американского типа, когда лапы крепятся к траверсе фиксаторами, считается более прочным и надежным вариантом.

Перекладина, к которой крепятся захваты, имеет возможность перемещения по винту, что позволяет производить демонтаж деталей различных габаритов. Также форма захватов на съемнике, представленном на рис. 3 справа, имеет двухсторонний профиль и позволяет снимать как наружные, так и внутренние детали. При этом сами

захваты быть различных размеров, некоторые модели комплектуются удлинненными захватами для работы в труднодоступных местах, что в свою очередь делает винтовой механический съемник достаточно универсальным изделием.

Также к достоинствам этого вида съемников можно отнести простоту конструкции и эксплуатации. Механические съемники имеют несложное устройство (захваты/лапы, силовой винт, траверса), поэтому их легко использовать даже без специальной подготовки. Эти съемники обычно легче и компактнее гидравлических аналогов, их удобно хранить и перевозить. Они не требуют подключения к источникам энергии (электричество, гидравлика), что позволяет применять их в любых условиях, в том числе в полевых. И по сравнению с гидравлическими аналогами механические модели значительно дешевле.

Недостатком винтовых механических съемников является относительно небольшое создаваемое усилие. Однако перечисленные выше достоинства делают данный винтовой съемник оптимальным вариантом для использования при ремонте ходовой части пожарных автомобилей среднего класса.

Также при работе с винтовым съемником при неправильной его установке или соскальзывания захватов возникает риск повреждения деталей. При работе с данным съемником необходима точная центровка винта, он должен точно упираться в ось вала, иначе возникает перекося. При этом при установке устройства на снимаемую деталь требуется дополнительное внимание для равномерного распределения и фиксации за деталь зацепов съемника, так как до момента создания осевого усилия они свободно перемещаются на осях.

Но чем хорош данный вид съемников, при необходимости конструкцию можно доработать. Например, установить фиксаторы захватов на съемнике (рис. 4). При этом захваты не просто сопротивляются раскрытию, и как следствие соскальзыванию со снимаемой детали, но и могут поджиматься к ней с усилием. Однако данное решение усложняет и удорожает конструкцию съемника.



Рис. 4. Механический съемник с фиксатором захватов

Более оптимальный вариант фиксации захватов съемника был предложен авторами в статье [8], где предлагается вмонтировать в лапки захватов неодимовые магниты для удержания съемника на снимаемой детали в момент установки.

В каждом конкретном случае следует использовать устройства, обеспечивающие наиболее эффективное проведение работ. Как показали результаты анализа оборудования для демонтажа деталей, у механического винтового съемника есть возможность доработки, и при необходимости конструкцию можно адаптировать под специфические задачи. Таким образом, для демонтажа деталей при ремонте пожарных автомобилей оптимальным решением будет использование механического винтового съемника, который позволит повысить эффективность проведения ремонтных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожарная техника: Учебник. / под ред. М.Д. Безбородько. М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. 550 с.
2. Приказ МЧС России №737 от 01.10.2020 г. «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».
3. Жмацкий П.А. Диагностика и быстрый ремонт неисправностей автомобиля. // Юрайт, 2013. 206 с.
4. Легкова И.А., Зарубин В.П. К вопросу повышения эффективности проведения технического обслуживания пожарных автомобилей // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2023 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2023. С. 107-112.
5. Легкова И.А., Зарубин В.П., Иванов В.Е., Покровский А.А. Повышение эффективности эксплуатации пожарной техники за счет создания необходимых условий для ее ремонта и технического обслуживания // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2(51). С. 47-55.
6. <https://inner.su/articles/demontazh-podshipnikov-bez-povrezhdeniya-vala-semniki-metody-instrumenty/>
7. Покровский А.А., Зарубин В.П., Пучков П.В. Разработка конструкции устройства для проведения технического обслуживания шасси пожарных автомобилей среднего класса // Современные проблемы гражданской защиты. 2021. № 4(41). С. 103-110.
8. Легкова И.А., Зарубин В.П., Лашкин М.Д. Предложения по модернизации механического съемника // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2025. С. 252-255.

УДК 62-1/-9

А.А. Каприльянц, И.И. Ведерникова

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА В САД СИСТЕМЕ КОМПАС–3Д

Аннотация: В данной статье приведены материалы, посвящённые современному методу проектирования зуборезного инструмента.

Ключевые слова: проектирование, автоматизация, червячная фреза, долбяк, модель.

A.A. Kaprilyans, I.I. Vedernikova

AUTOMATED DESIGN OF GEAR – CUTTING TOOLS IN THE KOMPAS–3D CAD SYSTEM

Abstract: This article presents materials devoted to a modern method of designing gear-cutting tools.

Keywords: design, automation, worm cutter, chisel, model.

Проектирование и оформление конструкторской документации металлорежущего инструмента со сложным геометрическим профилем сопряжено с выполнением большого объема довольно трудоемкой вычислительной работы. В связи с этим актуальной является автоматизация данного процесса с использованием современных CAD-систем.

К особенностям проектирования червячных фрез в КОМПАС–3Д относится:

1) Средствами системы могут быть спроектированы любые нестандартные червячные фрезы (например, для изготовления цилиндрических колес с эвольвентным профилем могут быть спроектированы фрезы с нестандартным модулем, с различными углами зацепления и т. д.);

2) Расчет фрезы напрямую связан с расчетом передачи или шлицевого соединения. Параметры передачи или соединения являются исходными данными для расчета фрезы. Если расчет выполнен, его результаты следует загрузить. Если расчет передачи или шлицевого соединения еще не выполнялся, то его можно запустить из окна ввода исходных данных параметров фрезы;

3) Если для изготовления зубчатых колес или шлицев выбран стандартный инструмент, то поля ввода параметров фрезы заполняются стандартными значениями и недоступны для редактирования. Если на основе стандартной фрезы необходимо спроектировать нестандартную, например, другой длины, то в качестве инструмента для изготовления зубчатых колес или шлицев следует выбрать нестандартную фрезу, при этом ввести параметры, соответствующие стандартной фрезе. Фреза со стандартными параметрами будет считаться нестандартной, и некоторые ее параметры будут доступны для редактирования.

Для демонстрации работы данного прикладного модуля была поставлена задача спроектировать зубообрабатывающий инструмент для обработки зубьев вал – шестерни Ц2-028 (червячная фреза) и сопрягаемого с ним зубчатого колеса Ц2-019 (долбяк зуборезный).

Проектирование инструментов основным образом базируется на ранее проведенном расчете зубчатой передачи. Используя библиотеку «валы и механические передачи 2D», был запущен модуль проектирования зуборезного инструмента (червячной фрезы), в котором был выбран объект построения вал – шестерня, после чего были автоматически подгружены данные проведенных расчетов, касающиеся вала – шестерни. Затем был запущен расчет червячной фрезы (см. рис. 1). Результаты расчета были представлены в виде чертежа, в котором затем были построены элементы отверстия под оправку и сгенерирована твердотельная 3Д модель (см. рис. 2).

После того как был спроектирована червячная фреза для вала – шестерни, по той же самой последовательности был спроектирован долбяк с хвостовым типом крепления (см. рис.3).

На рис. 1 представлено диалоговое окно по проектированию червячной фрезы.

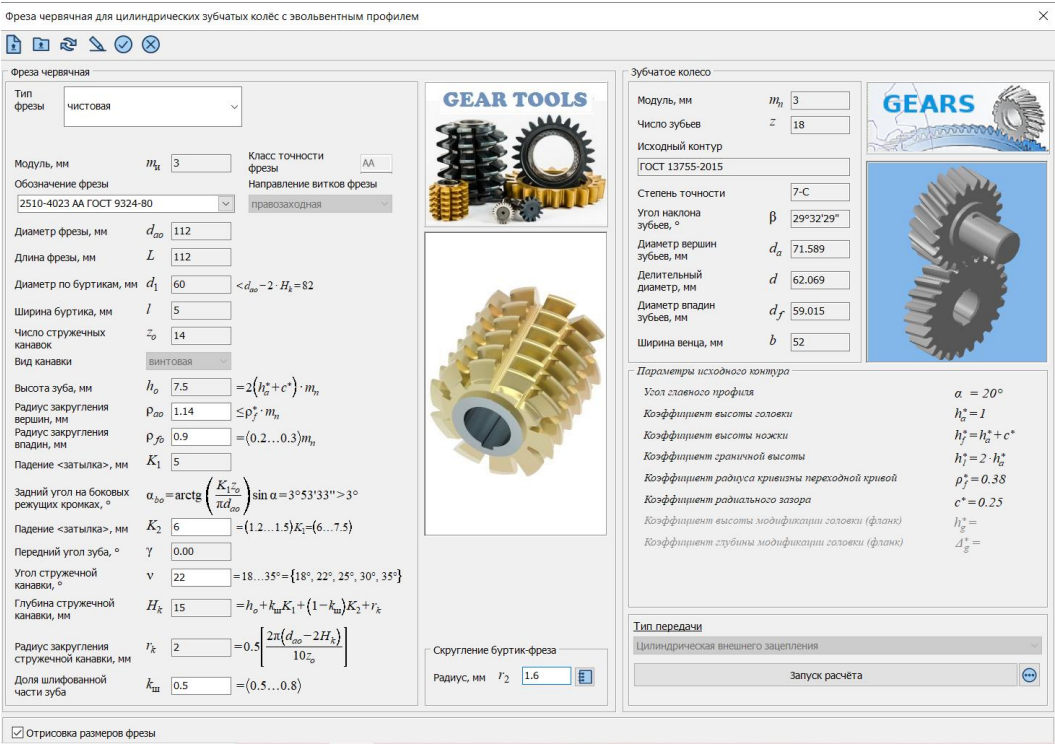


Рис. 1. Диалоговое окно

На рис. 2 представлена модель червячной фрезы.

На рис. 3 представлена модель долбяка с хвостовым типом крепления.

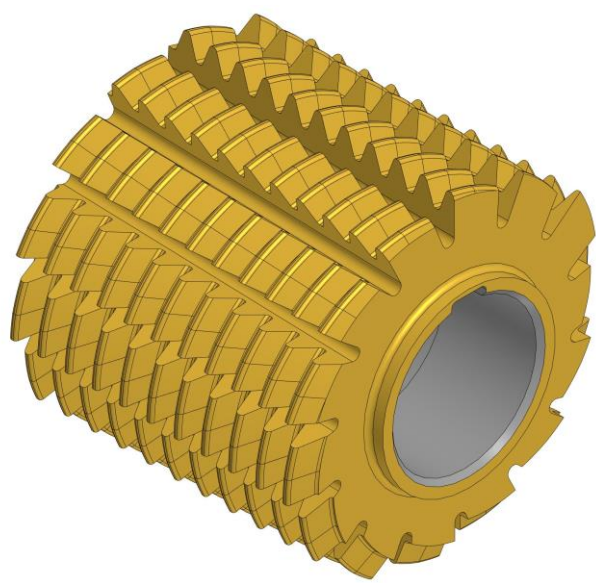


Рис. 2. Модель червячной фрезы

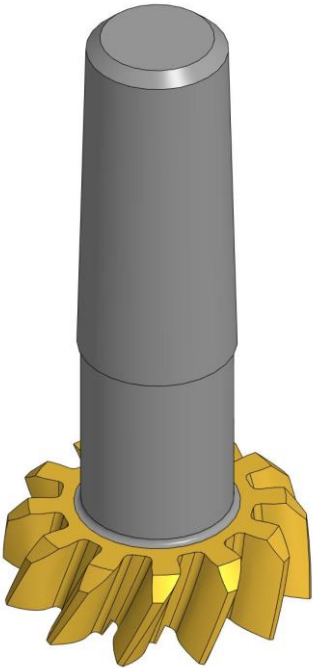


Рис. 3. Модель долбяка с хвостовым типом крепления

В заключении стоит отметить то, что применение САПР в проектировании металлорежущего инструмента значительно снижает затраты времени, связанные с расчетами и созданием конструкторской документации по сравнению с ручным проектированием.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://kompas.ru/company/news/items/?news=2981>
2. https://ascon.ru/source/articles/sig_12.2011_mgu.pdf

УДК 621.9-115

А.А. Каприльянц, Н.Л. Павлюкова

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МАШИНЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПЛАСТИКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Аннотация: В статье сформулированы преимущества деталей из пластмасс, полученных литьем, перед деталями напечатанными на 3D-принтере. Предложена конструкция машины для литья пластмасс, разработана ее трехмерная модель.

Ключевые слова: трехмерная модель, литье пластика, литье под давлением, термопластавтомат, шприц-пресс, 3D-печать.

A.A. Kapreliants, N.L. Pavlyukova

DEVELOPMENT OF A PLASTIC MOLDING MACHINE UNDER PRESSURE

Abstracts: The article formulated the advantages of plastic parts obtained by injection over parts printed on a 3D printer. The design of a plastic molding machine is proposed, its three-dimensional model is developed.

Keywords: three-dimensional model, plastic casting, injection molding, thermoplastic injection molding machine, injection press, 3D printing.

Несмотря на стремительное внедрение в производство 3D-печати пластиками, рынок термопластавтоматов (ТПА) непрерывно развивается и адаптируется под новые потребности заказчиков [2]. В настоящее время литье пластика получает широкое применение при изготовлении изделий для пищевой, автомобильной промышленности, производстве спортивного инвентаря, электротехники, медицинских и бытовых изделий. Технология позволяет производить детали сложной формы из ПВХ, полистирола, резины EPDM (этилен-пропиленового каучука), полимерных компаундов последнего поколения (современных материалов, для которых характерны повышенная износостойкость, легкость, химическая стойкость, стойкость к ультрафиолетовому излучению, сниженная токсичность и другие свойства). Кроме этого, пластмассы для литья делятся на термореактивные (не могут быть вторично переплавлены, так как

необратимо меняются после застывания) и термопластичные (их можно переработать повторно). Материал используется чаще всего в гранулированном виде. Так его проще транспортировать, легче рассчитать дозировку.

Среди основных преимуществ литья пластика перед 3D-печатью можно выделить:

- требования к сырью для 3D-печати выше, чем для литья, например для литья подойдут дробленые гранулы (стружка, которая остается после механической обработки пластика, гранулы из деталей, которые пришли в негодность, из литниковой системы, брака), в то время как для 3D-печати нужны специальные материалы в виде калиброванных нитей филамента или специальных порошков;

- точность, повторяемость, производительность и прочность изделий, полученных при литье выше, чем при 3D-печати;

- при 3D-печати деталей сложной геометрической формы необходимо предусматривать поддержки, которые ухудшают качество поверхности детали и увеличивают расход материала;

- при литье пластмасс выше скорость получения детали в серийном и массовом производстве, но трудоемкий и дорогостоящий процесс изготовления пресс-формы; 3D-печать остается оптимальной для прототипирования и единичного производства.

Анализ рынка показал, что в настоящий момент оборудование для термопласт автоматов в основном поставляется из Китая (компания Haitian), Германии (Arburg KraussvMaffei), Японии (Fanuc) и др. Все компании представляют большие линейки высокопроизводительного оборудования, применяются запатентованные технологии, например технологии энергосбережения, которые реализуются непосредственной связью (Direct - Drive) между сервомотором и насосом, такая связь обеспечивает максимальный момент ускорения и остановки для работы всех узлов ТПА [6]. Оборудование российского производства представлено в меньшем ассортименте, чаще запатентовано до 2000 года. Например, известен ТПА с горизонтальным расположением основных узлов, индукционным нагревом пластика, отличающийся наличием на шнеке пластикатора, со стороны зоны загрузки закреплен диск, заключенный с регулируемым осевым зазором в неподвижный относительно диска фланец с тангенциальным загрузочным отверстием, что позволяет накапливать нужное количество пластика и не перегревать его [1]. Авторы Титоренко В.А. и Титоренко В.В. предложили конструкцию литьевого ТПА, который снабжен устройством газоотвода, цилиндрической муфельной печью с входным и выходным каналами, при чем выходной канал соединен с помощью управляемого клапана с литьевым соплом, такой подход позволяет получать большой объем впрыска (более 1,5 дм³) [5].

Технологический процесс литья пластика востребован как на небольших, так и на крупных предприятиях. В основном он реализуется на ТПА с ЧПУ разной производительности. Широкое распространение получили вертикальные или горизонтальные термопластавтоматы (рис. 1) со шнековой пластификацией материала (т.е. где давление на расплавленный пластик оказывается при помощи шнека в виде винта или поршня [7]) и со шприц-прессом (давление оказывается с помощью поршня вручную или гидроприводом).



Рис. 1. Термопластавтоматы со шнековой пластикацией:
а – вертикальный; б – горизонтальный

В рамках импортозамещения дорогостоящего оборудования для литья пластмасс поставлена задача спроектировать вертикальный ТПА для мелкосерийного и серийного производства, который обладает достаточно простой конструкцией, возможностью быстрой переналадки для литья деталей различных габаритных размеров.

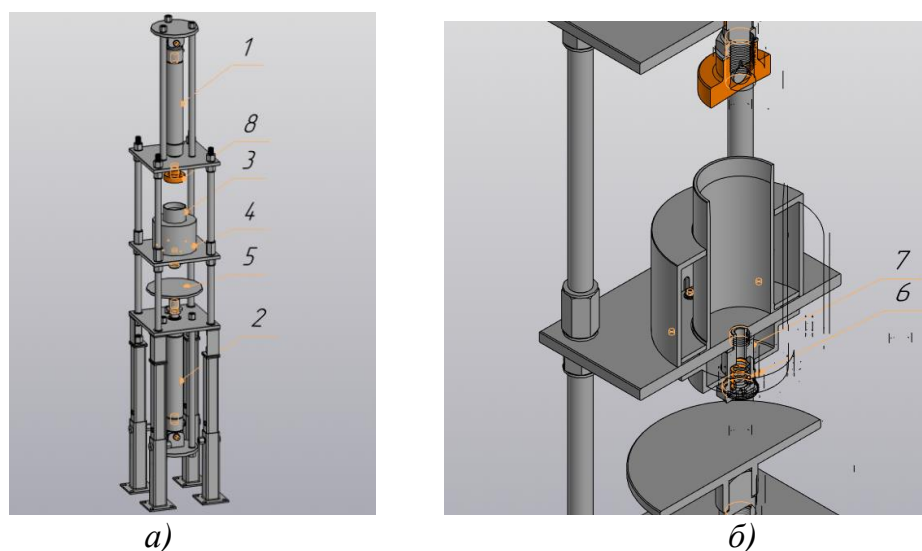


Рис. 2. Вертикальный гидравлический термопластавтомат:
а – общий вид, б – узел рабочей зоны

Разработана 3D-модель (рис. 2) и опытный образец ТПА. Принцип работы ТПА, заключается в следующем: сырье загружается в камеру 3, где при помощи нагревательного элемента осуществляется плавление пластика, до заданной

температуры (200 – 300 °С в зависимости от материала). Пресс-форма устанавливается на плиту 5. При подаче рабочей жидкости в нижний гидроцилиндр 2, происходит подъем плиты с пресс-формой до контакта с соплом 6. Расплавленный пластик из камеры пластикации подается в канал с подогревом 7. Давление при этом обеспечивает верхний гидроцилиндр 1, который приводит в движение пуансон 8. После заполнения формы давление сохраняется на время выдержки, для компенсации усадки пластика и полного заполнения полости пресс-формы [3]. В процессе охлаждения в полости пресс-формы пластик остывает, приобретая нужную конфигурацию. После завершения цикла охлаждения снимается давление с гидроцилиндров, плита 5 опускается, пресс-форма размыкается, извлекается готовая деталь. Термоизолирующий кожух 4 обеспечивает стабильную температуру пластикации.

Предложенная конструкция имеет возможность быстрой переналадки для изменения габаритных размеров рабочей зоны за счет изменения длины опорных элементов, что делает установку универсальной, адаптивной и масштабируемой.

При крупносерийном и массовом производстве несколько разработанных ТПА рекомендуется объединить в автоматическую линию с общей гидравлической станцией и системой подачи сырья (рис. 3). Такая компоновка позволит снизить затраты на оборудование. Линия может быть дополнена роботизированным комплексом для извлечения деталей, конвейером для транспортировки сырья и готовых деталей. Перспективным направлением дальнейшего развития проекта является включение в линию ТПА машину по переработке пластика [4], в частности вторичного сырья и изготовления из него новых деталей, что соответствует современным экологическим стандартам и принципам ресурсосбережения.

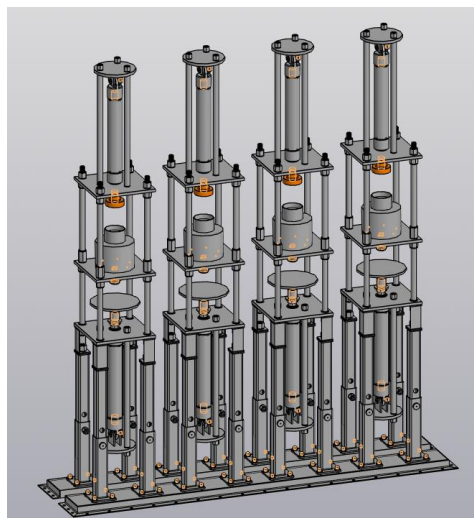


Рис. 3. Линия гидравлических термопластавтоматов

В заключении можно сказать, что внедрение разработанного ТПА позволяет обеспечить высокое качество изделий из пластмасс, способствует укреплению технологического суверенитета промышленности в области машиностроения. Предложенная конструкция имеет потенциал для дальнейшей модернизации, например замены гидропривода на вертикальный сервогидравлический привод, установки датчика давления, интеграции системы управления с моделями искусственного интеллекта для оптимизации параметров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1016189 СССР, МКИ° В 29 С 45/68. Литьевая многопозиционная машина для переработки пластмасс / С.Г. Гурвич и др. (СССР). - № 3327431/23-05; заявл. 05.08.81; опубли. 07.08.83, Бюл. № 17.
2. Козлов Н.В. Применение инструментов венчурного инвестирования в условиях импортозамещения: на примере производства термопластавтоматов с

числовым программным управлением / Н.В. Козлов // Финансовые рынки и банки. – 2023. – № 5. – С. 214-217.

3. Курнос В.В. Компьютерное моделирование процесса изготовления изделий из пластмасс литьем под давлением / В.В. Курнос, Ю.В. Перухин, О.В. Стоянов // Вестник Казан. технол. ун-та. 2012. – № 14. – С. 111 – 114.

4. Павлюкова Н.Л. Разработка конструкции машины по переработке пластика / Н.Л. Павлюкова, А.А. Каприльянц // Надежность и долговечность машин и механизмов, 2025: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2025. – С.287 – 290

5. Патент № 2010715 С1 РФ МПК В29С 45/66, 45/14. Литьевой термопластавтомат для изготовления изделий из пластмасс / Титоренко В.А., Титоренко В.В. – заявл: 27.12.1991. Опубл: 15.04.1994. Патентообладатели: Титоренко В.А., Титоренко В.В.

6. Производство ТПА – завод по производству термопластавтоматов Cronplex [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cronplex.ru/>, свободный (дата обращения 10.03.2026).

7. Прыткова Е.С. Особенности разработки технологического процесса литья для изделий радиоэлектронной промышленности / Е.С. Прыткова // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2016. – № 27. – С.182-186.

УДК 662.066

М.Ю. Колобов¹, Г.Н. Кокурина¹, С.Г. Сахарова¹, В.В. Колобова²

¹ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет

²ФГБОУ ВО Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ СУСПЕНЗИИ

Аннотация: Разработана экспериментальная установка для изучения влияния технологических и конструктивных параметров гидроциклона на процесс разделения фаз. Получены зависимости эффективности очистки суспензии от исследуемых параметров. Получены математические модели.

Ключевые слова: гидроциклон, эффективность очистки, параметры, математическая модель

M.Yu. Kolobov, G.N. Kokurina, S.G. Sakharova, V.V. Kolobova

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF SUSPENSION PURIFICATION

Abstracts: An experimental setup was developed to study the influence of hydrocyclone process and design parameters on the phase separation process. The dependences of suspension purification efficiency on the studied parameters were determined. Mathematical models were developed.

Keywords: hydrocyclone, cleaning efficiency, parameters, mathematical model

В химической промышленности с помощью гидроциклонов отделяют промежуточные продукты или отходы в виде суспензии, например при выщелачивании, осаждении, кристаллизации - в неорганической химии или полимеризации и конденсации - в органической химии, для предварительного сгущения тонких осадков гидрата окиси алюминия, цинковой и свинцовой пыли и др. Возврат отработанной воды в технологический цикл, разработка и внедрение эффективных и недорогих в обслуживании систем очистки позволяют значительно сократить водопотребление и объем сбрасываемых стоков, снизить затраты на водоочистку [1–4].

Гидроциклоны обладают рядом достоинств: малые энергоёмкость и металлоёмкость, незначительные габаритные размеры, большая производительность. Тем не менее, они не лишены недостатков: зависимость чистоты разделения дисперсионной системы от колебаний концентрации и состава дисперсной фазы; эрозионный износ внутренних поверхностей при длительной эксплуатации; неспособность получения абсолютно чистых продуктов при разделении тонких суспензий и эмульсий [2, 4, 5].

Для изучения влияния конструктивных и технологических параметров на процесс разделения фаз разработана экспериментальная установка (рис. 1) [6].

Конструкция гидроциклона представлена на рис. 2.

Для выявления влияния конструктивных элементов гидроциклона на эффективность его работы корпус гидроциклона оснащался следующими сменными элементами: сливными патрубками 4, конической частью гидроциклона 5, нижними (песковыми) насадками 6.

Исследования влияния сменных элементов на эффективность очистки суспензии в гидроциклоне проводились с концентрацией песка в воде 2,5 г/л; 5 г/л; 7,5 г/л, в которых менялись нижние (песковые) насадки с выходными отверстиями диаметрами 4; 6; 8; 10 мм; угол конуса гидроциклона принимали равными 10° , $17,5^\circ$, 25° ; а диаметр сливного патрубка – 6; 10; 14 мм,

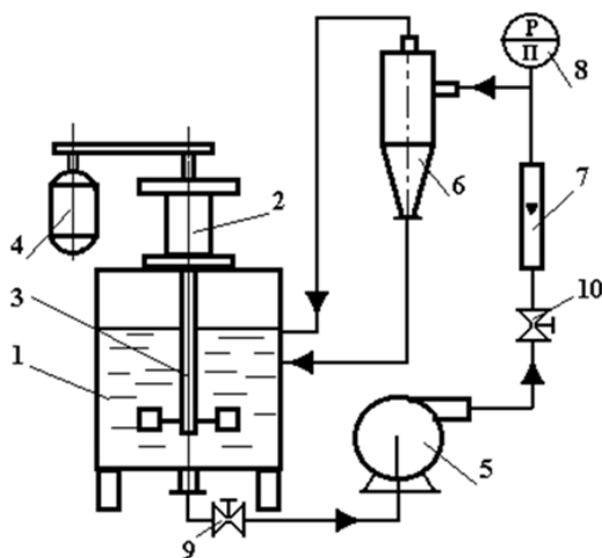


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – бак приготовления исходной смеси,
- 2 – корпус подшипников,
- 3 – турбинная мешалка,
- 4 – электродвигатель,
- 5 – центробежный насос,
- 6 – гидроциклон,
- 7 – ротаметр РС-7, 8 – манометр,
- 9 – кран трехходовой,
- 10 – кран трехходовой

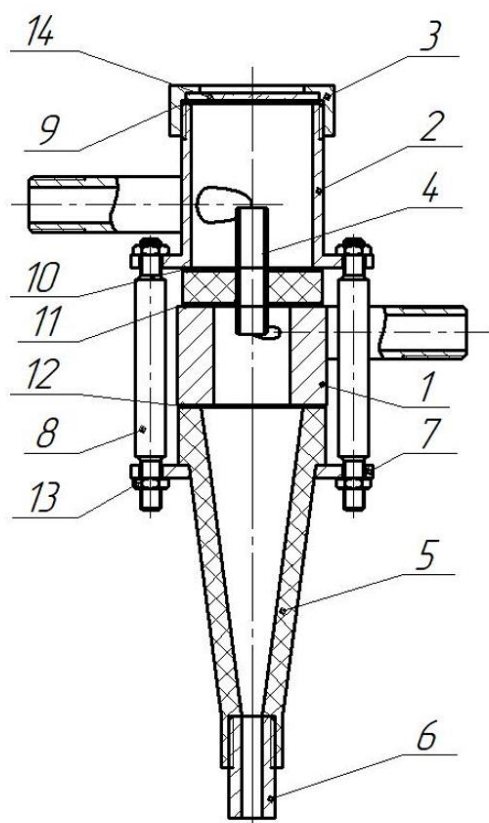


Рис. 2. Экспериментальный гидроциклон:
1 – цилиндрический корпус гидроциклона,
2 – корпус сливной камеры,
3 – гайка накидная,
4 – сливной патрубок,
5 – конус сменный,
6 – нижняя насадка,
7 – фланец, 8 – шпилька,
9, 10, 11, 12 – прокладка, 13 – гайка,
14 – фонарь (стекло)

Использовались частицы песка размером 0,1 – 0,7 мм.

По результатам однофакторных исследований были определены интервалы и уровни варьирования факторов и реализована матрица плана эксперимента 3^3 .

В качестве примера разберем исследование влияния нижней (песковой) насадки на эффективность очистки суспензии в гидроциклоне.

Фотографии примера нижних (песковых) насадок представлены на рис. 3.



Рис. 3. Фотография нижних (песковых) насадок

Независимые переменные: X_1 – размер частиц, мм; X_2 – концентрация, г/л; X_3 – диаметр отверстия в насадке, мм.

В качестве критерия оптимизации: Y – эффективность очистки, %.

Диапазоны варьирования факторов: 0,1 мм – X_1 – 0,7 мм, интервал 0,3 мм; 2,5 – X_2 – 7,5 г/л, интервал 2,5 г/л, 4 мм – X_3 – 10 мм, интервал 2 мм.

Получена следующая математическая модель (уравнение регрессии):

$$y = 0,277778 \cdot x_1^2 - 0,22222 \cdot x_1 - 0,15373 \cdot x_2 - 0,10234 \cdot x_3 + 0,02133 \cdot x_2 \cdot x_3 + 1,73278$$

Моделируя полученное уравнение регрессии в среде MatCad получим его графическое изображение в виде поверхности (выборочно) (рис. 4).

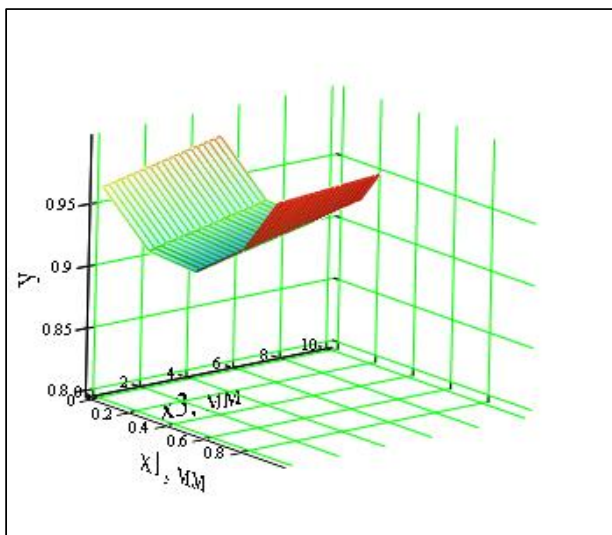


Рис. 4. Зависимость эффективности очистки y от размера частиц x_1 (мм) и диаметра отверстия в насадке x_3 (мм), при концентрации $x_2=5$ г/л

y13

Результаты исследований показали высокую степень очистки в гидроциклоне от частиц песка – 87–98 %. Максимальная степень очистки была получена при диаметре отверстия в насадке 4 мм. С увеличением диаметра отверстия в насадке степень очистки уменьшалась.

Угол конусной части корпуса гидроциклона влияет на эффективность классификации. С уменьшением угла конусности гидроциклона улучшается его разделяющая способность за счет увеличения времени пребывания суспензии в аппарате.

Увеличение диаметра сливного патрубка приводит к ухудшению разделения. Объясняется это тем, что увеличение размеров сливного патрубка уменьшает время пребывания разделяемого продукта в гидроциклоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов А.А., Чечевишников А.Л. [и др.]. Проблема пресной воды. Глобальный контекст политики России. М.: МГИМО-Университет, 2011. 87 с.
2. Башаров М.М., Сергеева О.А. Устройство и расчет гидроциклонов: учеб. пособие. Казань: Вестфалика, 2012. 92 с.
3. Богданов О.С. Справочник по обогащению руд: в 4 т. Т. 2. Основные процессы. М.: Недра, 1982. 1500 с.
4. Терновский И.Г., Кутепов А.М. Гидроциклонирование. М.: Наука, 1994. 350 с.
5. Блиничев В.Н., Лабутин А.Н. и др. Проблемы разработки энерго- и ресурсосберегающих процессов, реакторных систем и оборудования интенсивного

действия, моделирования и оптимального управления. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66, вып.7. С. 185-202. DOI:10.6060/ivkkt.20236607.6845j

6. Гаврилин В.М., Афонин С.Б., Ялышев Ф.Н., Колобов М.Ю. Влияние диаметра насадки на эффективность очистки суспензии в гидроциклоне. Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 18 апреля 2024. С. 42–45.

УДК 534.2:621.37/39 (075)

А.Б. Колобов, Ф.Б. Огурцов

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОДШИПНИКЕ КАЧЕНИЯ

Аннотация: представлена упрощенная динамическая модель сепаратора подшипника качения и приведены результаты моделирования динамических процессов.

Ключевые слова: вибрационная диагностика, высокочастотная вибрация, ковровые импульсы, динамическая модель, автоколебания.

A.B. Kolobov, F.B. Ogurtsov

SIMULATION OF DYNAMIC PROCESSES IN A ROLLING BEARING

Abstract: a simplified dynamic model of a rolling bearing separator is presented and the results of dynamic process modeling are presented.

Keywords: vibration diagnostics, high-frequency vibration, carpet pulses, dynamic model, self-oscillations.

Совершенствование методов вибрационной диагностики подшипников качения, позволяющих повысить надежность эксплуатации механизмов и машин, является актуальной задачей. В работе [1] показано, что оценка состояния сепаратора подшипника может быть получена путем статистического анализа так называемых ковровых импульсов. Однако причины их возникновения недостаточно исследованы. В работе [2] и др. ковровые импульсы объясняются как результат ударов тел качения о микронеровности беговых дорожек, но эта гипотеза противоречит данным эксперимента: частота появления импульсов слабо зависит от частоты вращения подшипника и является конструктивной константой. Такие результаты объяснимы, если предположить, что ковровые импульсы возникают в результате автоколебаний тел качения на собственных частотах сепаратора.

В связи с этим, целью работы является разработка динамической модели сепаратора и анализ процессов, возникающих при его вращении.

На данном этапе работы при разработке модели использован ряд допущений.

Поскольку основное движение тел качения (далее ТК) происходит вдоль беговых дорожек, исследования ограничены одномерной постановкой задачи и используется криволинейная вращающаяся система координат, привязанная к сепаратору подшипника. При этом сепаратор рассматривается как цепочка упруго связанных тел, т.е. как колебательная система с сосредоточенными параметрами.

Далее, проскальзывание в процессе работы подшипника не учитывается. При этом линейная окружная скорость сепаратора и угловая скорость вращения ТК жестко связаны кинематическими соотношениями, что позволяет заменить малое динамическое поступательно-вращательное движение ТК чисто поступательным (идеальным скольжением), используя в расчете эквивалентную в плане кинетической энергии массу тела качения m :

$$m = M + J * \left(\frac{R}{r * (R + r)} \right)^2$$

где M – масса тела качения, J – момент инерции тела качения, r – радиус тела качения, R – радиус беговой дорожки внутреннего кольца подшипника.

Радиальная нагрузка на подшипник N , необходимая для выборки люфта и создания трения между ведущей беговой дорожкой и ТК, для упрощения задачи считается неподвижной относительно сепаратора.

Упрощенная модель подшипника представлена на рис.1.

На ТК действуют тормозящие силы трения F (трение о смазку, трение ТК об обойму сепаратора), которые в основном определяются кинематической скоростью вращения и в первом приближении являются константами. Движущая сила P возникает только на ведущем ТК как результат контактного взаимодействия с ведущей беговой дорожкой. На данном этапе работы для ее описания используется модель сухого трения.

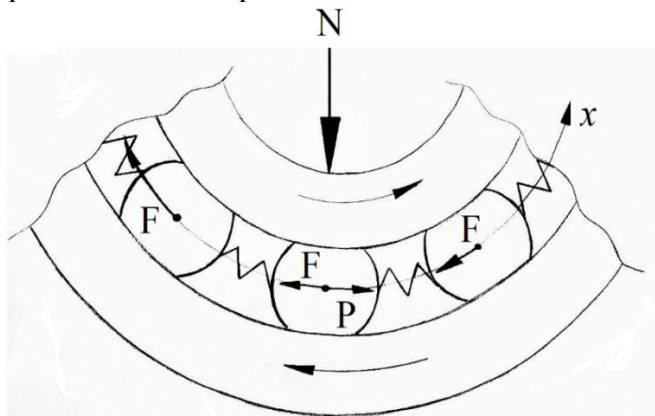


Рис. 1. Упрощенная модель подшипника качения

При данных допущениях динамическое движение ТК можно описать системой дифференциальных уравнений вида

$$m * \ddot{x}_n + k * (x_n - x_{n+1}) + k * (x_n - x_{n-1}) + F = P_n$$

где x_n – динамическое смещение n -го тела качения, m – эквивалентная масса тела качения, k – жесткость упругой связи, n – циклически изменяющийся номер тела качения.

При этом сила P для ведомых ТК принимается равной нулю, для ведущего ТК определяется как

$$P_n = b * N * \text{sign}(-\dot{x}_n)$$

где b – коэффициент трения.

Возможность возникновения автоколебаний в данной системе обусловлена тем, что цепочка упруго связанных тел является замкнутой. В принципе анализ устойчивости данной системы может быть произведен аналитически на базе метода припасовывания, однако при дальнейшем усложнении модели в плане учета других нелинейных эффектов целесообразно использование численных методов.

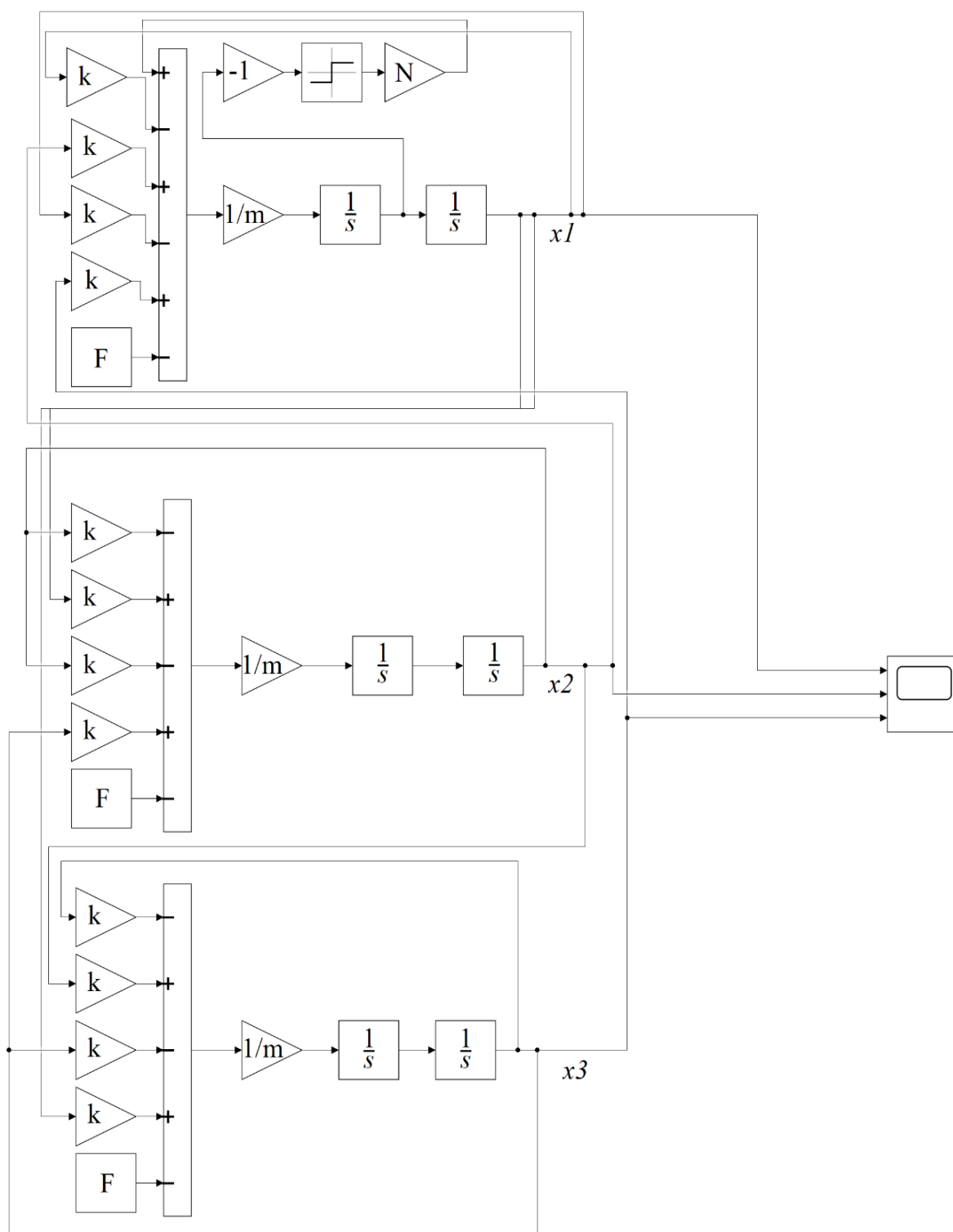


Рис. 2. Модель сепаратора в среде Simulink

В связи с этим, далее решение системы уравнений производилось численным интегрированием в среде Simulink. Поскольку задача физического моделирования конкретного подшипника не ставилась, число ТК было ограничено тремя (минимум для создания замкнутой цепочки), и параметры модели были выбраны условно ($m=10$ гр., $k=1$ кН/м, $b=1$). Динамическая модель представлена на рис. 2.

Результаты расчета представлены на рис. 3. По результатам анализа можно отметить следующее.

Под действием силы трения в системе возникает процесс типа гармонических колебаний. Соответственно, ТК в сепараторе в абсолютной системе координат совершают сложное движение, имеющее кинематическую и динамическую составляющие.

В данном случае формально процесс получается расходящимся, поскольку в модели не учитывается динамическое вязкое трение. Как следствие, при численном интегрировании возникает накопление ошибки округления.

При этом возникает форма колебаний, при которой ведомые ТК движутся синхронно (график $x_2(t)$). Ведущее ТК движется противофазно по отношению к ведомым с двойной амплитудой (график $x_1(t)$). Соответственно, условие замкнутости цепочки (сумма динамических перемещений равна нулю) выполняется, хотя в явном виде это условие в модели не задано.

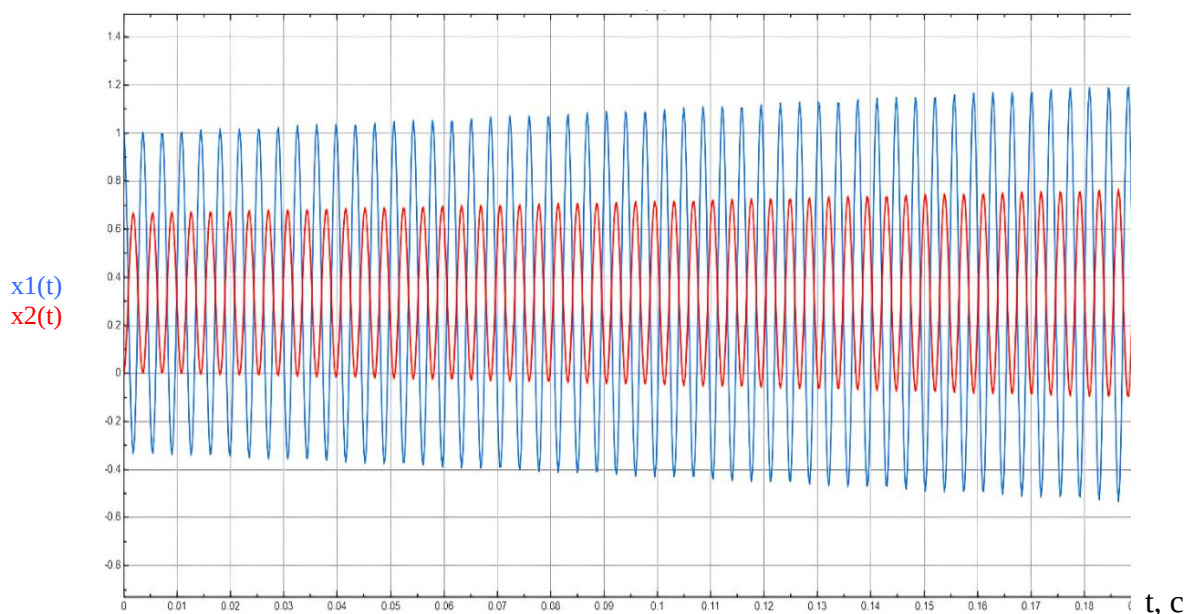


Рис. 3. Результаты моделирования динамических процессов

Динамический процесс имеет постоянную составляющую, то есть возникает статическая деформация упругих связей, за счет чего компенсируется влияние постоянных сил кинематического трения F .

Соответственно, результаты расчета имеют физическое обоснование, и в первом приближении динамическая модель представляется корректной.

По данным эксперимента, сигнал виброускорения на наружном кольце подшипника качения имеет вид высокочастотной синусоиды, модулированной по амплитуде по случайному закону. Предложенная модель объясняет появление гармонической вибрации, причем случайный характер амплитуды как минимум обусловлен изменением радиальной нагрузки N в процессе работы подшипника.

Однако для объяснения физической природы появления дополнительных коротких энергетических импульсов необходимы дальнейшие исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ динамики сепаратора подшипника качения / А.Б.Колобов, Ф.Б.Огурцов // Надежность и долговечность машин и механизмов. 2023: сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2023 г. – Иваново: ФГБОУ «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России». – 2023. – С.86 – 90.

2. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В.Барков, Н.А.Баркова, А.Ю.Азовцев. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. –159 с.

УДК 621.791.18: 669.295

А.Б. Коломенский, С.В.Шахов, Б.А.Коломенский, И.И.Емельянов
Филиал ПАО «Ил» - ВАСО, г. Воронеж

О РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ НИЗКОЛЕГИРОВАННЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Аннотация. Исследовали циклическую прочность листовых сварных образцов из низколегированных титановых сплавов после различных вариантов отжига. Выявлено, что при отсутствии необходимости в термоправке целесообразно назначать экономичный воздушный низкотемпературный отжиг, обеспечивающий изделиям наибольшую эксплуатационную долговечность в условиях повторно-статического нагружения.

Ключевые слова: титан, сварка, отжиг, циклическая прочность

A.B. Kolomenskiy, S.V. Shahov, B.A. Kolomenskiy, I.I. Emelianov

ON THE OPERATIONAL CAPACITY OF WELDED JOINTS MADE OF LOW-ALLOY TITANIUM ALLOYS

Abstracts. The cyclic strength of sheet welded samples made of low-alloyed titanium alloys was studied after various annealing options. It was found that, in the absence of the need for thermal straightening, it is advisable to use economical low-temperature air annealing, which provides the products with the greatest operational durability under repeated static loading conditions.

Keywords: titanium, welding, annealing, cyclic strength

В работах [1, 2] показана возможность и целесообразность применения неполного отжига для сварных листовых титановых конструкций в качестве окончательного вместо полного отжига. Вместе с тем требуют уточнения температурные диапазоны режимов неполного отжига, обеспечивающие максимальную эксплуатационную долговечность конструкций. Кроме того, рациональные схемы изготовления листовых изделий в ряде случаев включают

процессы деформирования элементов конструкций со сварными швами (рихтовки, формообразования). Данные вопросы рассматриваются в настоящей работе.

В данной работе образцы после сварки и отжига в течение 1 часа подвергали облагораживающему травлению на глубину 80...90 мкм для снятия газонасыщенного слоя и исключения его влияния на результаты испытаний. Часть образцов изготавливали только с поперечным швом при ширине рабочей зоны 15 мм, другую часть - с перекрестными швами при ширине рабочей зоны 40 мм, причем продольный шов выполняли в последнюю очередь на готовом образце. В результате в образцах первой партии сохранялись остаточные напряжения только 2-го рода; напряжения 1-го рода практически полностью снимались при вырезке образцов из заготовок. В образцах второй партии сохранялись остаточные напряжения как 1-го, так и 2-го рода.

Испытания на повторно-статическое растяжение проводили на установке УММ-10 при $R=+0,1$ и $f = 0,6...0,8$ Гц.

Характер зависимости долговечности от температуры отжига для исследованных сплавов практически одинаков - как для пластичного низкопрочного технического титана ВТ1-0, так и для высокопрочного сплава ВТ6ч (см. рис.1).

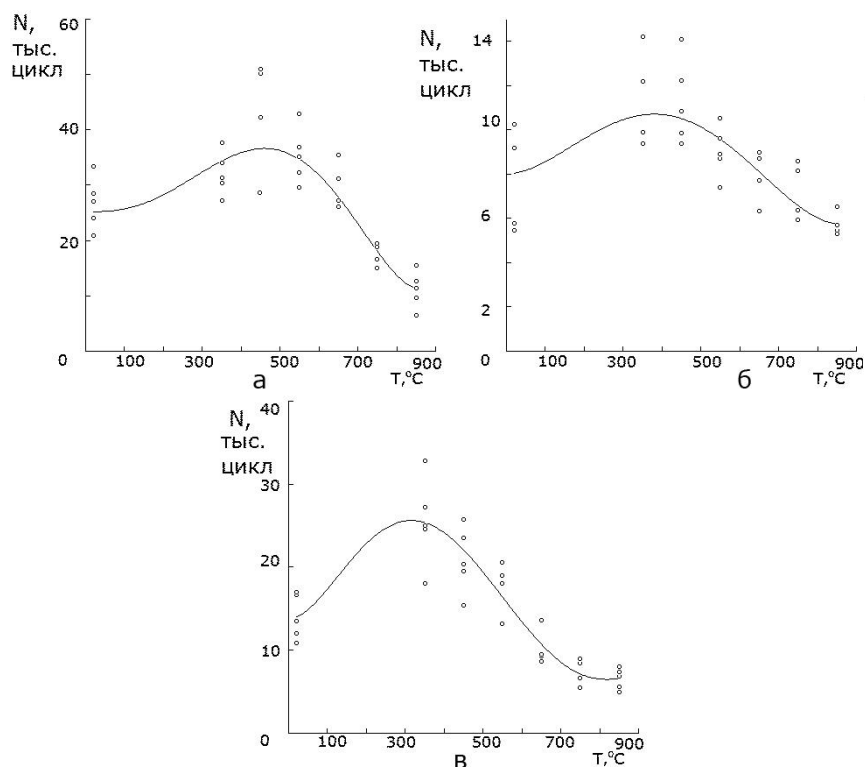


Рис. 1. Зависимость повторно-статической долговечности от температуры отжига сварных соединений с поперечными швами технического титана ВТ1-0 (а) и сплавов ОТ4 (б) и ВТ6ч (в)

При температурах 350-450 °С наблюдается максимум долговечности, а с повышением температуры отжига до 850 °С - постепенное снижение долговечности. Для образцов с поперечными швами указанные тенденции проявляются сильнее. Таким образом, максимальная циклическая долговечность достигается при отжиге, обеспечивающем только частичное снятие остаточных напряжений; более высокотемпературный отжиг, при котором напряжения снимаются полностью, приводит к существенному падению долговечности. Такое снижение долговечности

можно объяснить разупрочнением в процессе отжига зоны термического влияния, в которой при сварке протекает пластическая деформация, повышающая предел текучести металла.

Изучение микроструктур сварных соединений показало некоторую коагуляцию пластинчатой α' - фазы у титана ВТ1-0 и сплава ОТ4 после отжига при 650°C.

Выявленные низкотемпературные максимумы температур неполного отжига объясняются, видимо, эффектом дорекристаллизационного упрочнения [3]. Данный эффект связывают с закреплением подвижных дислокаций в исходном холоднодеформированном металле и в дислокационных стенках, возникающих при полигонизации, атомами растворённых примесей и легирующих элементов.

Известно, что листовые полуфабрикаты поступают с завода-изготовителя в частично нагартованном после прогладки состоянии (деформация 2...6 %). При отжиге металл разупрочняется, что может сказываться на ресурсных характеристиках изделия. При испытании на кратковременный разрыв листов титановых сплавов после отжига при 350...450 °С выявлен устойчивый максимум прочностных свойств, связанный с эффектом дорекристаллизационного упрочнения. При циклических испытаниях листов показано, что для обеспечения максимальной повторно-статической долговечности листам титановых сплавов, поставляемых в упрочненном состоянии после прогладки, достаточен неполный отжиг при 350...450 °С.

При изучении вопроса влияния остаточных напряжений на работоспособность сварных конструкций принципиальное значение имеют, во-первых, масштабный фактор и, во-вторых, схема напряженного состояния в процессе испытаний. В связи с этим дополнительно проводили испытания натурных образцов сварных труб $\varnothing 80$ мм из технического титана ВТ1-0 и сплава ОТ4 толщиной 0,8 мм пульсирующим внутренним давлением с $f = 0,25$ Гц, $R_{max} = 5$ МПа и $R = 0$; при этом реализовывалась схема двухосного напряженного состояния. Наибольшую долговечность (см. рис.2) показали сварные трубы после неполного воздушного отжига при 430–450 °С - как и в случае листовых образцов. Полный отжиг (550 °С для титана ВТ1-0 и 660 °С для сплава ОТ4) снижает долговечность труб $\sim$ в 1,5 раза.

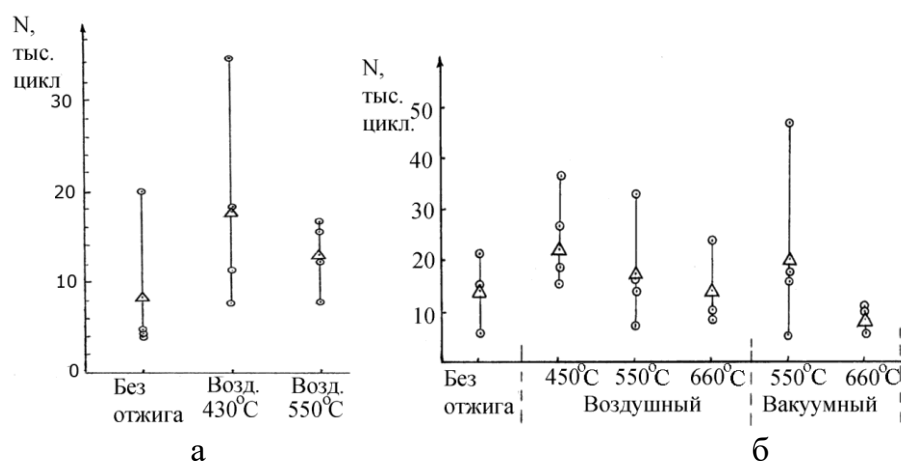


Рис. 2. Зависимость циклической долговечности сварных труб из титана ВТ1-0 от температуры часового отжига (а) и из сплава ОТ4 от двухчасового отжига (б)

В работе исследовали влияние степени деформации и температуры последующего отжига на повторно-статическую долговечность сварных соединений.

Определена практическая возможность осуществления холодной деформации сварных соединений титановых сплавов. При изгибе технический титан без существенных потерь долговечности можно деформировать до 18 %, сплавы ОТ4 и ВТ6ч - до 7 и 2 % соответственно. Деформация растяжением этих сплавов на 23; 3 и 1,5 % соответственно сопровождается значительным ростом долговечности титана ВТ1-0, сохранением долговечности на исходном уровне для сплава ОТ4 и снижением ее ~ на 30 % для сплава ВТ6ч.

На рис. 3. показаны результаты исследования влияния температуры отжига на повторно-статическую долговечность сварных образцов, подвергнутых предварительному изгибу с регламентированной степенью деформации. Образцы изготавливали с продольным сварным швом и центральным отверстием-концентратором. Отверстие $\varnothing 2,5$ мм при ширине рабочей зоны 15 мм (коэффициент концентрации по Нейберу 2,6) выполняли непосредственно перед испытанием. Из представленных данных видно, что низкотемпературный отжиг в наибольшей мере повышает повторно-статическую выносливость деформированных сварных соединений из титановых сплавов. Причина этого также связана с эффектом дорекристаллизационного упрочнения. Данная устойчивая зависимость проявляется во всех исследованных технологических вариантах - при обеих схемах деформирования (изгиб и растяжение), при отсутствии и наличии геометрических концентраторов, для сплавов различных групп прочности, сварных соединений и основного металла. Разупрочнение при высоких температурах во всех случаях оказывает преобладающее негативное воздействие на циклическую прочность.

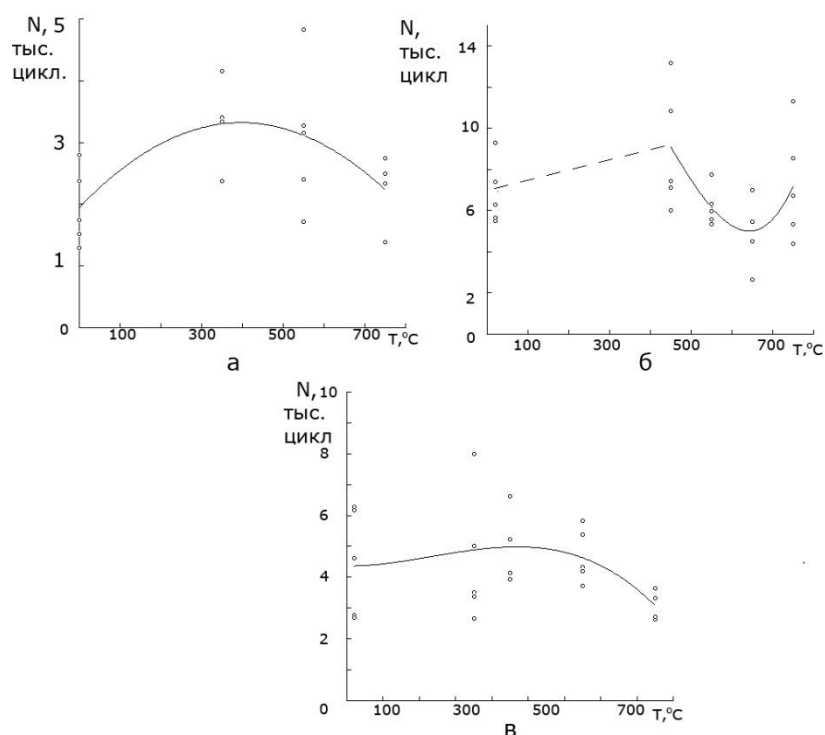


Рис. 3. Зависимость долговечности при повторно-статическом растяжении сварных соединений толщиной 0,8 мм с предварительной деформацией изгиба от температуры часового отжига: а - титана ВТ1-0 ($\epsilon = 13,3-15,0$ %), б - сплава ОТ4 ($\epsilon = 5,0$ %), в - сплава ВТ6ч ($\epsilon = 2,0$ %)

Выводы

Полученные в работе результаты свидетельствуют о неоправданности назначения для сварных холоднодеформированных конструкций высокотратного полного отжига, осуществляемого, как правило, в вакуумных печах либо в контейнерах с инертными газами.

При соблюдении технологического процесса, исключающего возможность наводораживания металла, а также при отсутствии необходимости в термоправке конструкции целесообразно в качестве окончательного назначать экономичный воздушный низкотемпературный отжиг, обеспечивающий изделиям наибольшую эксплуатационную долговечность в условиях повторно-статического нагружения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.Б. Коломенский, М.Н. Шушпанов, В.В. Пешков, Б.А. Коломенский Оптимизация параметров отжига тонкостенных сварных конструкций из титановых сплавов // Сб. научн. трудов Международной н/т конф. «Славяновские чтения», Липецк, 2004, с.103-105
2. Коломенский А.Б., Зубарев В.Ю., Коломенский Б.А., Шахов С.В. Механические характеристики листовых титановых сплавов после сварки и отжига // Сварка и родственные технологии в машиностроении и электронике: Межвуз. сб. научн. трудов, Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронеж гос. техн. ун-т», 2013. с. 76-83
3. И.И. Новиков Теория термической обработки металлов / М.: Металлургия, 1986. 480 с.

УДК 658.52.011.56

В.Н. Копосов, А.В. Романов, Д.А. Левинский

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ВЛИЯНИЕ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГПС НА ЧИСЛО УПРАВЛЯЕМЫХ КООРДИНАТ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ

Аннотация: в работе проведен анализ влияния компоновочных решений автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС на число управляемых координат технических средств транспортирования инструментов. Предложено правило определения и обеспечения минимального числа степеней свободы технических средств транспортирования инструментов.

Ключевые слова: гибкая производственная система, система инструментального обеспечения, технические средства транспортирования инструментов, управляемые координаты, число степеней свободы.

V.N. Koposov, A.V. Romanov, D.A. Levinsky

THE INFLUENCE OF COMPUTERIZED SOLUTIONS OF THE SYSTEM OF INSTRUMENTAL DESCRIPTION OF THE GPS ON THE NUMBER OF CONTROL COORDINATES OF THE TECHNICAL MEANS OF TRANSPORTING INSTRUMENTS

Abstracts: the work analysed the influence of the configuration solutions of automated instrumentation systems of the GPS on the number of controlled coordinates of the technical means of transporting instruments. A rule for determining and ensuring the minimum number of degrees of freedom of the technical means of transporting instruments has been proposed.

Keywords: flexible production system, tooling system, technical means of transporting tools, controllable coordinates, number of degrees of freedom.

Для успешного экономического развития нашей страны необходимо многократное увеличение производительности труда. В машиностроении это возможно лишь при активном внедрении гибких производственных систем (ГПС), позволяющих реализовать принцип «безлюдной» технологии изготовления изделий. Наибольшее развитие в настоящее время получили ГПС для механической обработки корпусных деталей. В данной работе рассматриваются именно такие системы.

Важнейшей подсистемой гибкой производственной системы является автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО). Она оказывает существенное влияние на технологические возможности и эффективность функционирования ГПС. Материальные и эксплуатационные затраты и в итоге эффективность функционирования гибкой производственной системы и ее подсистем, в том числе и автоматизированной системы инструментального обеспечения, в значительной мере зависит от решений, принятых на стадии проектирования. Эти затраты обусловлены не только значительной капиталоемкостью оборудования ГПС и АСИО, но и ощутимыми расходами на выполнение проектных работ.

Структурными составляющими АСИО являются накопители инструментов и технические средства транспортирования инструментов (ТСТИ). Уменьшение числа управляемых координат ТСТИ (числа степеней свободы (подвижности) для перемещения инструментов между центральным инструментальным складом (ЦИС) и инструментальными магазинами станков) приводит к уменьшению длительности транспортных циклов, стоимости, сложности управления и повышению надежности технических средств транспортирования инструментов. Степень свободы (подвижности) ТСТИ – это возможность перемещения или вращения соответственно вдоль или вокруг одной из осей технического средства целиком или его рабочих органов. Каждой степени свободы ТСТИ соответствует его управляемая координата.

Принятыми компоновочными решениями можно свести число управляемых координат ТСТИ к минимуму. К таким же положительным последствиям приводит использование ЦИС с правильной ориентацией в нем инструментов. При проектировании ЦИС решения по ориентации в нем инструментов должны приниматься с учетом будущей компоновки АСИО и минимизации числа управляемых координат ТСТИ.

Уменьшение числа степеней свободы для перемещения инструментов между ЦИС и инструментальными магазинами станков оправдано в случае, когда имеется ТСТИ для осуществления этих перемещений с соответствующим числом степеней подвижности. Если же, например, рациональными компоновочными решениями

проектировщик добился того, что для перемещения инструментов требуется три степени свободы, а предполагается использовать ТСТИ с четырьмя или более степенями подвижности, то такое решение не имеет смысла.

При известной ориентации инструментов в смежных позициях ЦИС и инструментальных магазинов станков ГПС для определения и обеспечения минимального числа степеней свободы при перемещении их из одной в другую следует придерживаться следующего правила:

- выбрать систему координат (x, y, z), общую для всей АСИО, таким образом, чтобы инструменты располагались в рассматриваемых позициях по направлению осей, либо под углами, кратными 90 град. ко всем осям;
- принимая инструменты за материальные точки, совместить их, используя только линейные перемещения вдоль осей;
- зафиксировать число степеней свободы, необходимое для совмещения инструментов;
- используя при необходимости поворот вокруг одной из осей координат, совместить инструменты по направлению;
- прибавить к числу степеней свободы, полученному выше, еще одну степень свободы;
- если для изъятия инструментов из рассматриваемых гнезд ЦИС, инструментальных магазинов станков и установки их в эти гнезда необходимы дополнительные степени свободы, отличные от зафиксированных ранее, суммировать их с общим числом степеней свободы.

Примечание. При определении числа степеней свободы необходимо учитывать возможность переориентации инструментов в пространстве путем поворота руки ТСТИ с двумя захватами вокруг оси, расположенной под углом 45° к осям прямоугольной системы координат.

На рисунке дано графическое пояснение к этому правилу.

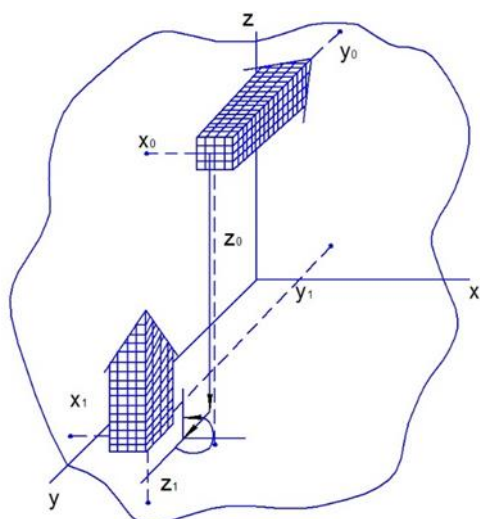
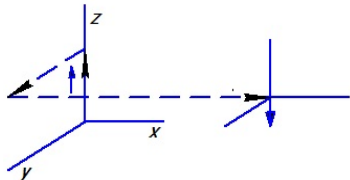
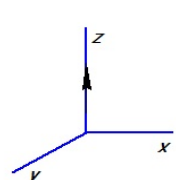
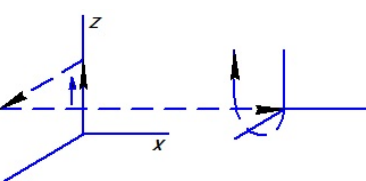
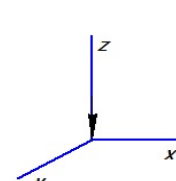
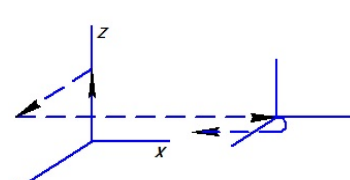
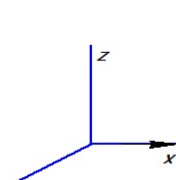
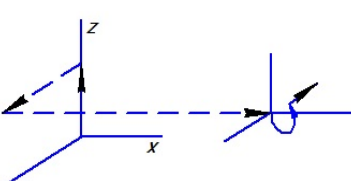
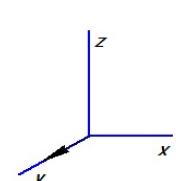
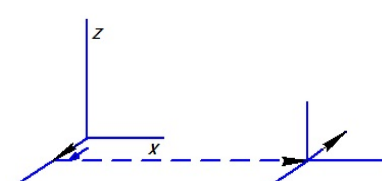
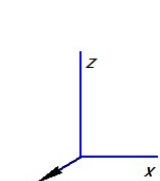
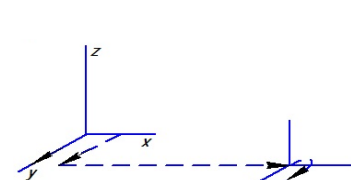
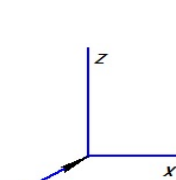
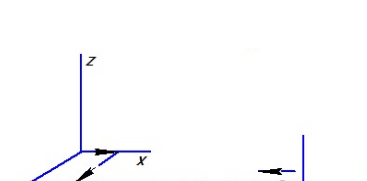
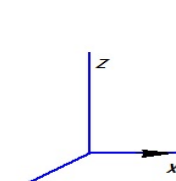
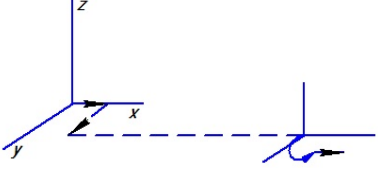
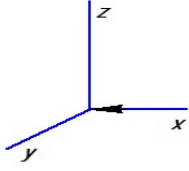


Рисунок. Графическое пояснение к правилу определения минимального числа степеней свободы ТСТИ для перемещения инструментов между смежными позициями

Таблица. Перемещения инструментов между смежными позициями ЦИС и инструментальных магазинов станков с минимальным числом степеней свободы

Ориентация инструментов в смежных позициях и траектории их перемещения между ними		Число степеней свободы
Начальная ориентация и траектория перемещения	Конечная ориентация	
		3
		4
		3
		3
		2
		3
		2

Ориентация инструментов в смежных позициях и траектории их перемещения между ними		Число степеней свободы
Начальная ориентация и траектория перемещения	Конечная ориентация	
		3

Примечание. Инструменты условно показаны стрелками.

В таблице для различных взаимных положений инструментов в смежных позициях приведены траектории их перемещения из одной в другую с минимальным числом степеней свободы. Учтены различные движения инструментов для изъятия их из гнезд, установки в гнезда ЦИС и инструментальных магазинов станков. При этом имеется в виду, что инструменты располагаются в одной плоскости. Для совмещения плоскостей нужно добавить еще одну степень свободы.

Минимизация числа степеней свободы ТСТИ позволяет уже на ранней стадии проектирования автоматизированной системы инструментального обеспечения ГПС обоснованно применить максимально простые, надежные и дешевые технические средства транспортирования инструментов в системе. Тем самым снижается капиталоемкость (стоимость) проектируемой гибкой производственной системы, повышается ее надежность, а также производительность за счет сокращения циклов транспортирования инструментов.

УДК 614.847.7

Ю.Ю. Котов, А.В. Топоров

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ РЕМОНТА И ОБСЛУЖИВАНИЯ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы ремонта и технического обслуживания напорных пожарных рукавов, акцентируя внимание на необходимости разработки специализированного устройства для крепления соединительных головок. Описаны этапы создания такого приспособления: от разработки 3D-модели в паpоСАD 23 до изготовления опытного образца и его испытаний в условиях пожарно-спасательного подразделения. Подробно изложены технологические операции по ремонту рукавов, включая наложение заплат, вулканизацию и обработку повреждений вблизи соединительных головок. Представлен процесс использования разработанного станка для навязки и перекатки рукавов, а также его преимущества по сравнению с промышленными аналогами, такие как возможность регулировки усилия и скорости намотки. Испытания показали, что новое устройство не

уступает по производительности существующим образцам и способствует повышению эффективности технического обслуживания пожарных рукавов.

Ключевые слова: ремонт, техническое обслуживание, перемотка, пожарный рукав, намотка, приспособление, станок.

U.U. Kotov, A.V. Toporov

DEVELOPMENT OF ADAPTATIONS FOR REPAIR AND MAINTENANCE OF PRESSURE FIRE HOSE

Abstracts:. The article discusses the repair and maintenance of high-pressure fire hoses, focusing on the need to develop a specialized device for attaching connection heads. The article describes the steps involved in creating such a device, from designing a 3D model in nanoCAD 23 to manufacturing a prototype and testing it in a fire and rescue unit. The article also provides detailed instructions on how to repair hoses, including applying patches, vulcanizing, and repairing damage near the connection heads. The process of using the developed machine for tying and rolling up hoses is presented, as well as its advantages over industrial counterparts, such as the ability to adjust the winding force and speed. The tests showed that the new device is as efficient as existing models and helps to improve the efficiency of fire hose maintenance.

Keywords: repair, maintenance, rewinding, fire hose, winding, device, machine.

Ремонт пожарных рукавов осуществляется исключительно в условиях ПСП и подразумевает наложение заплат, вулканизацию, а также сокращение длины рукава, но не менее 17 метров [1]. Все эти технологические операции влекут значительные временные затраты. Пожарные соединительные головки в настоящее время крепятся к пожарному рукаву путём намотки проволокой. Ремонт пожарного рукава с деформированной соединительной головкой подразумевает извлечение соединительной головки с последующей её заменой при помощи специализированного оборудования и инструмента, что сопровождается значительными трудовыми и временными затратами [2, 3, 4].

Таким образом, разработка устройства для крепления соединительных головок к напорному пожарному рукаву является важной и актуальной задачей.

Разработка приспособления для технического обслуживания и ремонта пожарных рукавов подразумевала несколько этапов:

- 1) разработка 3D-модели (рисунок 1);
- 2) изготовление опытного образца;
- 3) испытания и отладка разработанного устройства.

Разработка 3D-модели производилась при помощи программного обеспечения nanoCAD 23 (операционная система Microsoft Windows 10, архитектура x64, частота процессора 3.2 ГГц, графический процессор с поддержкой 3D-ускорения, объемом видеопамати 4 Гб (поддерживающий OpenGL 2.1 или DirectX 11), оперативная память 16 Гб). Общий вид модели представлен на рис. 1.

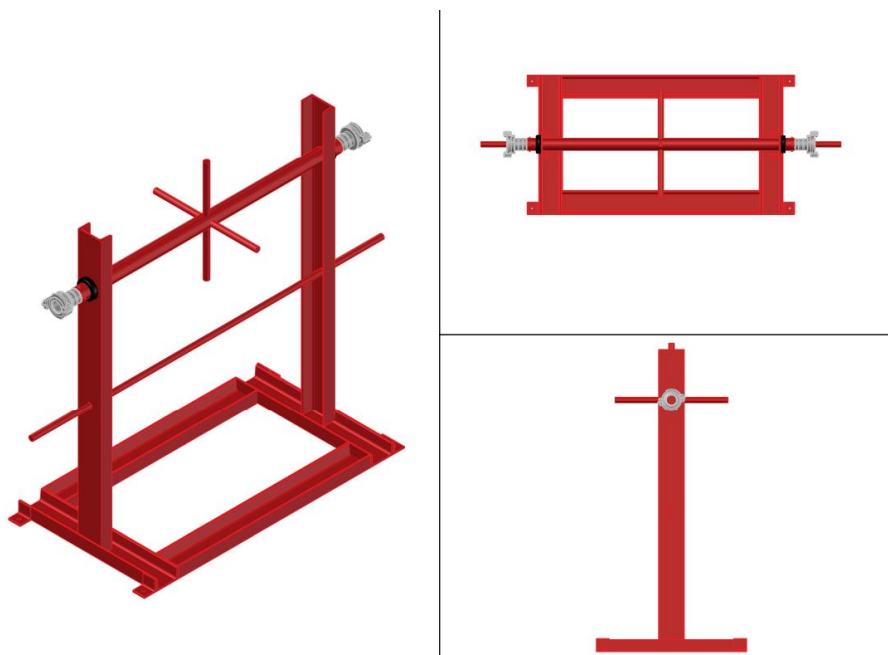


Рис. 1. Общий вид модели

Изготовление опытного образца приспособления осуществлялось в специализированной мастерской.

Испытания и отладка разработанного устройства производились на базе пожарно-спасательного подразделения. При этом стоит указать на то, что у большинства подразделений пожарной охраны отсутствуют такая база как вулканизация и оборудования для проведения ремонта рукавов каким либо из способов вулканизации или использовании клея, указанных в приказе [5]. Техническое обслуживание напорных рукавов производится вручную на самодельных станках, которые предназначены для навязки рукавов так и для перекатки их.

На рис. 2 изображён разработанное приспособление (станок) для навязки напорных рукавов, а также он используется для перекатки рукавов.

На разработанном станке для навязки рукавов ремонтируем рукава с такими повреждениями, как свищи, не большие порывы, трещины на ребрах рукавов. Для испытания и отладки разработанного приспособления разберем случай с порывом рукава около полугайки, где пошагово разберем проведение ремонта. Для начала осматривается место повреждения, если порыв произошел не на большом расстоянии от полугайки, примерно до 30 см, то его можно обрезать с перенесением и навязки полугайки на оставшийся рукав, напомним что напорные рукава длиной менее 17 метров не должны эксплуатироваться и должны быть списаны в связи с соответствующими требованиями [1]. Если свищ или небольшой порыв произошел на расстоянии 2 метров от полугайки, то рукав разбирается навязка с полугайки снимается заранее подготавливают защитный корсет из старого списанного рукава такого же диаметра, защитный корсет одевается на рукав и стягивается в место повреждения. Далее идет процесс подготовки для навязки полугайки на рукав, полугайка зачищается основательно металлической щеткой для удаления каких либо посторонних налетов, на разработанный станок одевают переходную головку 77*51 и крепят к ней полугайку. К разработанному станку привязывается вязальная проволока оцинкованная, далее рукав надевают на полугайку и приступают к навязке напорного рукава.



Рис. 2. Разработанное приспособление (станок) для навязки и перекатки пожарных рукавов

Таким образом были проведены испытания разработанного устройства, которые показали, что его конструкция и производительность позволяет конкурировать с промышленными образцами и выполнять те же функции.

Далее проводилась проверка возможности осуществления перекатки напорных пожарных рукавов на другое ребро. Методика проведения перекатки напорных пожарных рукавов проста. Каждый год при плановом испытании напорных пожарных рукавов в апреле месяце мы проводим и перекатку, процесс перекатки очень трудоемкий если перекачивать его в ручную, ну если в подразделении есть техническое оборудование, то это займет не столь много времени.

С личным составом после проведения испытания напорных рукавов под давление и после проведения сушки мы приступаем к перекатке рукавов, раскатываем на фасаде подразделения рукава и принимаемся к их перекатке вручную, когда перекатка идет вручную то ты можешь хорошо обследовать рукав, на какие-либо повреждения, потертости, легкие порезы, трещин ну и визуально обследуешь сами ребра рукавов.

Разработанная установка показывает статистически значимое отличие от промышленных образцов по параметру намотки пожарного рукава на соединительную головку, что можно объяснить сложностью реализации процесса намотки, при этом стоит отметить, что в ходе применения разработанного приспособления возможно регулировать усилие намотки, а также её скорость. В промышленных установках этот процесс достаточно сложно прерывать.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. Катаев, К. А. Исследование процесса трения пожарного рукава о поверхность при перетаскивании / К. А. Катаев, А. В. Топоров // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XVI всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. – С. 393-395. – EDN VYAKZM.
3. Топоров, А. В. Проблема эксплуатации запорной арматуры, изготовленной из сплавов на основе цинка, алюминия, магния (ЦАМ, ЗАМАК), на трубопроводах противопожарного водоснабжения / А. В. Топоров // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика : Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях, Москва, 19 октября 2023 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. – С. 237-239. – EDN VTOBAX.
4. Патент на полезную модель № 220671 U1 Российская Федерация, МПК В25В 25/00. Устройство для навязки проволоочных хомутов : № 2023117311 : заявл. 29.06.2023 : опубл. 28.09.2023 / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, П. В. Пучков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий". – EDN CVTNMJ.
5. Приказ МЧС России № 737 от 01.10.2020 «Об утверждении руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

УДК 66.045.12

А.А. Кочетова, М.А. Тельманова, М.А. Ноздрин

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: Проведен сравнительный анализ теплообменников по термомеханическим характеристикам конструкционных материалов. Выявлены конструктивные особенности, технические решения, преимущества и потенциальные области применения современных запатентованных разработок. Рассматривается моделирование теплообменного аппарата, способного работать с загрязненными жидкостями.

Ключевые слова: теплообменный аппарат, утилизация тепла, энергоэффективность.

A.A. Kochetova, M.A. Telmanova, M.A. Nozdrin

STUDY OF THE INFLUENCE OF THERMO-MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS IN THE STRUCTURES OF HEAT EXCHANGE APPARATUS

Abstracts: A comparative analysis of heat exchangers based on the thermomechanical properties of their structural materials is conducted. The design features, technical solutions, advantages and potential areas of application of modern patented developments are identified. Modeling of a heat exchanger capable of handling contaminated liquids is considered.

Keywords: heat exchanger, heat recovery, energy efficiency.

Теплообменные аппараты (теплообменники) являются неотъемлемой частью современной промышленности и энергетики. Они служат для передачи тепловой энергии от одной среды (горячего теплоносителя) к другой (холодному теплоносителю) без их непосредственного смешивания (в большинстве случаев).

В условиях роста цен на энергоносители теплообменники, позволяющие рекуперировать тепловую энергию, оказывают всё большее влияние на экономику производств. Грамотное применение теплообменного оборудования существенно снижает удельные затраты на энергоресурсы.

На скорость передачи тепловой энергии влияют три главных фактора: площадь поверхности теплообмена, разность температур между средами (движущая сила процесса) и коэффициент теплопередачи, который определяется материалом стенки, её толщиной и скоростью движения потоков.

Для сравнения приведем инновационные разработки, демонстрирующие разные подходы к интенсификации теплообмена.

Теплообменник с каплевидными микровыемками [1] использует нанесение на поверхность углубления с переменной кривизной стенок вместо привычных сферических (рис. 1). Такая геометрия обеспечивает «безотрывное обтекание» — поток плавно огибает выемку, не создавая турбулентных завихрений, которые увеличивают сопротивление. Это позволяет одновременно усилить теплообмен и снизить гидравлические потери, что особенно важно для газовых теплообменников, где затраты

на преодоление трения сопоставимы с передаваемой тепловой энергией. Областью применения являются энергетика, промышленность, где важно снижение энергозатрат на прокачку теплоносителя.

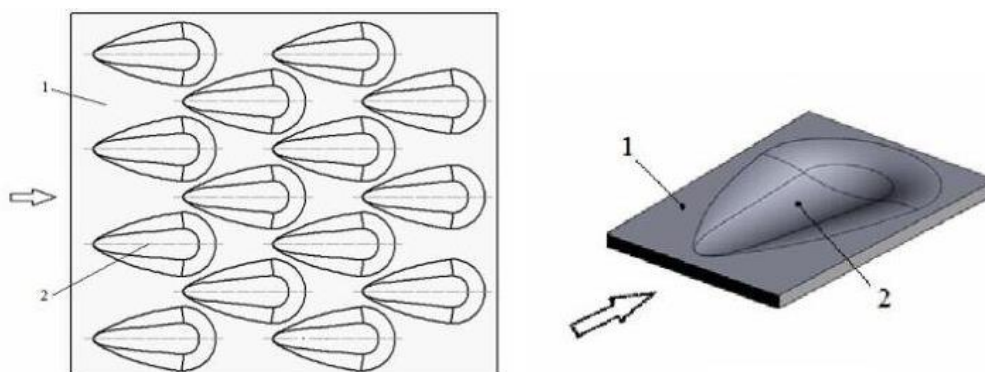


Рис. 1. Теплообменная поверхность с каплевидными выемками

Теплообменник с графеновым покрытием [2] для охлаждения воздуха (например, в вычислительном оборудовании) содержит сборку плоских трубок с покрытием из материала, включающего графен и барийсодержащий компонент (барит), нанесенный на алюминиевый корпус трубок. Графен обеспечивает равномерное распределение тепла и высокий КПД (более 93%), покрытие защищает алюминий от агрессивных сред и снижает прилипание минералов, предотвращая образование осадка при водяном охлаждении. Барит придает микрошероховатость, за счет чего вода задерживается на поверхности, увеличивая время теплообмена. Областью применения являются системы охлаждения серверов и вычислительной техники, системы кондиционирования.

Целью данной работы является создание модели теплообменного аппарата, способного взаимодействовать с загрязнёнными жидкостями [3]. Промышленные стоки содержат нерастворимые взвешенные вещества с твердой грубо-и мелкодисперсной фазой, которые могут формировать в теплообменниках слой отложений, снижая коэффициент теплопередачи.

На основе расчета МКЭ спроектирована модель (рис. 2), имеющая четыре вертикальные панели. Данный теплообменный аппарат способен утилизировать отработанное тепло для минимизации энергопотребления в текстильном производстве. Конструкция обрабатывает загрязненные жидкости непрерывно вращающимися элементами. Модель 3D реализуется в программном комплексе SOLIDWORKS.

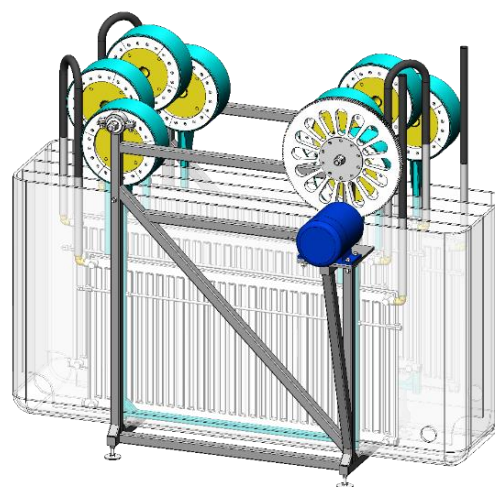


Рис. 2. Модель теплообменного аппарата

В табл. 1 приведены перепады температур холодной и горячей воды. Индекс панелей 1, 2, 3, 4 обозначает номер панели по потоку, _' – параметр теплоносителя на входе в панель; _'' – параметр теплоносителя на выходе из панели. Рис. 3 иллюстрирует динамику нагрева холодной воды (1) и охлаждения горячей воды (2).

Таблица 1. Перепады температур холодной и горячей воды

Температура, К	Номер панели по потоку							
	Холодная вода				Горячая вода			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Вход (_')	288,5	301,4	312,5	325,5	368,2	359,0	347,0	336,8
Выход (_'')	300,0	311,0	323,0	334,0	359,0	347,0	336,8	324,5
Перепад на панели, Δ	+ 11,5	+ 9,6	+ 10,5	+ 8,5	- 9,2	- 12,0	- 10,2	- 12,3
Перепад общий, $\Delta_{\text{общ}}$	+ 40,1				- 43,7			

Графики показывают, что максимальный перепад температур для холодной воды составил 40,1 градуса и для горячей воды 43,7 градуса. Это позволяет снизить температуру производственных сточных вод при сбросе в канализацию до рекомендаций, утверждённых ФГУ ВНИИПО МЧС РФ 24.05.2004.

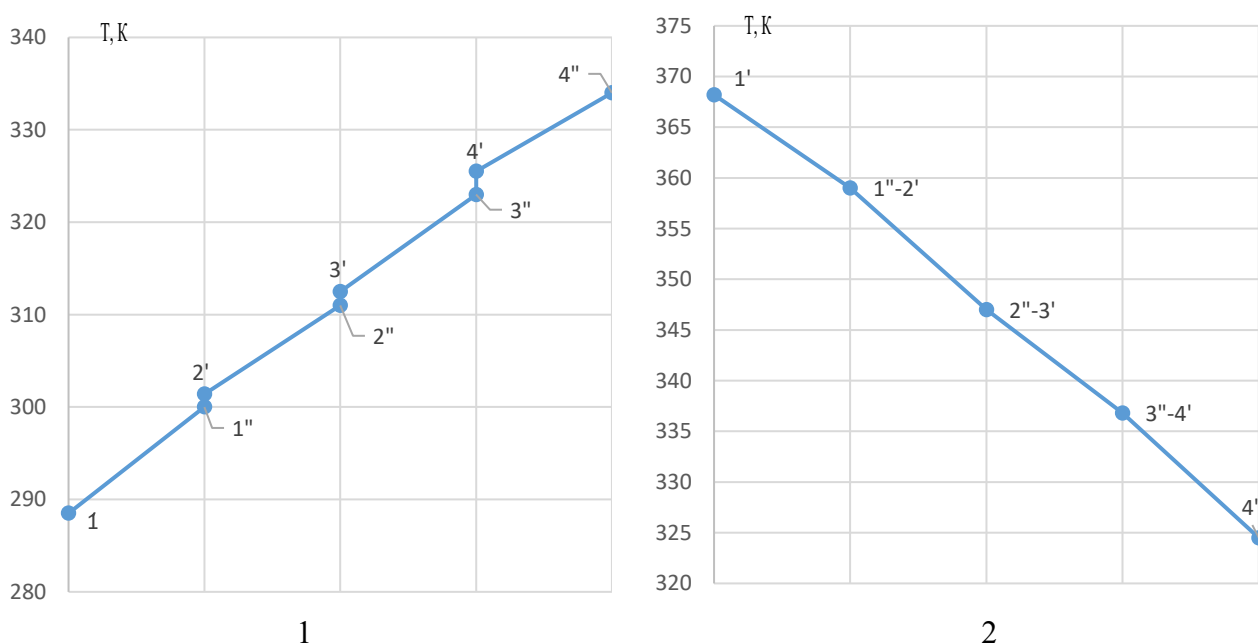


Рис. 3. Перепад температуры 1 – холодной, 2 – горячей воды

Представленные разработки демонстрируют разные векторы развития теплообменной техники: разработка [1] ориентирована на энергосбережение через оптимизацию микрогеометрии поверхности; патент с графеновым покрытием [2] решает комплекс проблем долговечности и эффективности через применение наноматериалов. Динамический теплообменный аппарат [3] позволяет работать в условиях загрязненных жидкостей.

В табл. 2 представлено сравнение инновационных разработок, а также динамического теплообменного аппарата.

Таблица 2. Сравнение инновационных разработок

Критерий сравнения	Каплевидные выемки [1]	Графеновое покрытие [2]	Разработанная модель динамического теплообменного аппарата [3]
Объект инновации	Геометрия поверхности (микрорельеф)	Материал покрытия (композит с графеном)	Наличие движущихся частей (возвратно-поступательно)
Основная решаемая задача	Снижение гидравлического сопротивления при высокой теплоотдаче	Защита от коррозии, накипи и повышение теплопроводности	Обработка загрязненных жидкостей грубодисперсными частицами
Механизм работы	Безотрывное обтекание каплевидных выемок	Сверхбыстрое распределение тепла графеном и микрошероховатость барита	Непрерывно вращающиеся теплообменные панели
Ключевое преимущество	Энергоэффективность: снижение потерь на трение	Многофункциональность: теплопроводность, защита и самоочищение	Наличие центробежной силы не дает загрязнениям прилипнуть к поверхностям
Ограничения	Требует точного профилирования при производстве	Сложность состава и нанесения покрытия	Наличие электропривода
Целевая область применения	Промышленные газовые и жидкостные теплообменники	Высокотехнологичные системы охлаждения (IT-оборудование)	Текстильное производство и молочная промышленность

Теплообменники играют ключевую роль в обеспечении энергоэффективности современных производств и систем жизнеобеспечения. Выбор конкретного типа аппарата — компромисс между техническими характеристиками и экономической целесообразностью.

Анализ современных российских патентов свидетельствует, что развитие теплообменной техники идет по нескольким направлениям: работа с микрогеометрией поверхности (каплевидные выемки) и применение наноматериалов (графеновые покрытия). Эти разработки имеют большой потенциал для импортозамещения и повышения энергоэффективности российской промышленности. Представленная разработка модели динамического теплообменного аппарата позволяет обрабатывать загрязненные жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент RU 2848571. Российская Федерация, МПК F28D7/00. Теплообменник / Попов И.Н., Гогуа В.В.; патентообладатель — Российская Федерация. — заявл. 10.01.2023; опубл. 29.01.2024.
2. Патент RU 2825805. Российская Федерация, МПК F28D7/00. Теплообменник / Мариничев Д.Н., Гогуа В.В.; патентообладатель — Российская Федерация. — заявл. 21.02.2023; опубл. 29.08.2024.
3. Михайлишина А.А., Ноздрин М.А. Расчет модели конструкции теплообменного аппарата // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 г. — Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. — 475 с. (272 с.).

УДК 614.844.2

Я.М. Кузнецов¹, Л.Ю. Фомичев², Ю.Н. Фомичев³

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет¹;

ГБУ «Центр экспертиз, исследований и испытаний в строительстве»²;

ООО «МПСТРОЙЭКСПО»³

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИСПЫТАНИЙ И ДИАГНОСТИКИ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ СИСТЕМ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ ИХ НАДЕЖНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

Аннотация: рассмотрена автоматизация испытаний и диагностики противопожарных систем как фактор повышения их эксплуатационной надежности на объектах хранения нефти и нефтепродуктов. Показано, что ограниченная полнота регламентных проверок, значительная доля скрытых отказов и отсутствие инструментально подтверждаемой информации о фактических параметрах работы системы снижают достоверность выводов о ее готовности к срабатыванию. На основе нормативного анализа, обобщения статистики работы пожарной автоматики за 2017–2024 гг., результатов опроса специалистов и обзора технических решений обоснована целесообразность перехода к автоматизированным процедурам испытаний с регистрацией расхода, давления, положения арматуры и результатов пуска. Установлено, что автоматизация позволяет уменьшить влияние организационных ограничений на полноформатные проверки и повысить прослеживаемость эксплуатационных данных.

Ключевые слова: надежность; противопожарные системы; автоматизация испытаний; диагностика; нефтебаза; спринклерные установки; эксплуатационный контроль.

Ya.M. Kuznetsov, L.Yu. Fomichev, Yu.N. Fomichev

AUTOMATION OF TESTING AND DIAGNOSTICS OF FIRE PROTECTION SYSTEMS AS A FACTOR IN IMPROVING THEIR RELIABILITY AT OIL AND PETROLEUM PRODUCT STORAGE FACILITIES

Abstract: the paper considers automation of testing and diagnostics of fire protection systems as a factor in improving their operational reliability at oil and petroleum product storage facilities. It is shown that incomplete full-scale inspections, hidden failures, and the lack of instrumentally verified information on actual operating parameters reduce the reliability of readiness assessment. Based on regulatory analysis, a summary of fire automation statistics for 2017–2024, expert survey data, and a review of technical solutions, the feasibility of automated test procedures with recording of flow rate, pressure, valve position, and start-up results is substantiated. The proposed approach reduces the influence of organizational constraints on inspections and improves traceability of operational data.

Keywords: reliability; fire protection systems; automated testing; diagnostics; oil depot; sprinkler systems; operational control.

Обеспечение надежности противопожарных систем на объектах хранения нефти и нефтепродуктов должно рассматриваться как задача всего жизненного цикла, а не только стадии проектирования. Для резервуарных парков, насосных станций и зданий производственно-складского назначения определяющее значение имеет способность системы длительно сохранять работоспособное состояние и подтверждать его испытаниями, воспроизводимыми по процедуре и сопоставимыми по результату. Для объектов нефтебазового хозяйства полноформатные проверки нередко сопряжены с технологическими ограничениями, необходимостью согласования с режимом эксплуатации объекта и высокой ценой ошибочного вывода о готовности системы к пуску [2, 4, 7–9, 11–12].

Современные публикации показывают, что снижение фактической результативности противопожарных систем в эксплуатации в значительной мере обусловлено не единичными конструктивными дефектами, а совокупностью эксплуатационных факторов: отключением отдельных контуров, нарушением положения запорной арматуры, отклонением гидравлических параметров от расчетных значений, формальным характером проверок и недостаточной инструментальной фиксацией результатов [1–12]. Для объектов хранения нефти и нефтепродуктов данный вывод имеет принципиальное значение, поскольку последствия скрытой неработоспособности здесь несоизмеримо выше, чем на объектах с меньшей пожарной нагрузкой. В этой связи резерв повышения надежности смещается из области исключительно проектных решений в область эксплуатационного контроля, диагностики и верифицируемых испытаний.

Цель работы состоит в обосновании положения о том, что автоматизация испытаний и диагностики противопожарных систем является самостоятельным фактором повышения их надежности на объектах хранения нефти и нефтепродуктов. В основу исследования положены анализ опубликованных работ по пожарной автоматике и противопожарному водоснабжению, рассмотрение современных подходов к инструментальному контролю параметров, а также обобщение практики испытаний систем противопожарной защиты на объектах строительства и эксплуатации [1–8, 11–12]. Такая постановка вопроса позволяет связать надежность не только с вероятностью отказа элемента, но и с полнотой подтверждения фактических параметров системы в реальных условиях эксплуатации.

На рисунке приведена расчетная зависимость плотности теплового потока и термической дозы от расстояния до очага пожара для характерного сценария проливного горения на открытой площадке объекта хранения нефтепродуктов. С

научно-практической точки зрения данный график важен не как самостоятельная модель последствий, а как наглядная количественная характеристика той цены, которую имеет ошибочный вывод о готовности противопожарной системы к срабатыванию. При расстоянии порядка 20 м плотность теплового потока сохраняется на уровне около 4 кВт/м², а при расстоянии около 41 м снижается до 1 кВт/м², что позволяет выделить зоны критического, ограниченно допустимого и условно допустимого пребывания персонала. Следовательно, достоверность результатов испытаний должна оцениваться с учетом того, что неполное подтверждение работоспособности системы непосредственно повышает вероятность пребывания людей в зонах А и В без гарантированного ограничения развития пожара [2, 4, 7–9, 11–12].

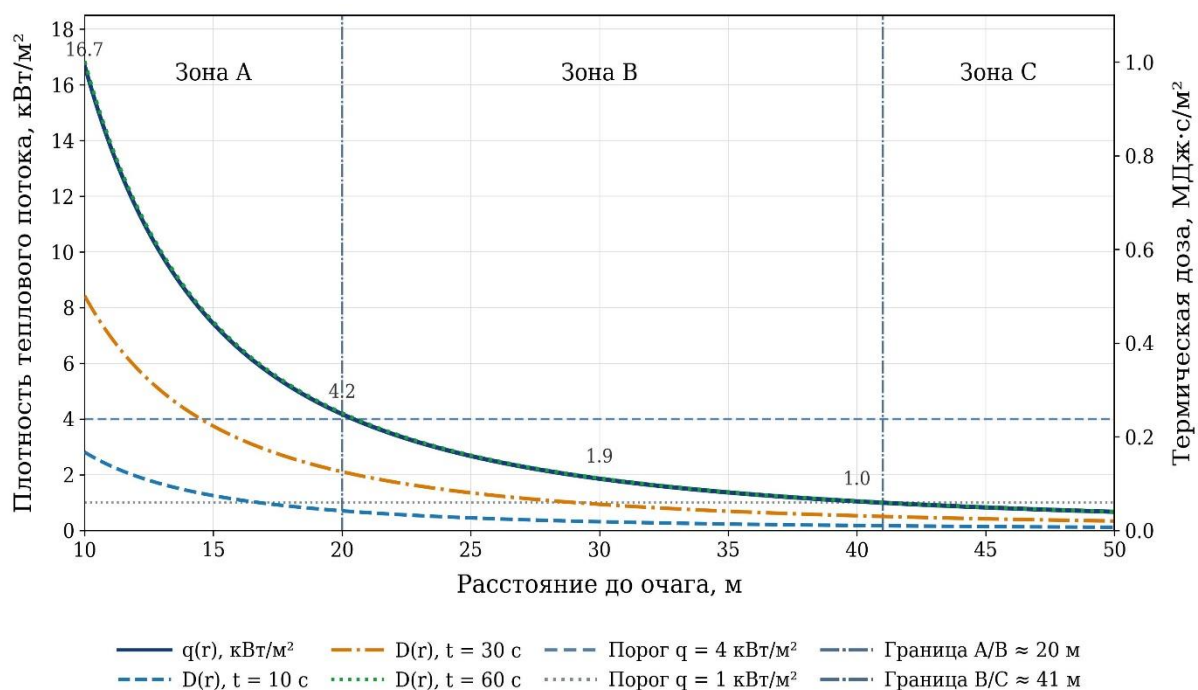


Рисунок. Расчетная зависимость плотности теплового потока и термической дозы от расстояния до очага пожара

Представленные зависимости показывают, что при неизменном расстоянии увеличение времени воздействия с 10 до 60 с приводит к кратному росту термической дозы. Для рассматриваемого класса объектов это означает, что существенное значение имеют не только номинальные проектные характеристики установки, но и подтвержденные в ходе испытаний фактические параметры ее функционирования: время пуска, устойчивость работы насосной группы, достижение требуемого расхода и давления на диктующем направлении, а также корректное положение арматуры [1, 3–4, 11]. Автоматизированное испытание в данном контексте выступает средством снижения неопределенности эксплуатационного состояния системы.

Практически значимый эффект достигается при переводе наиболее трудоемких операций в инструментально контролируемый режим: дистанционный запуск испытательного контура, автоматическая регистрация давления и расхода, контроль состояния задвижек, цифровое протоколирование результатов и накопление массива эксплуатационных данных для последующего анализа [1–2, 4, 6, 11]. Такой подход

повышает повторяемость проверки, уменьшает влияние человеческого фактора и создает предпосылки для перехода от формального подтверждения исправности к количественно обоснованной оценке работоспособности.

Таким образом, автоматизация испытаний и диагностики противопожарных систем должна рассматриваться как технологически и методически обоснованный механизм повышения их надежности на объектах хранения нефти и нефтепродуктов. Ее внедрение позволяет повысить достоверность эксплуатационного контроля, сократить число скрытых отказов, обеспечить прослеживаемость изменений гидравлических и управляющих параметров, а также увязать результаты испытаний с оценкой тяжести возможных последствий при отказе системы [1–12]. Для дальнейшего развития данного направления представляется целесообразным нормативное и методическое закрепление автоматизированных процедур проверки, а также их интеграция в цифровой контур управления пожарной безопасностью объекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранчикова Н.И., Кульков В.Н., Корельштейн Л.Б., Михайловский Е.А. Гидравлический расчет защитных водяных завес // Техносферная безопасность. 2025. № 4 (49). С. 64–76.
2. Буцынская Т.А., Рубцов Д.Н., Членов А.Н. Мониторинг перспективных разработок в области пожарной автоматики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2024. № 1. С. 86–92. DOI: 10.25257/FE.2024.1.86-92.
3. Михайловский Е.А. Моделирование гидравлических режимов работы водяных систем пожаротушения в сети Интернет // Водоснабжение и санитарная техника. 2020. № 5. С. 19–23. DOI: 10.35776/MNP.2020.05.03.
4. Пицык В.В., Ичмелян А.Б. Математическая модель прогнозирования затрат на остаточный ресурс эксплуатации систем противопожарной защиты // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2024. № 4. С. 157–164. DOI: 10.25257/FE.2024.4.157-164.
5. Прус Ю.В., Чистякова А.А., Прус М.Ю. Исследование эффективности систем противопожарной защиты на основе матричного представления пожарных рисков // Техносферная безопасность. 2020. № 3 (28). С. 44–62.
6. Скрынников А.Ю., Треушков И.В. Результаты испытаний опытного образца мобильного средства локализации разливов нефти и нефтепродуктов // Техносферная безопасность. 2025. № 4 (49). С. 138–149.
7. Фомичев Л.Ю., Копысов И.В., Сухарский С.П., Челекова Е.Ю. Оценка предела огнестойкости воздуховодов систем противодымной вентиляции // Техносферная безопасность. 2025. № 4 (49). С. 4–19.
8. Фомичев Л.Ю., Минаева И.А. Повышение надежности автоматической пожарной сигнализации на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Безопасность труда в промышленности. 2024. № 12. С. 47–52. DOI: 10.24000/0409-2961-2024-12-47-52.
9. Фомичев Л.Ю., Минаева И.А., Кузнецов Я.М. Комплексная оценка пожарных рисков эксплуатации здания с учетом компенсирующих мероприятий // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 269–284. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.70.37.026.

10. Фомичев Л.Ю., Минаева И.А., Марков А.Г. Вопросы пожароопасности литий-ионных аккумуляторных батарей в процессе утилизации // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 3 (75). С. 77–86. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-3-77-86.

11. Фомичев Л.Ю., Минаева И.А., Марков А.Г., Сухарский С.П., Челекова Е.Ю. Особенности испытаний внутреннего противопожарного водопровода в рамках государственного строительного надзора // Технологии техносферной безопасности. 2025. Вып. 2 (108). С. 94–109. DOI: 10.25257/TTS.2025.2.108.94-109.

12. Холостов А.Л., Чистяков Т.И. Влияние температурных режимов пожара на характеристики сигнальных кабелей // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2024. № 4. С. 79–86. DOI: 10.25257/FE.2024.4.79-86.

УДК 620.22

В.А. Кукушкина, А.П. Нартова

Липецкий государственный технический университет

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: в статье рассматриваются современные тенденции развития композитных материалов и основные направления их применения в различных отраслях промышленности. Анализируются физико-механические свойства композитов, особенности их структуры и технологические преимущества по сравнению с традиционными материалами. Особое внимание уделяется использованию композитов в строительстве, машиностроении и авиационной промышленности. Делается вывод о высокой перспективности дальнейшего внедрения композитных материалов в условиях технологического развития.

Ключевые слова: композитные материалы, полимерные композиты, армирование, прочность, инновационные технологии.

V.A. Kukushkina, A.P. Nartova

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF COMPOSITE MATERIALS

Abstract: The article examines current trends in the development of composite materials and the main directions of their application in various industries. The physical and mechanical properties of composites, structural features and technological advantages over traditional materials are analyzed. Particular attention is paid to the use of composites in construction, mechanical engineering and aerospace industry. The conclusion is made about the high prospects for further implementation of composite materials in the context of technological development.

Keywords: composite materials, polymer composites, reinforcement, strength, innovative technologies.

Развитие современной промышленности невозможно без внедрения новых конструкционных материалов, обладающих улучшенными эксплуатационными характеристиками. Одним из наиболее перспективных направлений является использование композитных материалов, сочетающих в себе преимущества

нескольких компонентов и обеспечивающих высокие показатели прочности, жёсткости и долговечности при относительно малой массе.

Композитные материалы представляют собой многокомпонентные системы, состоящие из матрицы и армирующего наполнителя. Матрица выполняет функцию связывающего элемента и обеспечивает передачу нагрузки между армирующими компонентами. В качестве матрицы могут использоваться полимеры, металлы или керамика. Армирующими элементами выступают волокна, частицы или слоистые структуры, определяющие механические свойства материала.



Рис. 1. Структура волокнистого композиционного материала

Одним из ключевых преимуществ композитов является возможность целенаправленного формирования их свойств. Путём изменения типа матрицы, вида армирования и ориентации волокон можно регулировать прочностные характеристики, термостойкость и устойчивость к агрессивным средам. Это отличает композиты от традиционных однородных материалов, свойства которых заданы природной структурой и ограничены возможностями легирования.

В строительной отрасли композитные материалы применяются для усиления несущих конструкций, производства арматуры, фасадных панелей и других элементов. Композитная арматура обладает высокой коррозионной стойкостью и значительно меньшей массой по сравнению со стальной. Это позволяет снизить нагрузку на фундамент и увеличить срок службы зданий. Применение стеклопластиков и углепластиков способствует повышению энергоэффективности строительных объектов.

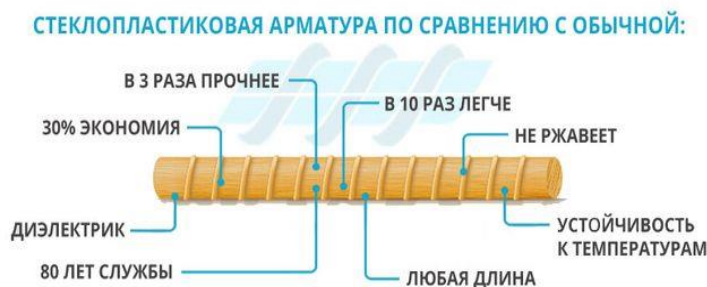


Рис. 2. Композитная арматура из стеклопластика

В машиностроении композиты применяются при изготовлении деталей, работающих в условиях нагрузок. Использование композитов снижает массу, что способствует повышению производительности оборудования.

Полимерные композиционные материалы отличаются высокой износостойкостью и устойчивостью к химическим воздействиям.



Рис. 3. Применение углепластиков в авиационной промышленности

Особое значение композитные материалы имеют в авиационной и космической промышленности. Уменьшение массы конструкций напрямую влияет на снижение расхода топлива и увеличение полезной нагрузки. Применение углепластиков в конструкции летательных аппаратов позволяет повысить прочность и жёсткость при одновременном уменьшении веса. Кроме того, композиты обеспечивают возможность создания деталей сложной формы, что способствует совершенствованию аэродинамических характеристик.

Применение композиционных материалов (КМ) в конструкциях летательных аппаратов вызвано необходимостью снижения массы, экономии топлива, уменьшения производственных и эксплуатационных затрат, а также решения ряда проблем, связанных с надежностью и увеличением ресурса. Специфика создания полимерного композиционного материала (ПКМ) одновременно с формированием конструкции детали или узла определяет необходимость изыскания специальных автоматизированных технологий, оборудования и технологической оснастки, направленных на обеспечение стабильности реализации заданных свойств при ее изготовлении и эксплуатации [3].

Перспективным являются применение нанокompозитов, содержащих наночастицы и углеродные нанотрубки. Их использование позволяет значительно повысить свойства материалов.

Значимым является экологический аспект. В настоящее время ведутся исследования по созданию биоразлагаемых матриц и натуральных волокон в качестве армирующих компонентов.

Таким образом, композитные материалы обладают значительным потенциалом для дальнейшего развития и широкого внедрения в различные отрасли промышленности. Совершенствование технологий производства, повышение эксплуатационных характеристик и снижение стоимости позволят расширить сферы их применения и обеспечить устойчивое технологическое развитие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Капустин В.И. Композиционные материалы: учебное пособие. М.: Машиностроение, 2020. 256 с.
2. Баранов А.А. Полимерные композиционные материалы и их применение // Материаловедение. 2021. № 4. С. 15–22.
3. Боголюбов, В. С. Технологические проблемы механики и автоматизация композитного авиастроения / В. С. Боголюбов, И. В. Малков // Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности : Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и Международного Косыгинского Форума, Москва, 16 октября 2019 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2019. – С. 55-58.
4. Иванов С.П., Петров Д.Н. Современные направления развития композитных материалов // Современные технологии. 2022. № 7. С. 33–39.
5. Бородин, Д. А. Применение метода экспертных оценок в металлургии при работе с машинами непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) / Д. А. Бородин, А. Н. Роговский, В. А. Кукушкина // Школа молодых ученых Липецкого государственного технического университета : Сборник трудов региональной научной конференции студенческого научного общества Липецкого государственного технического университета, Липецк, 16 апреля – 14 2025 года. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2025. – С. 364-368.
6. Кантарюк, Е. А. Экономические и экологические вызовы использования материалов / Е. А. Кантарюк, В. А. Кукушкина, Т. К. Леснухина // Инновационная экономика и право. – 2025. – № 1(29). – С. 48-54. – DOI 10.53015/2782-263X_2025_1_48.

УДК 614.846

С.О. Куртов

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОЖАРНОГО НАСОСА ПРИ ПЕРЕКАЧКЕ ВОДЫ ПО СХЕМЕ «ИЗ НАСОСА В НАСОС»

Аннотация: в статье представлены результаты исследования, направленного на определение граничных параметров безопасной работы центробежных пожарных насосов при перекачке воды по схеме «из насоса в насос». Основой для расчётов послужили экспериментально полученные гидравлические характеристики современных напорных пожарных рукавов. Выявлен и физически обоснован парадокс повышенного риска выхода приемного насоса из строя при использовании коротких рукавных линий (1-3 рукава) с максимальной или близкой к ней подаче (например, 32 л/с).

Ключевые слова: напор, пожарный рукав, гидравлическое сопротивление, пожарный насос, перекачка воды.

S.O. Kurtov

DETERMINATION OF THE BOUNDARY PARAMETERS OF THE SAFE OPERATION OF A CENTRIFUGAL FIRE PUMP WHEN PUMPING WATER ACCORDING TO THE "FROM PUMP TO PUMP" SCHEME

Abstract: The article presents the results of a study aimed at determining the boundary parameters of safe operation of centrifugal fire pumps when pumping water according to the "pump to pump" scheme. The calculations were based on experimentally obtained hydraulic characteristics of modern pressure fire hoses. The paradox of an increased risk of intake pump failure when using short sleeve lines (1-3 sleeves) with a high flow rate (27-32 liters/s) has been identified and physically justified.

Keywords: pressure, fire hose, hydraulic resistance, fire pump, water pumping.

Научный коллектив Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России ведёт работу по совершенствованию методик расчёта бесперебойной подачи воды при тушении пожаров, в том числе способами ее подвоза и перекачки. В работе [1] выполнен анализ существующих технических средств и схем, применяемых для организации бесперебойной подачи воды между автоцистернами (АЦ) пожарных подразделений. Обязательным условием при организации перекачки воды по схеме «из насоса в насос» является поддержание на входе во всасывающую полость каждого последующего насоса напора в диапазоне от 10 м до 60 м (максимальное значение напора для приемных пожарных насосов с графитовыми уплотнительными сальниками) [2;3]. Следовательно, водительский состав, организующий перекачку по схеме (рисунок), обязан контролировать напор на выходе своего насоса, не допуская превышения предельного значения для приемного насоса – 60 м (это исключает риск повреждения сальниковых уплотнений приемного насоса).

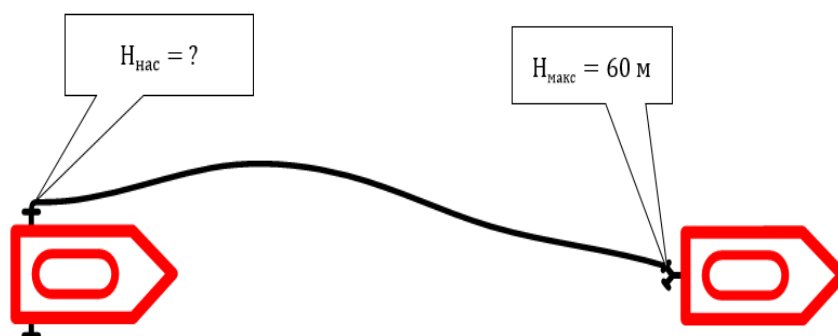


Рисунок. Схема перекачки воды из АЦ в АЦ способом «из насоса в насос» с использованием РПН DN80

Значение фактического напора на пожарном насосе $H_{\text{нас}}$ в условиях турбулентного течения определяется в зависимости от количества напорных рукавов и расхода воды в ступени перекачки (рис.1) согласно формуле [4]:

$$H_{\text{нас}} = H_{\text{макс}} + H_{\text{рук}}^{\text{расч}} = H_{\text{макс}} + N_{\text{рук}} \times S_p \times Q^2, (\text{м}), \quad (1)$$

где $H_{\text{макс}}$ – допустимое максимальное значение напора для приемных пожарных насосов с графитовыми уплотнительными сальниками, м;

$H_{\text{рук}}^{\text{расч}}$ – расчетное значение потерь напора в напорной рукавной линии между АЦ, м;

$N_{\text{рук}}$ – количество пожарных рукавов в рассматриваемой линии, шт.;

S_p – гидравлическое сопротивление одного латексированного пожарного рукава DN80 и длиной 20 метров [5], $((\text{с/л})^2 \times \text{м})$;

Q – объемный расход в рассматриваемой рукавной линии, л/с.

По формуле (1) были рассчитаны значения напора на пожарном насосе нормального давления (НЦПН – 40/100) при использовании одного, двух и трех пожарных рукавов DN80 с пропускной способностью 32 л/с [6] и гидравлическим сопротивлением – 0,0088 $((\text{с/л})^2 \times \text{м})$ [5].

$$H_{\text{нас}} = 60 + 1 \times 0,0088 \times 32^2 = 69 (\text{м}),$$

$$H_{\text{нас}} = 60 + 2 \times 0,0088 \times 32^2 = 78 (\text{м}),$$

$$H_{\text{нас}} = 60 + 3 \times 0,0088 \times 32^2 = 87 (\text{м}).$$

Проведенный расчет позволяет выявить определенную закономерность: при использовании трех и менее рукавов DN80 в схеме «из насоса в насос» на входе приёмного насоса возникает избыточный напор, создающий высокий риск разрушения его сальниковых уплотнений при работе насоса на максимальной или близкой к ней подаче (например, 32 л/с) [4].

Выявленный практический парадокс заключается в следующей зависимости: уменьшение длины магистральной рукавной линии повышает риск выхода из строя (повреждения) приемного насоса. Следовательно, водитель пожарного автомобиля обязан контролировать предельный напор с учетом фактической подачи насоса и протяжённости рукавной линии.

Перспективным направлением для решения данной задачи является разработка мобильного приложения для оперативного расчета безопасных режимов работы насосов непосредственно на месте пожара, что позволит повысить надежность работы пожарной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куртов, С. О. Критический анализ способов бесперебойной подачи воды к месту пожара / С. О. Куртов, А. Ю. Трояк, В. П. Малый // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 21 апреля 2023 года. – Железногорск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирская пожарно-спасательная академия" Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий", 2023. – С. 97-101. – EDN PBNWVS.

2. Тарасов, С. В. Организация подачи (транспортировки) огнетушащих веществ на тушение пожаров способом перекачки / С. В. Тарасов, Д. Ю. Пигусов, Н. С. Пустовалова // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2024. – № 2. – С. 62-72. – DOI 10.25257/FE.2024.2.62-72. – EDN SRMTJD.

3. Самохвалов, Ю. П. Перекачка. Расчет параметров / Ю. П. Самохвалов, А. В. Ермилов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 4(53). – С. 28-38. – EDN OQJDDR.

4. Определение граничных параметров напора пожарного насоса в условиях бесперебойной подачи воды / С. О. Куртов, В. Ю. Яровой, Я. В. Гребнев, А. С. Дубовский // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2025. – № 4(39). – С. 220-226. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.59.54.017. – EDN ZKOVLP.

5. Куртов, С. О. Метод экспериментального исследования гидравлического сопротивления напорных пожарных рукавов, выполненных из современных материалов / С. О. Куртов, В. П. Малый // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 4(53). – С. 22-27. – EDN BFKQFL.

6. Куртов, С. О. Расчетно-экспериментальное определение фактических значений максимальной пропускной способности напорных пожарных рукавов 20-метровой длины с различными диаметрами условного прохода / С. О. Куртов, В. П. Малый, Ю. Н. Коваль // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2024. – № 3(34). – С. 190-200. – DOI 10.34987/vestnik.sibpsa.2024.52.74.019. – EDN CDBDHW.

УДК 614.84

Я.Х-Х. Лаиев, А.В. Топоров

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация: Настоящая работа посвящена проектированию и созданию подъёмно-транспортного устройства — ручной тележки с электроприводом, предназначенной для демонтажа, перемещения и установки тяжёлых агрегатов пожарных автомобилей.

Ключевые слова: ремонт, пожарная техника, устройство, приспособление, грузовая тележка

Ya.H-H. Laiev, A.V. Toporov

DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR TRANSPORTING UNITS AND COMPONENTS DURING FIRE EQUIPMENT REPAIR

Abstracts: This work is dedicated to the design and creation of a lifting and transport device — a manual electric trolley designed for dismantling, moving, and installing heavy units of fire trucks.

Keywords: repair, fire equipment, device, fixture, cargo trolley

Современная пожарно-спасательная служба предъявляет высокие требования к техническому состоянию и готовности пожарной техники. От исправности и надёжности мобильных средств пожаротушения напрямую зависит эффективность реагирования на чрезвычайные ситуации, а значит — безопасность людей и сохранность имущества. Однако парк пожарной техники, особенно в регионах с интенсивной эксплуатацией, подвержен значительному износу. По оценкам специалистов, уровень износа аварийно-спасательной и пожарной техники в отдельных подразделениях может достигать 70 % [1]. В таких условиях своевременное и качественное техническое обслуживание и ремонт становятся ключевыми факторами поддержания боевой готовности.

Традиционные методы ремонта зачастую требуют значительных физических усилий от персонала, что увеличивает риск травматизма и снижает производительность труда. Использование специализированного оборудования позволяет не только повысить качество работ, но и обеспечить безопасность сотрудников [2, 3, 4]. В связи с этим актуальной задачей становится разработка и внедрение компактных, мобильных и эффективных приспособлений для ремонта и обслуживания пожарной техники непосредственно в условиях пожарно-спасательных частей.

Пожарные автомобили работают в сложных условиях: высокие динамические нагрузки, перепады температур, воздействие агрессивных сред. Это приводит к ускоренному износу двигателей, трансмиссий и других узлов. Для восстановления техники применяется агрегатный метод ремонта — замена неисправного агрегата на новый или отремонтированный. Этот метод позволяет максимально быстро вернуть автомобиль в строй.

Однако для реализации агрегатного метода необходимы средства для безопасного подъёма и перемещения тяжёлых узлов (двигателей, коробок передач, мостов) массой до 200 – 300 кг. Специализированные ремонтные предприятия оснащены кран-балками, подъёмниками и кантователями, но в пожарных депо такое оборудование зачастую отсутствует из-за высокой стоимости или дефицита площадей.

Целью проекта стала разработка конструкции ручной тележки, отвечающей следующим требованиям: грузоподъёмность: до 200 кг; высота подъёма платформы: до 1500 мм; привод - электрический; компактность: возможность хранения в стесненных условиях.

В результате проектной работы были выполнены следующие этапы:

- расчеты, необходимые для правильной работы ручной тележки;
- созданы 3d модели предлагаемой тележки с использованием технологии автоматизированного проектирования (САПР или CAD);
- изготовлен прототип спроектированной модели; 4) испытать и проанализировать работу прототипа тележки;

предложены рекомендации по изготовлению моделей тележек для использования при ремонте и техническом обслуживании пожарной техники.

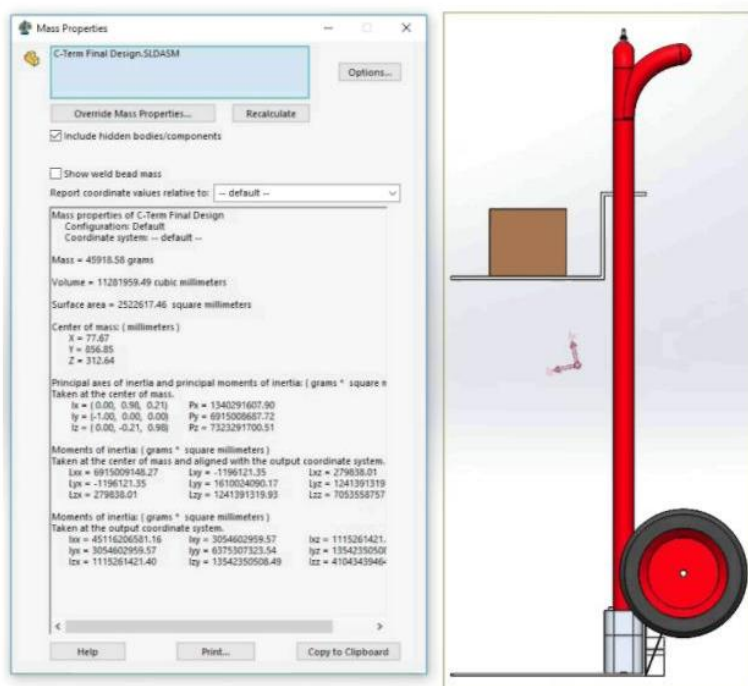


Рис. 1. Выходные данные SolidWorks для окончательной модели САПР с расположением центров тяжести, показанным для подъемной пластины в самом высоком положении с добавленной нагрузкой в 200 кг

Методика выполнения расчетов включала в себя расчет центра тяжести, расчет минимального крутящего момента, расчет минимальной мощности. Создание модели ручной тележки проводится с использованием технологии автоматизированного проектирования (САПР или CAD). Были созданы две CAD-модели ручной тележки: одна представляла собой полномасштабную модель продукта, а другая – аналогичную модель в масштабе 1:1,5, но созданную для целей прототипирования.

На рис. 1 представлена одна из стадий расчета устройства с использованием пакета САПР.

На рис. 2 приведена принципиальная схема устройства с указанием позиций.

Первым шагом в создании прототипа было присвоение каждой детали соответствующей позиции и выбор материала. Корпус двигателя, соединитель трубы, труба и подъемная пластина были изготовлены из алюминия. Передняя пластина и поперечина изготавливались из стали. Изготовление корпуса двигателя оказалось особенно трудным. Из-за глубины кармана, в котором должен был располагаться двигатель, пришлось использовать специальное сверло. Во время первой попытки обработки детали сверло сломалось из-за силы, испытываемой при изготовлении карманов. После выбора нового сверла и корректировки программы по снижению усилий деталь была изготовлена.

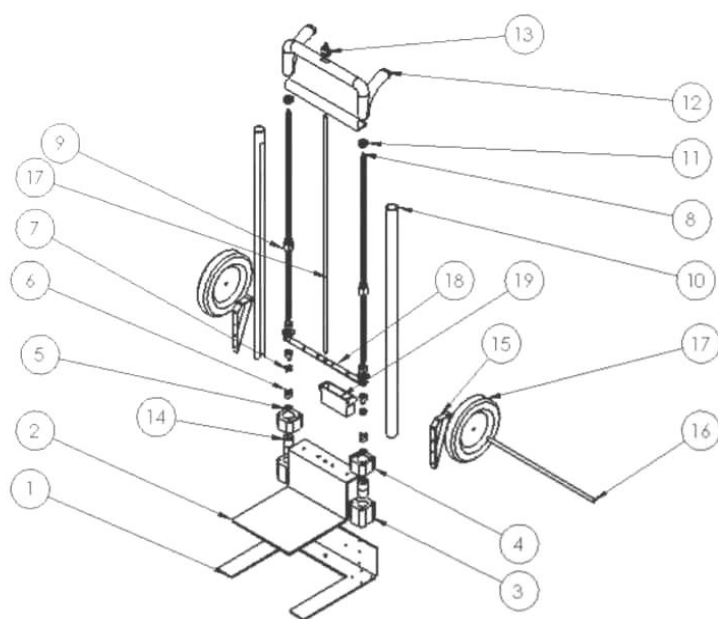


Рис. 2. Окончательный проект CAD в разобранном виде:
1 – передняя пластина,
2 – подъемная пластина,
3 – корпус двигателя,
4 – корпус для трубы,
5 – упорный подшипник,
6 – муфта вала,
7 – резиновая вставка вала,
8 – шариковый винт,
9 – шариковая гайка, 10 – рама,
11 – подшипник, 12 – рукоять,
13 – трехпозиционный переключатель ВКЛ/ВЫКЛ/ВКЛ,
14 – корпус двигателя,
15 – осевое крепление, 16 – ось,
17 – шина, 18 – поперечная балка,
19 – держатель аккумулятора

Далее был изготовлен соединитель трубы. В отличие от корпуса двигателя, соединитель трубы имел более сложные элементы. После сверления кармана пришлось просверлить шесть отверстий диаметром тридцать один миллиметр вокруг вала двигателя. Процесс обработки соединителя трубы оказался сложным, однако был успешно завершен с первой попытки, поскольку были применены знания и опыт, полученные в процессе обработки корпуса двигателя. Двигатели были подключены в начале сборки, поскольку они заключены в кожух внутри корпуса двигателя. Эти провода прошли через корпус двигателя и вышли на внешнюю поверхность трубы. Схема подключения включала подключение двигателей и аккумулятора в параллельную цепь и протягивание шести проводов от нижней части корпуса двигателя к ручке. Монтаж проводки и сборка деталей, описанных здесь завершились созданием прототипа ручной тележки. Полностью собранный прототип можно увидеть на рис. 3.

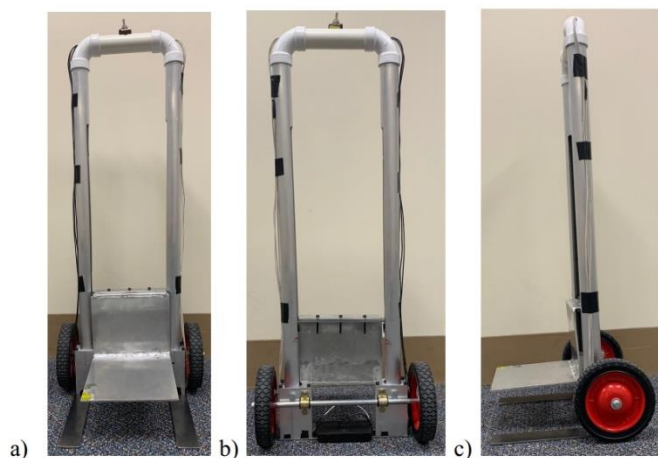


Рис. 3. Полностью собранный прототип ручной тележки:
а) вид спереди,
б) вид сзади
и в) вид сбоку

Наконец, прототип протестировали на передвижение с поворотами. Было обнаружено, что ручная тележка легко маневрирует, успешно выполняя повороты без каких-либо затруднений. Это показало, что колеса расположены правильно и что ручная тележка может передвигаться с места на место внутри пожарно-спасательного депо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березнюк В.П. Совершенствование технического обслуживания пожарной техники при проведении процессов ТО и ремонта // Молодой ученый. – 2020. – № 49 (339). – С. 582–584.
2. Предпосылки разработки мобильного подъемного устройства для проведения ремонта автомобильной техники / В. В. Киселев, П. В. Покровский, А. В. Топоров, И. А. Кононов // Ключевые проблемы и передовые разработки в современной науке : Сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции, Смоленск, 31 октября 2017 года. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью "НОВАЛЕНСО", 2017. – С. 125-127.
3. Повышение мобильности подъемных устройств для ремонта и технического обслуживания пожарных автомобилей / В. В. Киселев, А. В. Топоров, В. П. Зарубин, А. В. Карханов // Современное научное знание: теория, методология, практика : Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции: В 2-х частях, Смоленск, 31 января 2018 года. Том Часть 2. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью "НОВАЛЕНСО", 2018. – С. 41-43.
4. Дадиев, И. А. Разработка подъемного устройства для ремонта пожарной техники / И. А. Дадиев, А. В. Топоров // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XVI всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. – С. 183-185.

УДК: 621, 614.84

М.Д. Лашкин, А.В. Топоров, И.А. Легкова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА РОБОТА ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ

Аннотация: в статье рассматривается концепция робототехнического комплекса на основе шарнирно-сочлененного шасси для применения в чрезвычайных ситуациях – в условиях, опасных или недоступных для человека. Робота с такой конструкцией можно использовать и при спасательных операциях в городе, и в труднопроходимой местности. А поскольку все соединительные элементы конструкции одинаковые, робота проще собирать и ремонтировать.
Ключевые слова: робот, робототехнический комплекс, пожар, шасси, пожаротушение.

M.D. Lashkin, A.V. Toporov, I.A. Legkova

DEVELOPMENT OF A ROBOT WITH AN ARTICULATED DESIGN

Abstract: This article explores the concept of a robotic system based on an articulated chassis for use in emergency situations – in environments dangerous or inaccessible to humans. A robot with this design can be used in both urban rescue operations and in difficult terrain. Since all connecting elements are identical, the robot is easier to assemble and repair.

Keywords: robot, robotic complex, fire, chassis, firefighting.

Основное назначение робототехники в системе МЧС – выполнение работ в экстремальных условиях, опасных и вредных для человека, или исключаяющих его присутствие. Ключевым направлением является создание технологий, которые позволяют функционировать без участия людей, и тем самым минимизировать риски для пожарных и спасателей в чрезвычайных ситуациях (ЧС). Робототехнические комплексы для ЧС должны выполнять разведку, погрузочно-разгрузочные работы, тушение пожаров и поиск людей [1, 2]. В настоящее время существуют специализированные роботы для каждой задачи, что требует отдельной системы управления, запасных частей, инструментов и обучения специалистов. Расширение спектра операций, выполняемых одним комплексом, актуально для снижения затрат на обучение и обслуживание [3, 4].

Предложенная конструкция робота обеспечивает ряд преимуществ, таких как увеличенная проходимость, возможность выполнения ряда задач при помощи сменных модулей. Новизна заключается в том, что в основе конструкции шасси предложенного робототехнического комплекса лежит шарнирно-сочлененное соединение отдельных сегментов (рис. 1). Высокая проходимость и преодоление препятствий достигается наездом первого сегмента на неровность, шарнирное смещение этого сегмента относительно других сегментов и дальнейший плавный переезд. При таком сценарии несколько пар колес будут оставаться на поверхности без препятствия и проталкивать часть робота с колесами на дорожной неровности.

Предлагаемая конструкция шасси обеспечивает не просто преодоление препятствий, а плавную адаптацию робота к рельефу в реальном времени; т.к. шарнирными соединениями динамически перераспределяется нагрузка между сегментами, робот сохраняет устойчивость даже на резко пересеченной местности.

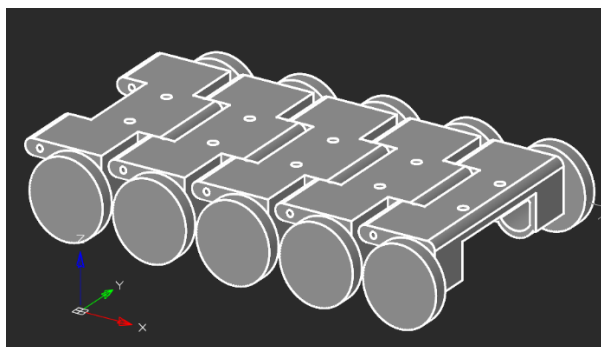


Рис. 1. Модель шасси шарнирно-сочлененной конструкции

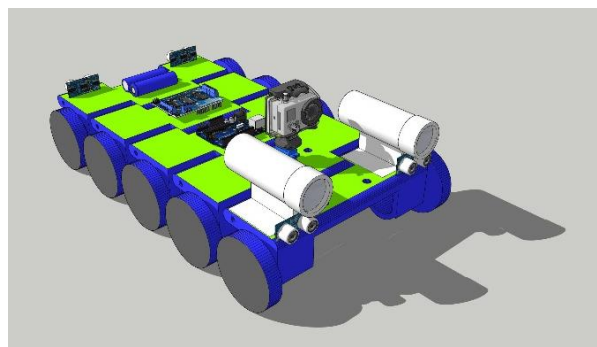


Рис. 2. Модуль для пожаротушения

За счет гибкости сочленений робот эффективно гасит ударные нагрузки при наезде на крупные неровности, энергия удара частично поглощается за счет взаимного смещения сегментов, что снижает риск повреждения механизмов и электроники. При этом непрерывный контакт с поверхностью нескольких пар колес гарантирует стабильное сцепление. Система автоматически балансирует распределение веса, поддерживая тяговое усилие и предотвращая пробуксовку.

Гибкая конфигурация сегментов также позволяет роботу преодолевать не только вертикальные препятствия, но и протяженные сложные участки, например, склоны с переменным уклоном, завалы с хаотично расположенными элементами или участки с чередованием твердого и рыхлого грунта. В таких условиях шасси подстраивается под микрорельеф, минимизируя риск застревания или опрокидывания. Отдельные сегменты могут приподниматься или опускаться, копируя контуры поверхности без потери общей управляемости.

В результате робот демонстрирует универсальность: он одинаково эффективно работает как на относительно ровных поверхностях (развивая высокую скорость), так и в экстремальных условиях (сохраняя проходимость и управляемость), что существенно расширяет спектр его применения – от городских аварийно-спасательных операций до работы в горной или лесистой местности.

Так как соединительные элементы робота идентичны, в случае возникновения поломки одного из сегментов, его можно будет отдельно заменить на другой такой же, это увеличивает качество и скорость сборки, обслуживания и ремонта.

Робототехнический комплекс на шарнирно-сочлененном шасси открывает различные функциональные возможности как для эксплуатации, так и для технического обслуживания после использования в практической деятельности.

В перспективе разработка модулей для данного шасси робототехнического комплекса с различным функционалом [5-8]. Одним модулем можно будет тушить пожары, другим проводить разведку, третьим осуществлять аварийно-спасательные работы (рис. 2).

Модульное строение обеспечит высокую адаптивность робототехнического комплекса. Его можно будет оперативно пересобирать под конкретные задачи и условия эксплуатации, не разрабатывая каждый раз новую систему с нуля.

Благодаря стандартизации соединительных элементов сборка и замена модулей станут максимально простыми, что сократит время простоя в случае ремонта и снизит требования к квалификации персонала. Кроме того, модульный подход упростит модернизацию. При разработке и внедрении более совершенных модулей их можно будет интегрировать в существующую систему, продлевая срок ее службы и сохраняя актуальность технических характеристик.

Таким образом, практическое применение робота с шарнирно-сочлененным шасси позволит:

- получить возможность гибкой настройки робототехнического комплекса с применением уже имеющихся компонентов для решения поставленной задачи;
- обеспечить сокращение необходимости использования множества узкоспециализированных робототехнических устройств;
- обеспечить возможность ремонта и модернизации путем замены отдельных наиболее часто используемых блоков;
- расширить область применения устройства благодаря разработке новых модулей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Квасов М.В., Легкова И.А. Роботизированная техника для тушения пожаров // Общественные проблемы инженерной подготовки кадров МЧС России: сборник трудов секции №16 XXX Международной научно-практической конференции, Химки, 19 марта 2020 года. Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2020. С. 65-69. – EDN ZSEBOJ.
2. Горбань Ю.И., Цариченко С.Г. Роботизированные установки пожаротушения – современные технологии пожаротушения с российским приоритетом // Пожаровзрывобезопасность. 2022. Т. 31, №5. С. 54-66. – DOI 10.22227/0869-7493.2022.31.05.54-66. – EDN YQUILQ.
3. Квасов М.В., Легкова И.А. Робототехнические комплексы на службе пожарной безопасности // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной 370-й годовщине образования пожарной охраны России, Иваново, 11 декабря 2019 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. С. 350-356. – EDN OAAABZ.
4. Киселев В.В., Иванов В.Е. Конструирование робототехнического комплекса легкого класса на основе модульной компоновки для мониторинга, разведки и тушения загораний // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 11. С. 483-485. – DOI 10.36652/0202-3350-2021-22-11-483-485. – EDN ANQSTW.
5. Квасов М.В., Легкова И.А. Перспективы совершенствования робототехнического комплекса // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России и 75-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов, Иваново, 16 апреля 2020 года. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2020. С.191-195. – EDN IWVXNO.
6. Жерехов Н.Д., Иванов В.Е. Разработка конструкции шестиколесного робота для проведения разведки в условиях чрезвычайных ситуаций // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 года. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. С. 190-193. – EDN RYIWIN.
7. Архангельский К.Н., Серебряков А.А., Иванов В.Е., Кропотова Н.А. Мобильный разведывательно-поисковый робот // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 года. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. С. 8-10. – EDN UTXAJF.
8. Киселев В.В., Топоров А.В., Иванов В.Е. Разработка разведывательного робототехнического комплекса легкого класса с возможностью установки различной полезной нагрузки // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 14 апреля 2020 года. Том 1. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС РФ, 2020. С. 67-69.
9. Патент на полезную модель № 165103 U1 Российская Федерация, МПК А62С 27/00. Гусеничная пожарная машина : № 2015146347/12 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 10.10.2016 / И. А. Малый, И. Ю. Шарбанова, О. И. Орлов [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий" (ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России). – EDN ZHSGLJ.

УДК 614.84

И.А. Легкова, В.П. Зарубин, А.Л. Никифоров

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ОТРЕМОНТИРОВАННОГО УЧАСТКА ПОЖАРНОГО РУКАВА

Аннотация: В статье приведены результаты испытаний на прочность напорного пожарного рукава, отремонтированного новым способом с применением полимерных составов и их последующей термофиксацией. На основании полученных результатов был выбран полимерный состав и способ его термообработки, обеспечивающие прочное соединение поверхности отремонтированного участка рукава с полимером.

Ключевые слова: напорный пожарный рукав, ремонт рукавов, полимерный состав, адгезив, испытание.

I.A. Legkova, V.P. Zarubin, A.L. Nikiforov

STUDY OF THE STRENGTH OF A REPAIRED SECTION OF A FIRE HOSE

Abstract: The article presents the results of strength tests on a pressure fire hose repaired using a new method using polymer compounds and subsequent heat-curing. Based on these results, a polymer compound and heat-treatment method were selected that ensure a strong bond between the repaired hose surface and the polymer.

Keywords: pressure fire hose, hose repair, polymer composition, adhesive, testing.

Эффективность проведения пожарно-спасательных работ напрямую зависит от исправности пожарно-технического вооружения, при этом наиболее часто используемым и самым уязвимым оборудованием по-прежнему остаются пожарные рукава. Их ограниченный срок службы обусловлен сложными условиями эксплуатации, а также недостаточным вниманием к организации их обслуживания [1, 2]. Повреждения пожарных рукавов (прогары, порезы, проколы и т.п.) в ходе тушения пожара могут привести к сбоям в подаче огнетушащих веществ, что неизбежно увеличивает время ликвидации пожара и сложность проводимых работ. Поэтому поддержание пожарных рукавов в исправном состоянии является важной технической задачей [1, 3, 4].

После каждого использования рукава проходят обязательный цикл обслуживания, включающий мойку, внешний осмотр, испытание, сушку, скатку; при обнаружении дефектов проводится ремонт [5, 6].

Для проведения ремонта напорных пожарных рукавов в статье [7] авторами предложен новый способ с использованием полимерных составов и их последующей термофиксацией. В результате проведенного анализа технических характеристик и эксплуатационных свойств полимеров были выбраны составы, имеющие высокое сродство к целлюлозосодержащим и полиэфирным текстильным материалам, которые используются при производстве напорных пожарных рукавов: ПВХ-пластизоли, полиуретановые дисперсии, силиконовые герметики [8, 9].

На данном этапе исследования для выбора полимерных составов, которые обеспечивают наиболее качественное проведение ремонта пожарных рукавов, необходимо проведение испытаний для определения прочности сцепления ремонтного полимерного состава с ремонтируемой поверхностью пожарного рукава (адгезионной прочности). Она характеризуется измерением механической прочности, т.е. силой, которую необходимо приложить для разрушения адгезионного соединения, отнесенной к площади адгезионного контакта.

Испытание прочности сцепления используемого для ремонта полимера и материала рукава может быть проведено по стандартной методике с использованием разрывной машины.

При проведении эксперимента варьировались составы полимерных композиций (ПВХ-пластизоли, полиуретановые дисперсии и силиконовые герметики) и способы термического воздействия (нагрев в СВЧ-печи и сушильном шкафу).

В качестве ремонтируемого изделия использовали напорный пожарный рукав диаметром 51 мм, наиболее часто используемый при тушении пожаров. Для проведения испытания из рукава были вырезаны плоские образцы: полоски размером 50×150 мм.

После предварительной подготовки (очистки и обезжиривания) поверхности на край образца площадью 50×50 мм был нанесен полимерный ремонтный состав (рис. 1а). Затем подготовленные образцы склеивались (рис. 1б).



Рис. 1. Образцы для испытания

Склеивание образцов осуществлялось таким образом, чтобы испытания можно было провести на сдвиг (рис. 2а) и раздир (рис. 2б) склеенного шва (стрелками на рис. 2 показаны направления разрывного усилия).

Термофиксация образцов осуществлялась с использованием сушильного шкафа ($T = 180 \pm 5^\circ\text{C}$, $t = 120$ с) и СВЧ-печи ($P = 1$ кВт, $t = 30$ с).

По завершении проведения ремонтных мероприятий подготовленные таким образом образцы испытывали на прочность на разрывной машине Р-5 для определения прочностных характеристик сцепления полимера с ремонтируемой поверхностью рукава (рис. 3).

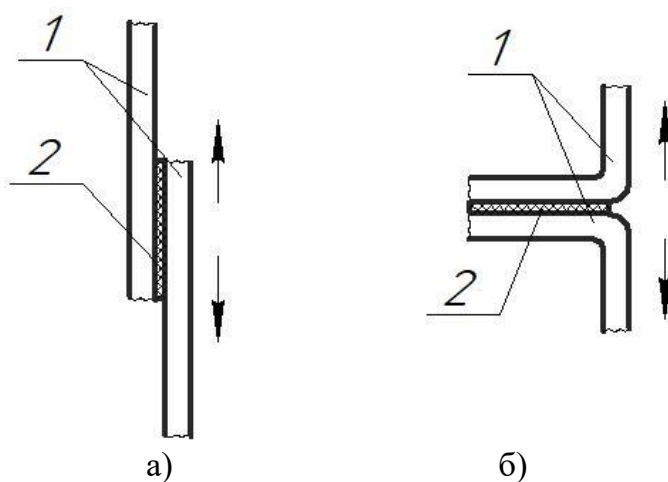


Рис. 2. Направление разрывного усилия:
1 – испытуемый образец;
2 – полимер

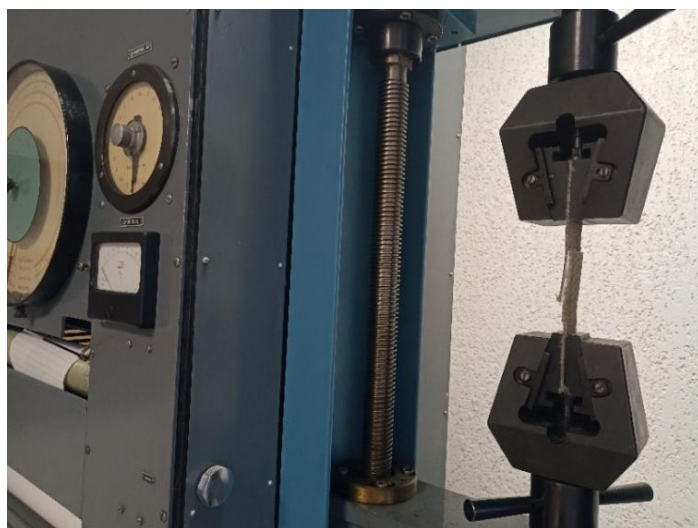


Рис. 3. Проведение испытаний на разрывной машине Р-5

Средние значения усилия разрушения для образцов, склеенных различными составами и прошедших термофиксацию в сушильном шкафу и в СВЧ-печи, приведены в таблице.

Таблица. Средние значения силы разрушения

Способ термофиксации	Усилие разрушения, Н							
	Силиконовый герметик		Полиуретан (водная дисперсия)		Полиуретан (дисперсия в органическом растворителе)		ПВХ-пластизоль	
	сдвиг	раздир	сдвиг	раздир	сдвиг	раздир	сдвиг	раздир
в сушильном шкафу	178	80	1830	1040	1960	1120	1630	970
в СВЧ-печи	200	80	2020	1220	2160	1240	1850	1200

Анализируя влияние способа термофиксации на прочность соединения можно отметить, что не зависимо от клеевого состава лучшие показатели на сдвиг и раздир обеспечивает сушка в СВЧ-печи. Это обусловлено равномерностью прогрева по всему объему материала и более полным протеканием процессов отверждения полимеров.

Результаты исследований, приведенные в таблице, показали, что применение органической полиуретановой дисперсии обеспечивает соединение с максимальными показателями силы на сдвиг и на разрыв. Водная дисперсия полиуретана обеспечивает прочность соединения при сдвигающей силе на 6 % и раздирающей силе на 1 % меньше, чем у дисперсии полиуретана в органическом растворителе. Недопустимые показатели по прочности соединений показывает силиконовый герметик. ПВХ-пластизоль при термофиксации в СВЧ-печи обеспечил прочность на сдвиг и раздир меньше на 14 % и 3 % соответственно, чем максимальные показатели прочности у органической дисперсии полиуретана. ПВХ-пластизоль имеет привлекательность только с точки зрения доступности и низкой стоимости по сравнению с полиуретанами. Таким образом, анализируя прочность соединения в зависимости от использованного клеевого состава самые высокие показатели на сдвиг и раздир показывает дисперсия полиуретана в органическом растворителе.

На наш взгляд следует остановить выбор на использовании в качестве ремонтной полимерной композиции водной дисперсии полиуретана, что обосновано ее относительной пожарной безопасностью (т.к. в процессе ремонта производится термическое отверждение полимера) в сравнении с органической дисперсией.

Однако, для окончательного решения необходимо обратить внимание на состояние испытываемых образцов после разрушения. У всех образцов наблюдается отрыв полимерного покрытия с поверхности рукава, что говорит о недостаточной адгезии выбранных полимеров к материалу рукава. В связи с этим необходимо рассмотреть возможность улучшения адгезии за счет использования специальных составов (адгезивов), которые используются для повышения прочности соединения разных по плотности или однородных материалов. Правильный подбор адгезива будет обеспечивать прочность соединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елфимова М.В. Обслуживание пожарных рукавов. // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. 2010, №3 (54). С. 55-62.
2. Новичкова Н.Ю., Легкова И.А., Ульева С.Н., Бубнов А.Г. Пожарные рукава – требования по производству, эксплуатации и хранению. Мировой опыт. // Современные проблемы гражданской защиты. 2024, №1 (50). С. 84-91.
3. Полоса Б.А., Сараев И.В. К вопросу повышения надежности напорных пожарных рукавов. // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2025. С. 85-88.
4. Несирханов М.А., Зарубин В.П. Разработка устройства для технического обслуживания пожарных рукавов // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: Сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2025. С. 149-152.

5. ГОСТ Р 51049-2019. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний.

6. ГОСТ Р 53277-2009. Техника пожарная. Оборудование по обслуживанию пожарных рукавов. Общие технические требования. Методы испытаний.

7. Ульева С.Н., Легкова И.А., Никифоров А.Л., Шарабанова И.Ю., Румянцева В.Е. Возможности использования полимерных дисперсий для ремонта и восстановления пожарных напорных рукавов. // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 3 (411). С. 141-148.

8. Никифоров А.Л., Легкова И.А., Ульева С.Н., Колобов М.Ю. Использование полимерных дисперсий для ремонта напорных пожарных рукавов. // Современные наукоемкие технологии. 2024, №2 (78). С. 93-98.

9. Никифоров А.Л., Ульева С.Н., Легкова И.А. Новые подходы к выполнению капитального ремонта пожарных рукавов. // Современные проблемы гражданской защиты. 2023, №2 (47). С. 99-106.

УДК 32.816

П.А. Леонова, П.В. Пучков

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА САМОХОДНОЙ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ПЛАТФОРМЫ НА КОЛЕСНОМ ДВИЖИТЕЛЕ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШИХ ИЗ ЗОНЫ ЧС

Аннотация: проблема транспортировки пострадавших и раненых остается актуальной задачей в области оказания неотложной медицинской помощи. Традиционные методы, такие как использование носилок, обладают рядом недостатков, включая высокую физическую нагрузку на персонал, низкую прочность конструкции и необходимость присутствия нескольких человек для перемещения пострадавшего. Для повышения эффективности и безопасности процесса транспортировки пострадавших предлагается инновационное решение по созданию самоходной роботизированной платформы повышенной проходимости.

Ключевые слова: самоходная роботизированная платформа, транспортировка пострадавших, колесный движитель, внедорожные характеристики.

DEVELOPMENT OF A PROJECT FOR A SELF-PROPELLED OFF-ROAD ROBOTIC PLATFORM FOR TRANSPORTING VICTIMS FROM AN EMERGENCY ZONE

P.A. Leonova, P.V. Puchkov

Abstract: the problem of transporting the injured remains an urgent task in the field of emergency medical care. Traditional methods, such as using stretchers, have a number of disadvantages, including high physical strain on staff, low structural strength, and the need for multiple people to move the victim. To increase the efficiency and safety of the transportation process for victims, an innovative solution is proposed to create a self-propelled robotic off-road platform.

Keywords: self-propelled robotic platform, transportation of victims, wheeled propulsion, off-road characteristics.

Оперативная доставка пострадавших и раненых с места происшествия является одной из основных задач в оказании экстренной медицинской помощи. От своевременности и правильности действий медицинских работников напрямую зависит здоровье и жизнь пациентов. Тем не менее, процесс транспортировки пострадавших сталкивается с рядом трудностей, обусловленных состоянием пострадавших, условиями окружающей среды и техническими возможностями транспортных средств. Наиболее распространёнными приспособлениями для транспортировки до сих пор остаются носилки. Однако, носилки, используемые для транспортировки пострадавших, имеют целый ряд недостатков: высокая физическая нагрузка на сотрудников при перемещении тяжелых пациентов; низкая прочность конструкции, приводящая к провисанию пострадавшего; ограниченная мобильность в узких и тесных пространствах из-за жесткой рамы; неподходящие ручки, вызывающие дискомфорт при переносе; необходимость наличия нескольких человек для транспортировки. Эти ограничения подчеркивают потребность в новых технологиях, обеспечивающих эффективное и безопасное перемещение пострадавших.

Современные тенденции совершенствования эвакуационных мероприятий направлены на создание специализированных эвакуационных платформ, включая роботизированные устройства, способные транспортировать пострадавших одним оператором или полностью автономно. Такие системы повышают скорость и качество оказываемой помощи, снижая физические нагрузки и риски для медицинского персонала.

В статье представлен проект самоходной роботизированной платформы на колесном движителе для транспортировки пострадавших из зоны ЧС. К самодвижущимся роботизированным платформам относят устройства, которые могут передвигаться самостоятельно и выполнять определённые задачи. Такие платформы используют различные технологии для навигации и маневрирования. Для обеспечения высокой маневренности разрабатываемой платформы был проведен анализ существующих движителей и выбор остановился на колесном движителе.

Известно, что под колесным движителем понимают, свободно вращающийся или закреплённый на вращающейся оси диск, позволяющий поставленному на него телу катиться, а не скользить. Принцип работы колёсного движителя заключается в передаче крутящего момента от двигателя автомобиля к ведущим колёсам. Крутящий момент создаётся двигателем внутреннего сгорания, электродвигателем или другим источником энергии и передаётся через трансмиссию и приводной вал к ведущим колёсам. Ведущие колёса создают тяговые усилия, взаимодействуя с дорожным покрытием, обеспечивая таким образом движение транспортного средства. Колесный движитель используется в основном для быстрого передвижения по дорогам общего пользования. Внедорожные характеристики колесного движителя зависят от нескольких факторов: рисунка протектора шин; давления в шинах; ширины колеса; размера колеса. Конструкция разработанной самоходной роботизированной платформы предполагает использование только колесного движителя, так устройство может изменять клиренс в широких пределах. Кроме того, колесный движитель может обеспечить плавное движение по поверхности с твёрдым покрытием, что немаловажно

при транспортировке пострадавшего. Также следует отметить удобное рулевое управление, высокую транспортную скорость, простоту эксплуатации и др.

Конструкция самодвижущейся роботизированной платформы повышенной проходимости представлена на рис. 1. Для создания виртуального образа платформы использовалась отечественная система автоматизированного проектирования NanoCAD. Данная программа позволила разработать элементы конструкций в натуральную величину и в процессе проектирования усовершенствовать конструкцию.

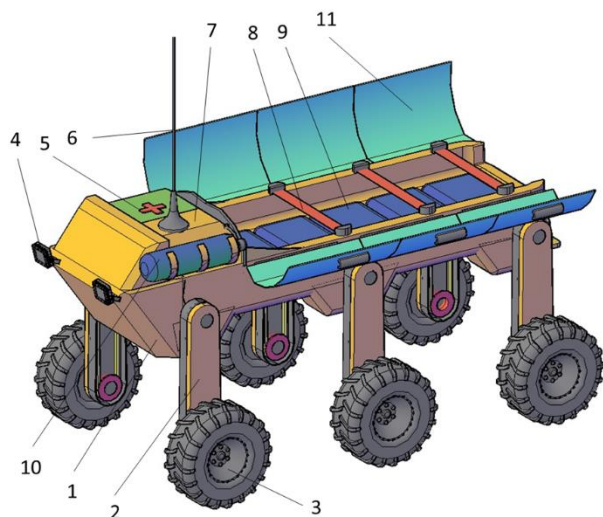


Рис. 1. Самоходная роботизированная платформа для транспортировки пострадавших:

- 1 - корпус платформы; 2 - рычаг;
- 3 - колесный движитель;
- 4 - фара-искатель;
- 5 - аптечка первой помощи; 6 - антенна;
- 7 - блок управления;
- 8 - фиксирующие ремни;
- 9 - матрас медицинский;
- 10 - кислородный баллон;
- 11 - створки стеклянного купола.

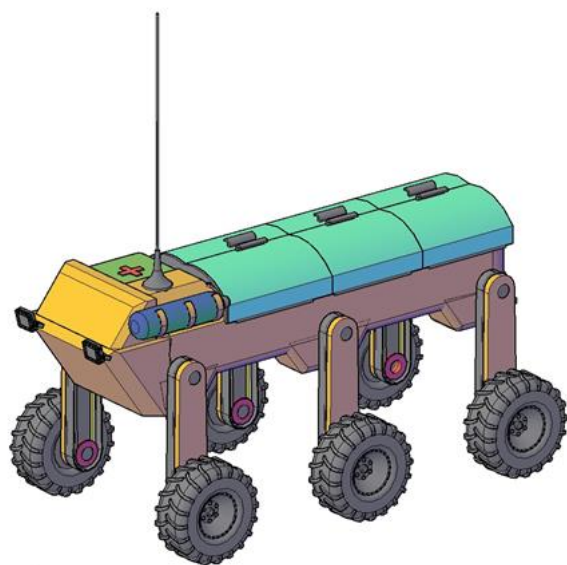


Рис. 2. Самоходная роботизированная платформа для транспортировки пострадавших с закрытым защитным куполом

Самоходная роботизированная платформа состоит из корпуса (1), трех пар подвижных поворотных рычагов (2) с установленными на них колесными движителями (3), что позволяет ей постепенно переползать через препятствия (рис. 3). Важно отметить, что при преодолении препятствий платформа всегда сохраняет горизонтальное положение корпуса относительно земли, а это важная характеристика при транспортировке пострадавших. Поворачивая рычаги можно изменять клиренс самоходной роботизированной платформы от низкого маршевого до высокого для преодоления препятствий. Все колеса являются ведущими. В движение колеса

приводятся за счет ременной передачи с зубчатыми ремнями, расположенными в корпусе рычагов. Платформа приводится в движение за счет электрических двигателей. По болотистой местности самоходная платформа может передвигаться, опустившись в топь днищем корпуса и загребая рычагами как веслами. Платформа оборудована медицинским матрасом (9) и фиксирующими ремнями (8) для надежной иммобилизации пострадавшего в трех точках. В случае транспортировки пострадавшего при неблагоприятных погодных условиях (дождь, снег, сильный ветер, метель, град и т.д.) его необходимо изолировать от негативного воздействия окружающей среды. Для этого на платформе предусмотрены три пары полупрозрачных створок, образующих над платформой купол (рис. 2). В каждом конкретном случае решается какие створки из 6 будут закрыты, а какие открыты. В случае транспортировки пострадавшего в условиях непригодных для дыхания (например: сильное задымление) или по медицинским показаниям на роботизированной платформе предусмотрено наличие кислородного баллона (10) с кислородной маской для дыхания. Кроме того, для оказания первой неотложной медицинской помощи пострадавшему роботизированная платформа оснащена аптечкой первой помощи (5). Для возможности передвижения платформы в ночное время или в условиях тумана на передней части корпуса установлены две фары-искателя (4). Фары освещают не только дорогу и окружающую местность, но и обозначают местоположение платформы для других участников движения. Для обеспечения дистанционного управления платформой она должна быть оснащена системой навигации и приемником-передатчиком радиосигнала, например в виде антенны (6).

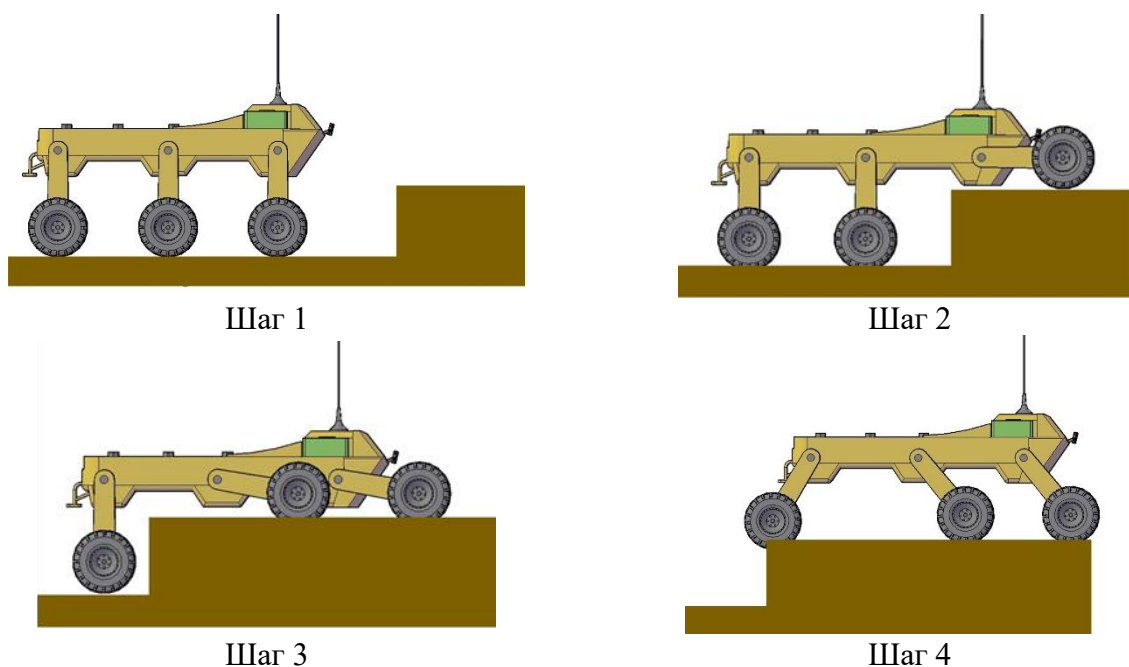


Рис. 3. Механизм преодоления препятствий самоходной роботизированной платформой

Потенциальной областью применения самоходной платформы повышенной проходимости является не только транспортировка пострадавших из труднодоступных мест, но и доставка медикаментов, оборудования, продовольствия, разведки маршрутов, применение в составе мобильных спасательных отрядов медицины катастроф МЧС России, военных и гуманитарных миссий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонова, П. А. Самоходная платформа повышенной проходимости для транспортировки пострадавших / П. А. Леонова, П. В. Пучков // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, Иваново, 22 октября 2025 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. – С. 237-242. – EDN LCWTNI.

2. Иванов, В. Е. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, П. В. Пучков // Пожарная и аварийная безопасность. – 2017. – № 2(5). – С. 53-65.

3. Анализ конструкций мобильных устройств для тушения ландшафтных пожаров / А. А. Покровский, В. В. Киселев, П. В. Пучков, А. А. Сидоров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 3(52). – С. 53-61. – EDN BOXASD.

4. Применение современных систем автоматизированного проектирования в образовательном процессе при подготовке специалистов пожарной охраны / В. Е. Иванов, В. В. Киселев, П. В. Пучков [и др.] // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика : Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях, Москва, 19 октября 2023 года. – Москва: Академия государственной противопожарной службы, 2024. – С. 32-36. – EDN GPBXAX.

5. Применение систем автоматизированного проектирования при оценке технического состояния разрабатываемых конструкций / А. А. Столпяков, В. Е. Сотов, В. Е. Иванов, П. В. Пучков // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 415-418. – EDN RHVSFO.

6. Пучков, П. В. К вопросу о применении различных двигателей в роботизированных комплексах / П. В. Пучков // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : сборник материалов IV международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России, Иваново, 15 октября 2020 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2020. – С. 249-251. – EDN KIEBIN.

7. Патент на полезную модель № 165103 U1 Российская Федерация, МПК А62С 27/00. Гусеничная пожарная машина : № 2015146347/12 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 10.10.2016 / И. А. Малый, И. Ю. Шарabanова, О. И. Орлов [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий" (ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России).

УДК 66(075.8)

А.И. Марков¹, С.В. Натарева^{1,2}

¹Ивановский государственный химико-технологический университет

^{1,2}Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА АБСОРБЦИИ В НАСАДОЧНОМ АБСОРБЕРЕ

Аннотация: предложено математическое описание процесса абсорбции в насадочном абсорбере. Выполнен расчет абсорбции диоксида серы. Модель рекомендована для практического применения.

Ключевые слова: абсорбция, насадочный абсорбер, математическая модель.

I.V. Markov, S.V. Natariev

MATHEMATICAL MODELING OF THE ABSORPTION PROCESS IN A PACKED ABSORBER

Abstracts: a mathematical description of the process absorption process in a packed absorber has been proposed. The calculation of sulfur dioxide absorption has been completed. The model is recommended for practical application.

Keywords: absorption, packed absorber, mathematical model.

Абсорбцией называется процесс поглощения газов или паров из газовых или паро-газовых смесей жидкими поглотителями [1]. Данный процесс проводят в адсорберах, к которым предъявляются следующие требования: высокая производительность, максимально развитая поверхность контакта между фазами, минимальное гидравлическое сопротивление, простота в обслуживании, прочность конструкции и другие [2]. При эксплуатации данных аппаратов аварии происходят, как правило, в результате взрыва газов вследствие нарушения герметичности оборудования, неисправности гидрозатворов, отложение твердых нестабильных веществ и других случаях [3].

По способу создания поверхности контакта фаз различают: поверхностные, насадочные и распыливающие абсорберы. Наибольшее применение в промышленности получили насадочные абсорберы. В качестве насадки могут быть использованы тонкостенные кольца Рашига, кольца Палля, седла Берля, седла «Инталлокс» и др. Насадки обеспечивают лучший контакт обрабатываемых газов с абсорбентом, благодаря чему интенсифицируется процесс массопереноса и уменьшаются габариты очистных устройств [4].

В работе предложено математическое описание непрерывного процесса абсорбции примеси из газовой смеси жидкостью в насадочном абсорбере. Схема работы абсорбера показана на рис. 1. Абсорбер состоит корпуса 1, внутри которого установлены тарелка 2 и опорная решетка 3, на которую уложен слой насадки 4. В верхней части аппарата установлен распределитель жидкости 5. Газ, содержащий целевой компонент, движется снизу вверх, а в противоположном ему направлении движется жидкость поглотитель.

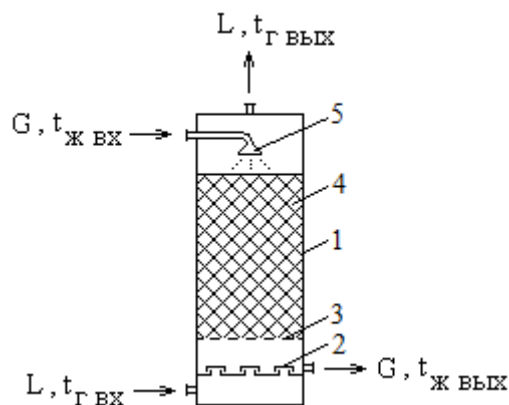


Рис. 1. Схема работы насадочного абсорбера:
1 – корпус; 2 – тарелка; 3 – опорная решетка;
4 – насадка; 5 – распределитель жидкости

Полагаем, что аппарат работает в стационарном режиме. Равновесие процесса описывается линейным уравнением изотермы Генри. Структура потоков газовой и жидкой фаз описывается однопараметрической диффузионной моделью. Примем также, что движение жидкости совпадает с направлением аксиальной координаты $0x$. Тогда с учетом сделанных допущений математическое описание процесса может быть записано следующей системой уравнений.

Уравнение материального баланса по газовой фазе:

$$-v \frac{d\theta_G}{dx} - K_G (\theta_{G_{ex}} - \theta_{G_p}) + D_G \frac{d^2\theta_G}{dx^2} = 0. \quad (1)$$

Уравнение материального баланса по жидкой фазе:

$$-w \frac{d\theta_L}{dx} + K_G (\theta_{G_{ex}} - \theta_{G_p}) + D_L \frac{d^2\theta_L}{dx^2} = 0. \quad (2)$$

Уравнение равновесия:

$$\theta_G = \Gamma \theta_L. \quad (3)$$

Граничные условия (по Данквертсу):

$$v\theta_{G_{ex}} = v\theta_G|_{x=H} + D_G \left. \frac{d\theta_G}{dx} \right|_{x=H}; \quad (4)$$

$$\left. \frac{d\theta_G}{dx} \right|_{x=0} = 0; \quad (5)$$

$$w\theta_{L\text{вх}} = w\theta_L|_{x=0} - D_L \left. \frac{d\theta_L}{dx} \right|_{x=0}; \quad (6)$$

$$\left. \frac{d\theta_L}{dx} \right|_{x=H} = 0. \quad (7)$$

Здесь θ_G и θ_L – концентрация целевого компонента в газе и жидкости, θ_{Gp} – равновесная концентрация целевого компонента в газе, v и w – скорость потока газа и жидкости, K_G – коэффициент массопередачи, Γ – постоянная Генри, x – продольная координата, H – высота насадки; индексы: вх – входящий, вых – выходящий.

Для нахождения функций $\theta_G(x)$ и $\theta_L(x)$ достаточно решить одно уравнение (2). Функцию $\theta_G(x)$, после того как найдена функция $\theta_L(x)$, можно найти из уравнения материального баланса:

$$G(\theta_{G\text{вых}} - \theta_G) = L(\theta_{L\text{вх}} - \theta_L), \quad (8)$$

где G и L – массовые расходы газа и жидкости.

Используем в уравнении материального баланса (2) уравнение равновесия (3) и введем следующие переменные:

$$N = \theta_{L\text{вых}} - \theta_L; \quad Pe = \frac{wH}{D_L}; \quad E = \frac{K_G H \Gamma}{D_L}; \quad z = \frac{x}{H}. \quad (9)$$

Уравнение материального баланса по жидкой фазе и соответствующие граничные условия примут вид:

$$\frac{d^2 N}{dz^2} - Pe \frac{dN}{dz} - EN = 0; \quad (10)$$

$$N_{\text{вх}} = N|_{z=0} - \frac{1}{Pe} \left. \frac{dN}{dz} \right|_{z=0}; \quad (11)$$

$$\left. \frac{dN}{dz} \right|_{z=1} = 0. \quad (12)$$

Общее решение дифференциального уравнения (10) имеет вид [5]:

$$N = A_1 e^{r_1 z} + A_2 e^{r_2 z}, \quad (13)$$

где r_1, r_2 – корни характеристического уравнения:

$$r^2 - Pe r - E = 0, \quad (14)$$

т.е.

$$r_{1,2} = \frac{Pe}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{Pe}{2}\right)^2 + E}. \quad (15)$$

Константы A_1 и A_2 найдем, используя граничные условия (11) и (12). Подстановка уравнения (13) в условие (11) с учетом $z=0$ и $N=1$ дает:

$$A_1 + A_2 - \frac{1}{Pe}(r_1 A_1 + r_2 A_2) = N_{ex}. \quad (16)$$

Удовлетворим решение (13) условию (12):

$$r_1 A_1 e^{r_1} + r_2 A_2 e^{r_2} = 0. \quad (17)$$

Решая совместно уравнения (16) и (17), находим:

$$A_1 = -\frac{N_{ex} r_2 e^{r_2}}{r_1 e^{r_1} \left(1 - \frac{r_2 e^{r_2}}{r_1 e^{r_1}} + \frac{1}{Pe} \frac{r_2 e^{r_2}}{e^{r_1}} - \frac{1}{Pe} r_2\right)}; \quad (18)$$

$$A_2 = \frac{N_{ex}}{1 - \frac{r_2 e^{r_2}}{r_1 e^{r_1}} + \frac{1}{Pe} \frac{r_2 e^{r_2}}{e^{r_1}} - \frac{1}{Pe} r_2}; \quad (19)$$

Подставим значения A_1 и A_2 в уравнение (13) и запишем решение задачи в прежних переменных:

$$N(x) = \frac{\theta_{Lmax} - \theta_L}{\theta_{Lmax} - \theta_{Lex}} = \frac{e^{\frac{r_2}{H}x} - \frac{r_2}{r_1} e^{r_2 - r_1 + r_1 \frac{x}{H}}}{1 - \frac{r_2 e^{r_2}}{r_1 e^{r_1}} + \frac{1}{Pe} \frac{r_2 e^{r_2}}{e^{r_1}} - \frac{1}{Pe} r_2}. \quad (20)$$

Уравнение (20) позволяет рассчитать распределение безразмерной концентрации сорбируемого вещества в жидкости по высоте абсорбера.

На рис. 2 представлены результаты расчета, полученные при следующих условиях проведения процесса абсорбции аммиака из газовой смеси: объемный расход жидкости $L = 6 \cdot 10^{-3}$ м³/с; объемный расход газа $G = 1,6$ м³/с; высота насадки $H = 3$ м; коэффициент продольной диффузии $D_x = 0,005$ м²/с; коэффициент массопередачи $K = 0,01$ 1/с; постоянная Генри $\Gamma = 2$.

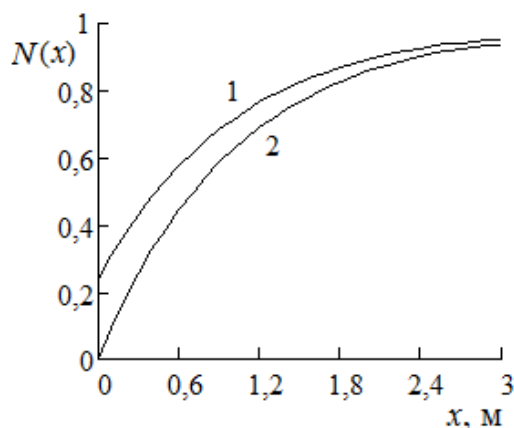


Рис. 2. Кривые изменения безразмерной концентрации сорбируемого вещества в жидкости по высоте абсорбера:
1 – расчет при граничных условиях по Данквертсу;
2 – расчет при $D_x = 0$.

Из приведенных на рис. 2 кривых видно, что концентрация целевого компонента в жидкости на входе в абсорбер в случае расчета при граничных условиях по Данквертсу уменьшается скачкообразно по причине влияния продольного перемешивания. Разработанное математическое описание может быть рекомендовано для практического применения для поиска оптимальных параметров процесса абсорбции и прогнозирования аварийных ситуаций при отклонении работы аппарата от регламентированного режима.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сосновский В.И. Сосновская Н.Б., Степанова С.В. Процессы и аппараты защиты окружающей среды: абсорбция газов: учебное пособие. Казань: КГТУ, 2009. 114 с.
2. Александров И.А. Ректификационные и абсорбционные аппараты. М.: Химия, 1971. 296 с.
3. Фармазов С.А. Охрана труда при эксплуатации и ремонте оборудования химических и нефтехимических предприятий. М.: Химия, 1985. 224 с.
4. Страус В. Промышленная очистка газов. М.: Химия, 1981. 616 с.
5. Степучев В.Г. Дифференциальные уравнения второго порядка: Учебное пособие для вузов. СПб: Лань, 2022. 180 с.

УДК 621.8

И.И. Межидов, В.П. Зарубин

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ ОБСЛУЖИВАНИЮ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Аннотация: материал статьи посвящен вопросу необходимости применения специального грузоподъемного оборудования для ремонта пожарных автомобилей; предложена конструкция мобильного, разборного грузоподъемного устройства для технического обслуживания и ремонта пожарной техники.

Ключевые слова: ремонт пожарной техники, подъемные механизмы, техническое обслуживание, ремонтные мастерские.

I.I. Mezhidov, V.P. Zarubin

DESIGN OF A SEPARATE STATIONARY POST FOR RAPID RESPONSE TO ROAD ACCIDENTS FOR INTERNAL RESCUE FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Abstract: the article discusses the need for special lifting equipment for repairing fire trucks and proposes a mobile, collapsible lifting device for maintenance and repair of fire equipment.

Keywords: repair of fire equipment, lifting mechanisms, maintenance, and repair shops.

Проведение ремонтных работ пожарной техники сопряжен с демонтажем агрегатов большой массы. Без использования грузоподъемных механизмов проведение таких работ весьма затруднительно и требует больших физических затрат работников ремонтного участка. Для облегчения труда в ремонтных мастерских необходимо применять различные грузоподъемные устройства и приспособления. Таким образом, разработка конструкции грузоподъемного устройства с возможностью регулировки высоты подъема является весьма актуальной задачей.

Учитывая особенности проведения технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей у условий ремонтных участков пожарно-спасательных частей, разрабатываемый подъемный механизм должен обладать определенными характеристиками и особенностями конструкции, подходящими под условия работы. Поэтому, конструкция должна обеспечивать надежную и бесперебойную работу с заданными технико-экономическими показателями и удовлетворять требованиям техники безопасности [1].

Анализ конструкции различных типов подъемных механизмов и их область применения, а также назначение указывает на то, что для ремонтных участков пожарно-спасательных частей оптимальным является подъемник козлового типа [3]. Основные геометрические параметры рамы подъемника рассчитываем исходя из размеров обслуживаемого автомобиля. Ширина рамы подъемника должна находиться

в пределах 3300–4000 мм, а высота 3800–2400 мм. В результате моделирования получаем проект стойки грузоподъемного устройства, представленный на рис. 1.

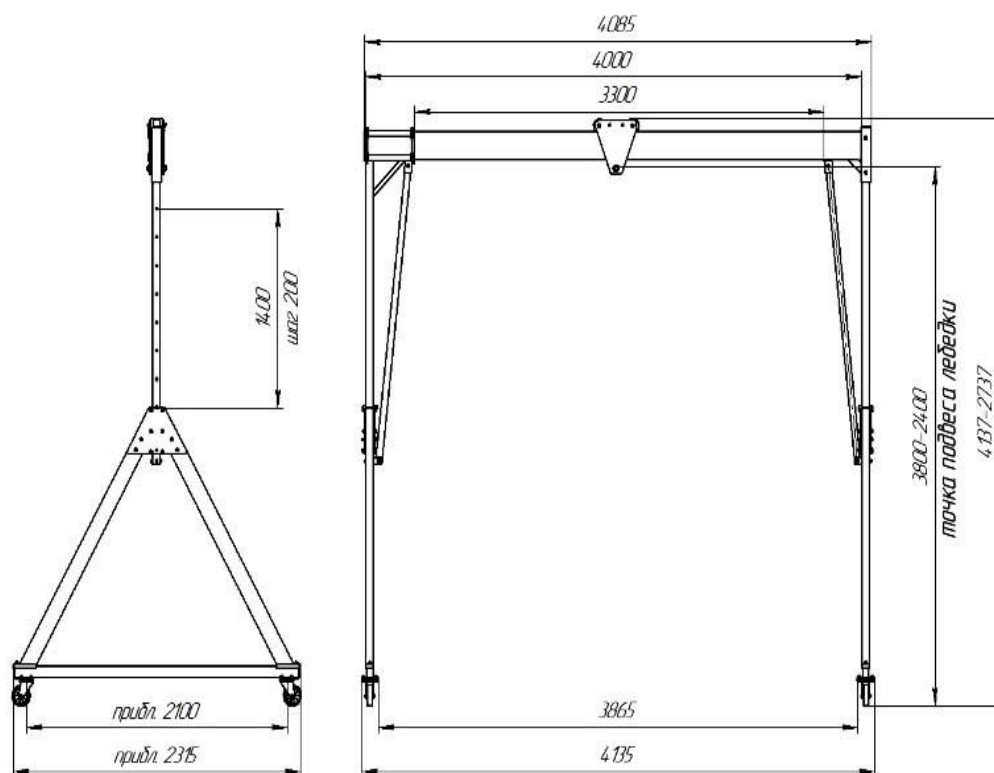


Рис. 1. Стойка грузоподъемного устройства
для технического обслуживания и ремонта пожарной техники

Разборная конструкция основной рамы подъемника, является его особенностью и преимуществом перед другими аналогичными подъемниками. Болтовые соединения основных элементов рамы, позволяют производить сборку и демонтаж рамы без применения специального инструмента. Масса отдельных элементов стойки находится в допустимых пределах, в соответствии с нормативными документами, что позволяет проводить ручную сборку и разборку конструкции [2]. Разборная конструкция подъемника удобна тем, что его можно перевозить между ремонтными участками пожарно-спасательных частей для проведения ремонта. В межремонтный период конструкция разбирается и убирается на хранение, освобождая рабочее пространство.

В рабочем состоянии подъемный механизм предназначен для выполнения следующих операций: подъем и опускание груза; перемещение груза в поднятом состоянии горизонтально в плоскости подъемной рамы; перемещение поднятого груза в плоскости параллельной поверхности, на которой установлен подъемник. Подъем и опускание груза осуществляется лебедкой с электрическим приводом установленной на горизонтальной балке рамы подъемника. Лебедка на балке закреплена шарнирно, что позволяет ей перемещаться вдоль балки как с грузом, так и без него. Выбор электропривода лебедки обусловлен удобством работы, надежностью и простотой обслуживания [4, 5]. Выносной пульт электрической лебедки дает возможность дистанционного управления, что достаточно удобно при работе с габаритными

грузами. мобильность всего подъемника обеспечивается установкой на опорах колес. Модель передвижного грузоподъемного устройства представлен на рис. 2.

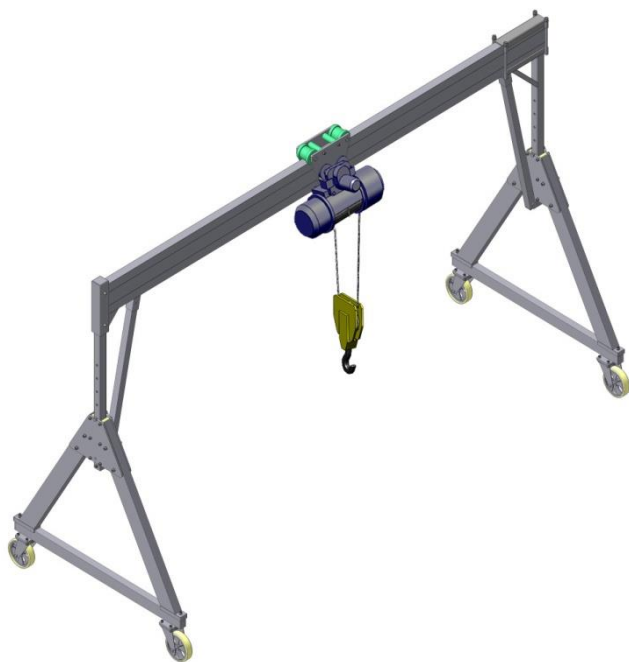


Рис. 2. Модель передвижного грузоподъемного устройства для технического обслуживания и ремонта пожарной техники

Учитывая возможность перевозки подъемника между ремонтными мастерскими, в конструкции рамы предусмотрена возможность изменения высоты горизонтальной балки за счет регулировки высоты боковых стоек относительно опор. Это позволяет использовать подъемник в мастерских с различной высотой помещений.

Основными параметрами, которые вошли в расчет элементов подъемника, являются максимальная масса поднимаемого груза и высота подъема [6]. Ориентируясь на массу агрегатов ремонтируемой пожарной техники, необходимая грузоподъемность должна составлять 500 кг. А высота подъема демонтируемых агрегатов, для удобства работы с ними, должна составлять не менее 3,8 м. Проведенный прочностной расчет, под указанные выше параметры, позволил подобрать оптимальный по прочности профиль и размер основных частей подъемника с минимальной собственной массой.

Расчет стоимости материалов и работ для изготовления спроектированного подъемника позволяет сделать заключение о том, что предлагаемая конструкция дешевле аналогичных конструкций подъемников, представленных на рынке. Возможность перевозки подъемника между ремонтными мастерскими пожарно-спасательных частей позволяет использовать подъемник достаточно часто минимизируя простои, что положительно отразится на окупаемости затрат на изготовление.

Таким образом, предложенная конструкция подъемного устройства, предназначенная для проведения ремонтных работ пожарной техники, позволит сократить нагрузку на работников ремонтной бригады. Использование такого подъемника дает возможность проведения ремонта агрегатным методом сокращая время простоя техники. Возможность перемещения подъемного устройства к

автомобилям, требующим ремонта, сократит транспортные затраты и стоимость ремонтных операций в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 11 декабря 2020г. № 881н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях пожарной охраны» // Режим доступа: www.garant.ru.

2. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 28 октября 2020г. № 753н «Об утверждении Правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов» // Режим доступа: www.garant.ru.

3. Легкова, И. А. Модернизация конструкции мобильного устройства для проведения технического обслуживания пожарных автомобилей / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, В. С. Соболева // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 133-137.

4. Лашкин, М. Д. Возможности разностороннего применения автомобильных лебедок / М. Д. Лашкин, И. А. Легкова, В. П. Зарубин // Актуальные вопросы эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов : Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции, Химки, 12–13 ноября 2024 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2024. – С. 36-41.

5. Зарубин, В. П. Модернизация поста технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей / В. П. Зарубин // NovaInfo.Ru. – 2019. – № 109. – С. 8-9. – EDN TOBEYC.

6. Использование программы ArchiCAD при моделировании чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, В. П. Зарубин, Н. А. Кропотова // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXVIII международной научно-практической конференции: в 2 частях, Ногинск, 19–20 мая 2016 года. Том Часть 1. – Ногинск: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2016. – С. 417-421.

УДК 614.847

В.Г. Мельчаков, В.Е. Иванов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

**ЭРГОНОМИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА
К ПРОЧНОСТНОМУ АНАЛИЗУ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО
ПОЖАРНОГО ИНСТРУМЕНТА В СРЕДЕ NANOCAD**

Аннотация: в статье рассматриваются вопросы эргономического обеспечения разработки многофункционального пожарного инструмента (мультитула) на этапе компьютерного моделирования в отечественной системе автоматизированного проектирования NanoCAD. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания инструмента, сочетающего высокую функциональность с безопасностью и удобством применения в экстремальных условиях. Цель исследования — разработка методики эргономического проектирования и подготовки твердотельной модели к последующему прочностному анализу методом конечных элементов. В результате определены ключевые эргономические параметры инструмента с учетом работы в защитных перчатках, сформулированы требования к геометрической модели для корректной передачи в САЕ-системы, а также предложен подход к выявлению слабых мест конструкции на ранних этапах проектирования. Практическая значимость работы заключается в создании методологической основы для цифрового прототипирования пожарного инструмента с последующей оптимизацией его геометрии.

Ключевые слова: эргономика, NanoCAD, мультитул, 3D-модель, прочностной анализ, метод конечных элементов, цифровой прототип.

V.G. Melchakov, V.E. Ivanov**ERGONOMIC DESIGN AND STRENGTH ANALYSIS
OF A MULTIFUNCTIONAL FIRE TOOL IN NANOCAD**

Abstract: this article examines ergonomic support for the development of a multifunctional fire-fighting tool (multi-tool) during computer modeling using the domestic NanoCAD computer-aided design system. The relevance of this work stems from the need to create a tool that combines high functionality with safety and ease of use in extreme conditions. The purpose of the study is to develop a methodology for ergonomic design and preparation of a solid model for subsequent strength analysis using the finite element method. As a result, key ergonomic parameters of the tool were determined, taking into account the use of protective gloves, requirements for the geometric model for correct transfer to CAE systems were formulated, and an approach for identifying design weaknesses in the early stages of design was proposed. The practical significance of this work lies in the creation of a methodological basis for digital prototyping of a fire-fighting tool with subsequent optimization of its geometry.

Keywords: ergonomics, NanoCAD, multitool, 3D model, strength analysis, finite element method, digital prototype.

Проектирование пожарно-технического вооружения представляет собой сложную междисциплинарную задачу, требующую учета не только функциональных характеристик, но и антропометрических особенностей пользователя, а также обеспечения механической надежности в экстремальных условиях эксплуатации. Как

отмечается в исследованиях, посвященных эргономике аварийно-спасательного инструмента, работа в боевой одежде и рукавицах существенно изменяет тактильные ощущения и ограничивает подвижность кисти, что должно компенсироваться продуманной формой рукоятки и органов управления [1, 2]. Разрабатываемый пожарный мультитул, сочетающий функции топора, стеклобоя, гвоздодера, пилы и набора гаечных ключей, предъявляет повышенные требования к эргономике, поскольку одна и та же рукоятка должна обеспечивать эффективное выполнение различных операций - от рубящих ударов до точного позиционирования при отворачивании гаек. Основная задача, решаемая в данной работе, — сформировать такую методику проектирования пожарного мультитула в NanoCAD, которая учитывала бы эргономику, а также определить, как правильно подготовить твёрдотельную модель для экспорта в САЕ-системы. Это нужно, чтобы потом провести прочностной анализ и найти слабые места конструкции.

Эргономические требования к такому инструменту заданы ГОСТ Р 50982-2009 [3]. В частности, в разделе 5.6 указано: инструмент обязан быть удобным и безопасным при работе в средствах индивидуальной защиты, соответствовать антропометрии пользователей и не создавать риск травмирования. Дополнительно ГОСТ 20.39.108-85 [4] предписывает оценивать определённую номенклатуру эргономических показателей уже на стадии разработки. Новые стандарты (например, для экзоскелетов и аварийного инструмента) тоже подчёркивают: важно, как именно оператор манипулирует инструментом в разных позах, особенно при вскрытии конструкций. Практика эксплуатации пожарного инструмента имеет одну характерную особенность: работать приходится в крагах или других средствах защиты рук. Они заметно увеличивают обхват кисти и снижают тактильную чувствительность. По данным зарубежных разработок, в частности MOELLY TOOL, рука в перчатке становится толще примерно на дюйм (25,4 мм).

Отсюда вытекают конкретные требования к рукоятке. Её диаметр в зоне хвата желательно делать 35–40 мм — так кисть в краге действительно охватывает рукоять. Длина: для двуручного удержания нужно не менее 280 мм, для одноручного хвата хватит 120–140 мм. Обязателен упор со стороны лезвия, иначе при рубящем ударе рука может соскользнуть. Также в головной части топора делается проушина — отверстие такого размера, чтобы через него свободно проходила рука в перчатке. Это позволяет использовать инструмент как рычаг или подтягивать его. На рисунке показан общий вид устройства.

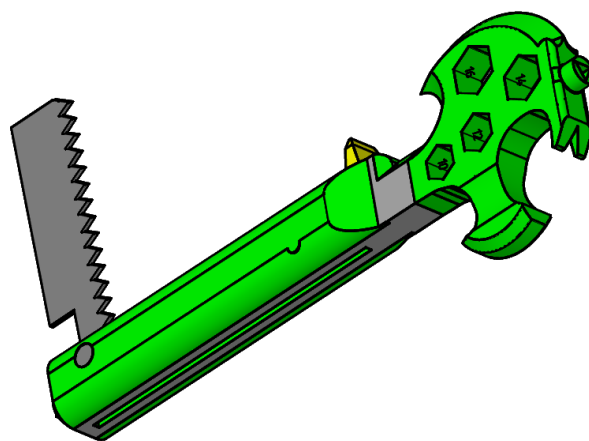


Рисунок. Общий вид устройства

NanoCAD даёт возможность моделировать не только сам инструмент, но и упрощённые антропометрические заготовки для эргономической оценки. На этапе проектирования полезно сделать следующее. Во-первых, построить простые твёрдотельные модели кисти в рукавице — примитивы, с помощью которых проверяют зоны захвата. Во-вторых, проанализировать доступ пальцев к выдвижным механизмам

(например, к фиксатору пилы) и к отверстиям под ключи, болты. В-третьих, проследить траектории движений — так определяют, где лучше разместить функциональные элементы, чтобы до них можно было дотянуться пальцами без смены хвата.

Отдельное внимание — отверстиям под ключи и болты. Они должны быть доступны и для левой, и для правой руки, а их края не должны иметь острых кромок, иначе в рукавице можно пораниться.

Критически важным этапом разработки является передача геометрической модели из NanoCAD в САЕ-систему (например, Ansys, APM WinMachine, SolidWorks) для проведения прочностного анализа методом конечных элементов (МКЭ). Как отмечают эксперты, прямая передача CAD-модели без предварительной подготовки приводит к неоправданно высоким вычислительным затратам и может даже снизить точность результатов [5, 6, 7]. Главная ошибка начинающих пользователей - передача в расчетный комплекс модели со всеми конструктивными и технологическими элементами: мелкими фасками, скруглениями, отверстиями, резьбой [8, 9]. Такие детали требуют чрезмерно мелкой сетки конечных элементов, что многократно увеличивает время счета, не влияя на глобальную картину напряженно-деформированного состояния. Что подлежит удалению: мелкие фаски и скругления (галтели) радиусом менее 2-3 мм, расположенные вне зон концентрации напряжений; декоративные элементы, гравировки, клейма производителя; отверстия малого диаметра, не являющиеся критическими для нагружения; резьбовые поверхности (заменяются гладкими цилиндрами с эквивалентным сечением). Что должно быть сохранено: скругления в зонах ожидаемой концентрации напряжений (например, в месте перехода обуха в лезвие); отверстия под ключи, так как их геометрия определяет контакт с гайкой и передачу усилия; посадочные места под фиксаторы и оси подвижных соединений. В NanoCAD для упрощения геометрии можно использовать инструменты прямого редактирования и удаления граней.

Разрабатываемый мультитул включает подвижные соединения (выдвижная пила в рукоятке, ось фиксатора). При передаче в САЕ-систему если несколько деталей из одного материала жестко соединены (сварка, запрессовка), их целесообразно объединить в одно тело булевой операцией для сокращения числа контактных пар. Болты и оси могут быть заменены балочными элементами или жесткими связями, если их детальное моделирование не является целью анализа. Для подвижных соединений (пила — паз рукоятки) необходимо четко определить тип контакта (трение, без трения, неразъемный) для задания в препроцессоре САЕ-системы. Наиболее предпочтительным форматом для экспорта геометрии является STEP (.stp или .step). Этот формат обеспечивает корректную передачу твердотельной геометрии, сборок и, в ряде случаев, цветовых идентификаторов материалов. Альтернативой может быть формат STL, который также хорошо воспринимается большинством расчетных комплексов. В зависимости от геометрии деталей, в САЕ-системе необходимо выбрать тип элементов. Твердотельные элементы (3D) используются для массивных частей (голова топора, узел фиксации). Тетраэдры (TET): лучше подходят для сложной геометрии, но требуют больше элементов. Гексаэдры (HEX): обеспечивают более высокую точность при меньшем числе элементов, но требуют «разрезания» геометрии на правильные объемы. 2D элементы в виде оболочки оптимальны для тонкостенных конструкций (полая рукоятка, полотно пилы), если толщина стенки значительно меньше других размеров.

Прочностной анализ позволяет выявить слабые места конструкции до изготовления опытного образца. Ключевые зоны, подлежащие обязательной проверке для пожарного мультитула. Переход «лезвие — обух» в зоне максимальных изгибающих моментов при рубящем ударе. Здесь необходимо проверить напряжения при ударном нагружении (динамический анализ). Перемычки между отверстиями под ключи, где тонкие стенки между шестигранными отверстиями являются концентраторами напряжений. Расчет на статическую прочность при приложении крутящего момента к гайке. В механизме фиксации пилы шариковый фиксатор или подпружиненная защелка работают на срез и смятие. Необходим контактный анализ с учетом предварительного натяга пружины. Стеклобой, ударный наконечник испытывает высокие контактные давления. Анализ на смятие и вероятность скола твердосплавной вставки.

Методика выявления слабых мест включает итерационный процесс: построение расчетной сетки в САЕ-системе, задание граничных условий (закрепление рукоятки, приложение нагрузки к рабочей части), задание свойств материала (Сталь 45, Сталь 45Х и др.). При выполнении расчета необходимо провести анализ полей напряжений (эквивалентные напряжения по Мизесу) и деформаций, идентифицировать зоны с напряжениями, превышающими предел текучести. Возврат в NanoCAD, корректировка геометрии (увеличение радиусов скруглений, утолщение перемычек, изменение формы) и повторный расчет. Такой подход позволяет оптимизировать конструкцию, добиваясь достаточной прочности всех элементов и минимизируя массу инструмента [10].

В результате проведенного исследования разработана методика эргономического проектирования и подготовки к прочностному анализу многофункционального пожарного инструмента в среде NanoCAD.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринченко, Б. Б. Влияние средств защиты рук газодымозащитников на мышечную силу хвата при эксплуатации спасательного устройства / Б. Б. Гринченко, В. Е. Иванов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2025. – № 2(55). – С. 32-39. – EDN WJLRVU.
2. Влияние средств индивидуальной защиты рук на мышечную силу хвата газодымозащитников / Б. Б. Гринченко, В. Е. Иванов, Т. С. Воронцов, И. А. Кузнецов // Пожарная и аварийная безопасность : Сборник материалов XX Международной научно-практической конференции, посвящённой 35-й годовщине со дня образования МЧС России, Иваново, 13–14 ноября 2025 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. – С. 385-388. – EDN FRRMJL.
3. ГОСТ Р 50982-2009 «Техника пожарная. Инструмент для проведения специальных работ на пожарах. Общие технические требования. Методы испытаний».
4. ГОСТ 20.39.108-85 «Комплексная система общих технических требований. Требования по эргономике, обитаемости и технической эстетике. Номенклатура и порядок выбора».

5. Пучков, П. В. Исследование прочностных показателей наиболее нагруженных деталей башенной сушилки с использованием компьютерного моделирования / П. В. Пучков, В. Е. Иванов // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 1. – С. 85-87. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-1-85-87. – EDN CNFAKE.

6. Топоров, А. В. Исследование прочностных характеристик изделий, полученных с использованием технологии 3D печати / А. В. Топоров, В. Е. Иванов // Общественные проблемы инженерной подготовки кадров МЧС России : Сборник трудов секции № 15 XXXIII Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2023 года. – Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2023. – С. 175-179. – EDN VQCFQK.

7. Иванов, В. Е. Проведение прочностного анализа конструкций разрабатываемого пожарного оборудования / В. Е. Иванов, П. В. Пучков // Пожарная и аварийная безопасность : Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России, Иваново, 21 ноября 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 402-405. – EDN YJAWBP.

8. Визуализация учебного материала средствами системы компас-3D / И. А. Легкова, С. А. Никитина, В. П. Зарубин, В. Е. Иванов // Современные проблемы высшего образования : материалы VII Международной научно-методической конференции, Курск, 28 апреля 2015 года / С.Г. Емельянов (отв. редактор). – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2015. – С. 34-38. – EDN TWIUKZ.

9. Легкова, И. А. Использование трехмерной графики при изучении устройства узлов механизмов / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, В. Е. Иванов // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России : Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 85-летию Ивановской государственной сельскохозяйственной академии имени Д.К. Беляева, Иваново, 29 октября 2015 года. Том 2. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д.К. Беляева, 2015. – С. 140-143. – EDN VUDPRX.

10. Патент на полезную модель № 220671 U1 Российская Федерация, МПК В25В 25/00. Устройство для навязки проволоочных хомутов: № 2023117311: заявл. 29.06.2023: опубл. 28.09.2023 / И. А. Малый, И. Ю. Шарбанова, П. В. Пучков [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий". – EDN CVTNMJ.

УДК 614.84

Д. И. Менделеев^{1,2}, А. А. Потапов¹, В.Г. Кашин¹

¹АО «Татэнерго»

²ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И КОНТРОЛЯ ПЕРВИЧНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ НА ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ОБЪЕКТЕ

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы организации технического обслуживания и контроля за состоянием систем противопожарной защиты на крупном производственном объекте. Особое внимание уделяется практическим аспектам эксплуатации значительного парка порошковых и углекислотных огнетушителей, а также пожарных рукавов. На основе анализа научной литературы и нормативных требований исследуется проблема делегирования полномочий при проведении осмотров, сложности соблюдения регламентов взвешивания и перекатки, вопросы учета резервного фонда средств пожаротушения, а также экологические аспекты обращения с огнетушащими веществами. Авторами предлагаются практические рекомендации по совершенствованию системы эксплуатации с учетом современных исследований в области мониторинга состояния противопожарного оборудования.

Ключевые слова: пожарная безопасность, огнетушители, пожарные рукава, эксплуатация, техническое обслуживание, резервный фонд, перекатка рукавов, мониторинг, экология

D. I. Mendelev^{1,2}, A. A. Potapov¹, V.G. Kashin¹

ORGANIZATION OF MAINTENANCE AND INSPECTION OF PRIMARY FIREFIGHTING EQUIPMENT AT INDUSTRIAL FACILITIES

Abstracts: The article examines the organizational aspects of maintenance and monitoring of fire protection systems at large-scale industrial facilities. Particular attention is paid to the practical challenges of managing a significant inventory of dry chemical and carbon dioxide (CO₂) fire extinguishers, as well as fire hoses. Based on an analysis of scientific literature and regulatory requirements, the study explores the delegation of authority during inspections, the complexities of complying with weighing and hose re-reeling schedules, and the management of backup equipment reserves, as well as the environmental aspects of extinguishing agent handling. The authors propose practical recommendations for improving operational systems, incorporating contemporary research in the field of fire protection equipment monitoring.

Keywords: fire safety, fire extinguishers, fire hoses, operation, maintenance, backup reserve, hose re-reeling, condition monitoring, environmental protection

Введение

Обеспечение пожарной безопасности производственных объектов представляет собой комплексную задачу, ключевым элементом которой является поддержание в постоянной готовности первичных средств пожаротушения. Первичные средства пожаротушения предназначены для локализации и ликвидации пожара на начальной стадии его развития, и от их исправности и готовности к применению напрямую зависит возможность предотвращения развития крупного пожара» [5].

Наличие на объекте обширного парка средств пожаротушения — требует построения целостной системы эксплуатации. Исследования показывают, что «около трети систем безопасности не срабатывают при пожаре именно из-за отсутствия надлежащего контроля и технического обслуживания.

Дополнительным аспектом, требующим внимания, является экологическая составляющая эксплуатации средств пожаротушения. [7, 11, 12]. Огнетушащие вещества, вышедшие из строя огнетушители, изношенные рукава — все это относится к категории отходов, обращение с которыми должно осуществляться в соответствии с природоохранным законодательством. Целью работы является обобщение практических подходов к организации эксплуатации указанных средств с акцентом на контроль, документирование и экологическую безопасность.

Распределение ответственности и кадровое обеспечение

Ключевым вопросом при организации эксплуатации является назначение лиц, ответственных за проведение проверок. Согласно Постановлению Правительства РФ № 1479, руководитель организации назначает лицо, ответственное за приобретение, ремонт, сохранность и готовность к применению первичных средств пожаротушения [1]. На практике формируется система делегирования полномочий. Приказом назначается ответственное лицо (например, заместитель начальника цеха), а за каждым оперативным работником закрепляется конкретная территория. Оперативный персонал проводит ежеквартальные визуальные осмотры закрепленных средств, фиксируя:

- наличие огнетушителей на штатных местах;
- давление по манометру (не в красной зоне);
- целостность корпусов и пломб;
- доступ к пожарным кранам (отсутствие загромождений).

Юридическая ответственность за достоверность данных сохраняется за лицом, назначенным приказом, которое контролирует записи в журнале и заверяет их своей подписью. Такой подход обеспечивает баланс между практической реализуемостью и соблюдением нормативных требований.

Эксплуатация и контроль за состоянием огнетушителей

Периодические осмотры проводятся ежеквартально. Для порошковых огнетушителей ключевым параметром является давление по манометру — при нахождении стрелки в красной зоне огнетушитель направляется на внеочередную перезарядку. Также, при длительном хранении порошковых огнетушителей возможны процессы слеживания и комкования огнетушащего порошка, что требует периодического переворачивания огнетушителя при осмотре. [9]

Для углекислотных огнетушителей, установленных в зонах размещения высоковольтного электрооборудования и турбин, нормативом предписано контрольное взвешивание для определения утечки газа (ежеквартально — для ответственных объектов, не реже 1 раза в год — в общем случае). На практике выполнение взвешивания сопряжено с организационными трудностями и может проводиться формально. Внедрение систем автоматизированного мониторинга массы и давления позволяет снизить затраты на обслуживание на 15-20 %» [8]

Перезарядка порошковых огнетушителей проводится 1 раз в 5 лет, углекислотных — 1 раз в 5 лет (или при утечке). Утилизация осуществляется через 10 лет эксплуатации. Важно, что утилизация огнетушителей и огнетушащих веществ должна проводиться специализированными организациями, имеющими лицензии на обращение с отходами соответствующего класса опасности.

Проблема резервного фонда

В условиях непрерывного производства критически важно не допускать ситуаций, когда огнетушители отсутствуют на штатных местах в связи с отправкой на перезарядку. Недопустимой практикой является использование огнетушителей с соседних постов. Решением является формирование резервного фонда (от 10 до 50 % от общего количества). Как показывают исследования, предприятия, имеющие систему управления резервным фондом, сокращают время простоя противопожарного оборудования на 30-40 % [10]. Однако резервный фонд требует отдельного учета — без этого он выпадает из системы контроля.

Эксплуатация пожарных рукавов

Эксплуатация пожарных рукавов включает визуальный осмотр и регламентные мероприятия. Основным из них является пережатка. Пережатка пожарных рукавов является важным аспектом пожарной безопасности здания, так как позволяет контролировать внешнее состояние и исключает появление трещин и деформаций.

Нормативная периодичность пережатки — не реже 1 раза в год [4]. На практике для повышения надежности пережатка проводится 2 раза в год. При отсутствии специализированного станка пережатка выполняется вручную. Ключевым визуальным признаком качественно выполненной пережатки является отсутствие «шва» — следа от старого сгиба. Если после пережатки на рукаве остается выраженный излом, это указывает на потерю эластичности материала.

Гидравлические испытания (опрессовка) проводятся ежегодно, как правило, совмещаются с пережаткой. На этапе опрессовки выявляется значительное количество дефектов (пропуск среды, микротрещины), что приводит к списанию рукавов. Основными причинами выхода из строя пожарных рукавов являются механические повреждения, потеря эластичности из-за старения материала и нарушения условий хранения.

Экологический аспект

Порошковые составы, попадая в окружающую среду при утилизации или несанкционированном сбросе, могут оказывать негативное воздействие на почвы и водные объекты. Углекислота (CO_2) при аварийном выбросе в закрытых помещениях создает риск для персонала, а в атмосферу поступает как парниковый газ. Таким образом, экологическая безопасность при эксплуатации огнетушителей обеспечивается:

- своевременной перезарядкой в специализированных центрах;
- исключением самостоятельной разборки и слива содержимого;
- передачей отработанных огнетушителей на утилизацию по договору.

Пожарные рукава изготавливаются из синтетических материалов (полиэстер, полиуретан, резина). При списании они относятся к отходам производства и потребления. Несанкционированное сжигание рукавов недопустимо из-за выделения токсичных веществ. Правильная утилизация осуществляется путем передачи специализированным организациям для переработки или размещения на полигонах промышленных отходов.

Документальное оформление

Вся информация о состоянии средств пожаротушения фиксируется в едином Журнале эксплуатации систем противопожарной защиты. Заполнение граф журнала производится оперативным персоналом, контроль и подпись — ответственным лицом.

В журнале отражаются:

- результаты ежеквартальных осмотров огнетушителей;
- даты перекатки и гидравлических испытаний рукавов;
- сведения об отправке на перезарядку и возврате;
- данные о списании и утилизации.

Наличие правильно оформленных журналов учета первичных средств пожаротушения и своевременность записей о проведенных проверках являются одним из ключевых критериев при оценке противопожарного состояния объекта надзорными органами.

В дополнение рекомендуется вести отдельную ведомость учета резервного фонда огнетушителей. Современные исследования в области интернета вещей предлагают пути автоматизации учета: концепция «умного огнетушителя», который способен автоматически передавать данные о своем состоянии в диспетчерский центр.

Заключение

Эксплуатация систем пожаротушения на крупном производственном объекте требует построения гибкой, но строго документированной системы контроля. Основные выводы:

Делегирование полномочий оперативному персоналу с закреплением территорий является эффективным способом обеспечения ежеквартального контроля при сохранении ответственности за руководством.

Резервный фонд огнетушителей необходим для непрерывной защиты, но требует отдельного регламентированного учета. Формализация учета резерва сокращает простой оборудования на 30-40 %

Регламентные процедуры (взвешивание углекислотных огнетушителей, перекатка рукавов) должны выполняться в полном объеме. Автоматизация мониторинга является перспективным направлением снижения трудоемкости и повышения достоверности контроля.

Экологическая безопасность при эксплуатации средств пожаротушения обеспечивается:

1. передачей отработанных огнетушителей и огнетушащих веществ на утилизацию лицензированными организациями;
2. исключением самостоятельной разборки и слива содержимого;
3. правильной утилизацией изношенных рукавов (без сжигания).

Документальное оформление в едином журнале с последующим контролем ответственного лица является основой для подтверждения готовности объекта к проверкам.

Только системный подход, учитывающий как требования нормативной базы, так и реалии производственного процесса, а также экологические аспекты, способен гарантировать надежную работу первичных средств пожаротушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 (ред. от 03.02.2025) «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации». — Ст. 50.
2. ГОСТ Р 59641-2021 «Техника пожарная. Огнетушители. Общие технические требования. Методы испытаний» (с Изменением №1 от 01.10.2024). — М.: Российский институт стандартизации, 2024.
3. ГОСТ Р 51049-2019 «Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний». — М.: Стандартинформ, 2019. — 32 с.
4. Методические рекомендации по организации и порядку эксплуатации пожарных рукавов (утв. МЧС России 14.11.2007). — М.: ВНИИПО МЧС России, 2007. — 24 с.
5. Аксенов, С. Г., Синагатуллин, Ф. К. Обеспечение первичных мер пожарной безопасности в муниципальных образованиях // Проблема обеспечения безопасности: Материалы II Международной научно-практической конференции. — Уфа: РИК УГАТУ, 2020. — С. 242-244 .
6. Garcia-Martin, R., González-Briones, A., & Corchado, J. M. (2019). SmartFire: Intelligent Platform for Monitoring Fire Extinguishers and Their Users. *Sensors*, 19(10), 2390.
7. Капизова, А. М., Чернышова, А. Г. Загрязнение окружающей природной среды огнетушащими веществами и экологические последствия // Экология родного края: проблемы и пути решения : материалы XVII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, 26–27 апреля 2022 г., г. Киров. — Киров: ВятГУ, 2022. — Кн. 1. — С. 410-413.
8. Ortiz, É., Campolina, J. M., Moris, V. A. S., & da Silva, J. E. A. R. (2014). Reverse logistics: case study of a remanufacturer company fire extinguisher. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18(2), 872-882.
9. Кунин, А. В., Смирнов, С. А., Лапшин, Д. Н., Семенов, А. Д., & Ильин, А. П. (2016). Разработка технологии получения огнетушащих порошков марки АВСЕ. *Российский химический журнал*, 86(2), 450-459.
10. Kim, J.-G. et al. (2021). Production of IoT-based Smart Fire Extinguisher. *Proceedings of the Korea Information Processing Society Conference*, 136-139.
11. Менделеев, Д. И. К вопросу экологии в промышленности: влияние окружающей среды на работу оборудования / Д. И. Менделеев // Радиоэлектроника, электротехника и энергетика : Тезисы докладов Двадцать девятой Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов, Москва, 16–18 марта 2023 года. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью "Центр полиграфических услуг " РАДУГА", 2023. — С. 646.
12. Менделеев, Д. И. Экологическая трансформация энергетики: сокращение удельных выбросов и зависимость от внешних условий / Д. И. Менделеев, Д. А. Росихин, Л. А. Галимзянов // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. — 2023. — № 2(140). — С. 121-125.

УДК 66 (075.8)

И.В. Муратов¹, С.В. Натареев^{1,2}

¹Ивановский государственный химико-технологический университет

^{1,2}Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАСЧЕТ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЖИДКОСТИ

Аннотация: предложено математическое описание процесса нагревания органической жидкости в кожухотрубном теплообменнике. Выполнен расчет нагрева толуола. Модель рекомендована для практического применения.

Ключевые слова: кожухотрубный теплообменник, математическая модель.

I.V. Muratov, S.V. Natareev

CALCULATION OF A HEATER FOR AN ORGANIC LIQUID

Abstracts: a mathematical description of the process of heating an organic liquid in a shell-and-tube heat exchanger has been proposed. The calculation of toluene heating has been completed. The model is recommended for practical application.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, mathematical model.

Кожухотрубные теплообменники предназначены для обмена тепловой энергией между двумя средами, которые не смешиваются между собой [1, 2]. Данные аппараты являются наиболее распространенным типом теплообменников на химических, теплоэнергетических, пищевых и других предприятиях. Это обусловлено, прежде всего, надежностью конструкции, большим набором вариантов исполнения для различных условий эксплуатации [3]. При работе теплообменного оборудования не исключены аварийные ситуации, которые приводят к снижению эффективности процесса теплообмена и даже к полной остановке аппарата. Аварийные ситуации могут возникнуть при деформации конструктивных элементов аппарата под действием внешнего давления, которое превышает внутреннее, внутренних и внешних утечек, когда теплоноситель вытекает из теплообменника или теплоносители смешиваются между собой, гидроударе, обусловленном резким скачком давления в трубопроводе и других случаях [4].

Для диагностики аварийных ситуаций в теплообменниках используют различные методы. При визуальном осмотре выявляют трещины, деформации, коррозию и другие повреждения. Гидравлические испытания (опрессовка) проводят путем заполнения теплообменника водой или другой жидкостью под давлением и отслеживания изменения давления в результате утечек теплоносителей. Ультразвуковую диагностику проводят без разборки теплообменника с помощью ультразвукового оборудования. Газовое тестирование предполагает выявление утечек и микрповреждений с применением инертного газа, например, такого как гелий [5].

Одной из причин возникновения аварийной ситуации может быть применение теплообменного аппарата с техническими характеристиками, не отвечающими эксплуатационным требованиям. В этом случае необходимо убедиться в правильности

выполненных расчетов, которые проводят в следующей последовательности [6]: 1) тепловой расчет, 2) конструктивный расчет; 3) тепловой поверочный расчет; 4) гидравлический расчет; 5) расчеты на прочность конструктивных элементов аппарата и сейсмостойкость.

При проведении теплового расчета определяют эффективность теплопередачи, необходимые площади поверхностей для обмена теплом, конечные значения температур теплоносителя и его суммарный расход, а также другие энергетические характеристики теплообменника.

В работе предложено математическое описание непрерывного процесса нагревания органической жидкости водяным паром в горизонтальном одноходовом кожухотрубном подогревателе, схема которого показана на рис. 1.

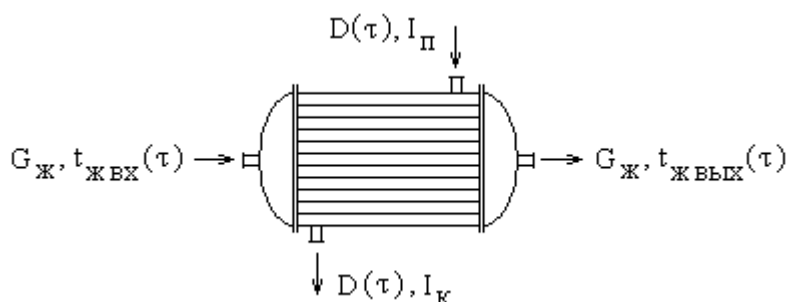


Рис. 1. Схема движения фаз в подогревателе

Подогреватель работает следующим образом. В межтрубное пространство теплообменника поступает водяной пар с массовым расходом $D(\tau)$ и энтальпией $I_{\text{п}}$. В трубное пространство теплообменника поступает жидкость с массовым расходом $G_{\text{ж}}$ и температурой $t_{\text{вх}}(\tau)$. Пар нагревает жидкость. Из теплообменника выводят образовавшийся конденсат с энтальпией $I_{\text{к}}$ и жидкость с температурой $t_{\text{вых}}(\tau)$. Необходимо найти распределение температуры жидкости по длине трубы в любой момент времени.

При математическом моделировании используем следующие допущения. Высота уровня конденсата в теплообменнике является незначительной. Давление пара изменяется незначительно, что позволяет считать температуру пара в любой точке аппарата одинаковой. Температура жидкости на входе в теплообменник изменяется во времени. Жидкость в трубном пространстве движется в режиме идеального вытеснения.

Уравнение теплового баланса подогревателя без учета потерь теплоты в окружающую среду имеет вид:

$$D(\tau)(I_{\text{п}} - I_{\text{к}}) = G_{\text{ж}}c_{\text{ж}}[t_{\text{вых}}(\tau) - t_{\text{вх}}(\tau)], \quad (1)$$

где $c_{\text{ж}}$ – средняя удельная теплоемкость жидкости.

Учитывая принятые допущения, можно из математической модели исключить уравнение для профиля температур водяного пара, т.к. его температура является величиной известной. Уравнение для профиля температур жидкости в трубах теплообменника имеет следующий вид:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = -w \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial x} + R[t_{\text{п}} - t(x, \tau)]. \quad (2)$$

К уравнению (2) необходимо добавить начальные и граничные условия:

$$t(x, \tau)|_{\tau=0} = t_{\Pi}; \quad (3)$$

$$t(x, \tau)|_{x=0} = t_{\text{вх}}(\tau). \quad (4)$$

Здесь $R = \frac{K\Pi}{Sc_{\text{ж}}\rho_{\text{ж}}}$, t_{Π} – температура пара; w – скорость движения жидкости в трубе теплообменника; K – коэффициент теплопередачи; Π – периметр трубы теплообменника, вычисленный по среднему диаметру; S – площадь поперечного сечения трубы.

Введем новые переменные:

$$T = t_{\Pi} - t; \quad \Theta = \tau R; \quad z = \frac{xR}{w}. \quad (5)$$

В новых переменных система уравнений (2) – (4) примет вид:

$$\frac{\partial T(z, \Theta)}{\partial z} + \frac{\partial T(z, \Theta)}{\partial \Theta} + T(z, \Theta) = 0; \quad (6)$$

$$T(z, \Theta)|_{\Theta=0} = 0; \quad (7)$$

$$T(z, \Theta)|_{z=0} = T_{\text{вх}}(\Theta). \quad (8)$$

Применим к уравнению (6) преобразование Лапласа по Θ , т.е. перейдем от $T(z, \Theta)$ и $T_{\text{вх}}(\Theta)$ к их изображениям $T_L(z, s)$ и $T_{L \text{ вх}}(s)$ [7]. Получаем:

$$\frac{dT_L(z, s)}{dz} + sT_L(z, s) + T_L(z, s) = 0; \quad (9)$$

Уравнение (9) не содержит произвольной постоянной по s , и поэтому представляет собой простое дифференциальное уравнение с параметром s . Его общее решение имеет вид:

$$T_L(z, s) = Ce^{-(s+1)z}, \quad (10)$$

где C – постоянная, определяемая из граничного условия.

Применим преобразование Лапласа к граничному условию (8):

$$T_L(z, s)|_{z=0} = T_{L \text{ вх}}(s). \quad (11)$$

Воспользуемся условием (11):

$$T_L(z, s)|_{z=0} = Ce^{-(s+1)z}|_{z=0} = T_{L \text{ вх}}(s). \quad (12)$$

Получаем

$$C = T_{L_{\text{ВХ}}}(s). \quad (13)$$

Таким образом, решение уравнения (10) с граничным условием (11) имеет вид:

$$T_L(z, s) = T_{L_{\text{ВХ}}}(s) e^{-(s-1)z}, \quad (14)$$

Выполним обратное преобразование Лапласа и возвратимся к прежним переменным:

$$t(x, \tau) = t_{\text{П}} - e^{-\frac{xK\Pi}{wSc_{\text{ж}}\rho_{\text{ж}}}} \left[t_{\text{П}} - t_{\text{ВХ}} \left(\tau - \frac{x}{w} \right) \right]. \quad (15)$$

Из решения (15) следует, что значение искомой функции $t(x, \tau)$ находится путем сдвига входной функции по времени и её умножения на коэффициент $e^{-\frac{xK\Pi}{wSc_{\text{ж}}\rho_{\text{ж}}}}$.

Рассмотрим случай, когда температура нагреваемой жидкости на входе в аппарат не изменяется во времени. В этом случае уравнение для расчета профиля температур жидкости может быть получено в следующем виде:

$$t(x) = t_{\text{ВЫХ}} e^{-\frac{xK\Pi}{wSc_{\text{ж}}\rho_{\text{ж}}}}. \quad (16)$$

Разработанное математическое описание используем для расчета стационарного нагрева толуола насыщенным паром. В качестве исходных данных примем следующие параметры: производительность $Q = 7$ кг/с; температура на выходе из аппарата $t_{\text{ВЫХ}} = 80$ °С; плотность $\rho = 830$ кг/м³; удельная теплоемкость $c_{\text{ж}} = 1810$ Дж/(кг·°С); коэффициент теплопередачи $K = 160$ Вт/(м²·°С); диаметр кожуха $D_a = 0,8$ м; длина труб $L = 3$ м; количество труб в трубной решетке $n = 465$; натужный диаметр трубы $d_n = 0,025$ м; толщина стенки трубы $\delta = 0,002$ м. Результаты расчета приведены на рис. 2.

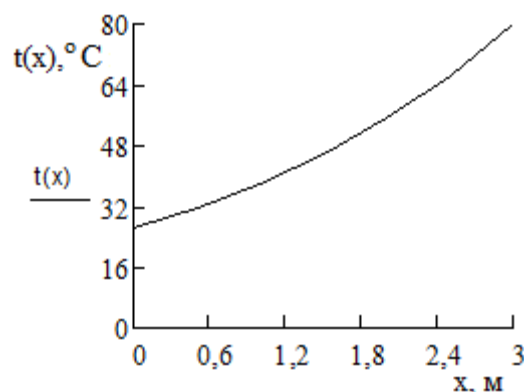


Рис. 2. Распределение температуры толуола по длине трубы

Таким образом, проведенные расчеты позволяют определить распределение температуры по длине труб и найти рациональные параметры работы теплообменного аппарата, необходимые для прогнозирования вероятности возникновения аварийной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по теплообменникам. Т. 1 / Пер. с англ. Под ред. Б.С. Петухова, В.К. Шикова. М.: Энергоиздат, 1987. 559 с.
2. Справочник по теплообменникам. Т. 2 / Пер. с англ. Под ред. О.Г. Мартыненко и др. М.: Энергоиздат, 1987. 352 с.
3. Бродов Ю.М., Плотников П.Н. Надежность кожухотрубных теплообменных аппаратов паротурбинных установок: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2001. 241 с.
4. Владимирова В.А., Долгин Н.Н., Лукьянченков А.Г. и др. Готовность РСЧС к ликвидации чрезвычайных ситуаций при крупномасштабных химических авариях (анализ, выводы, предложения) // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2012. Т. 2. № 1(2). С. 97-150.
5. Краснов В.И., Максименко В.И. Ремонт теплообменников. М.: Химия, 1990. 100 с.
6. Бакластов А.М. Проектирование, монтаж и эксплуатация теплоиспользующих установок: учеб пособие. М.: Энергия, 1970. 568 с.
7. Диткин В.А., Прудников А.П. Справочник по операционному исчислению. М.: Высш. школа. 1965. 465 с.

УДК 621.892

И.Ч. Муртазина, И.И. Ведерникова

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ПУТЕМ ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННОГО ВВЕДЕНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ И МОДИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК

Аннотация: в статье представлены результаты системного анализа влияния различных классов примесей на структурное состояние и эксплуатационные характеристики литых металлических заготовок. Рассмотрены физико-химические механизмы модифицирования, рафинирования и микролегирования, позволяющие управлять процессом кристаллизации. Особое внимание уделено комплексным добавкам на основе редкоземельных металлов, тугоплавких соединений и лигатур, обеспечивающим снижение дефектности, повышение герметичности и улучшение механических свойств отливок из черных и цветных сплавов.

Ключевые слова: литая заготовка, примеси, модификатор, рафинирование, дендритная структура, неметаллические включения, усадочная пористость, механические свойства.

I.H. Murtazina, I.I. Vedernikova

IMPROVING THE QUALITY OF CASTING BY INTRODUCING LEGATING AND MODIFYING ADDITIVES

Abstract: The article presents the results of a systematic analysis of the influence of various classes of impurities on the structural state and performance characteristics of cast metal blanks. The article discusses the physical and chemical mechanisms of modification, refining, and microalloying, which allow for the control of the crystallization process. Special attention is given to complex additives based on rare-earth metals, refractory compounds, and лигатуры, which reduce defects, improve tightness, and enhance the mechanical properties of castings made from ferrous and non-ferrous alloys.

Keywords: cast billet, impurities, modifier, refining, dendritic structure, non-metallic inclusions, shrinkage porosity, mechanical properties.

Современное металлургическое и машиностроительное производство предъявляет повышенные требования к качеству литых заготовок, используемых для изготовления ответственных деталей авиационной, автомобильной, энергетической и нефтегазовой техники. Традиционные способы получения отливок, основанные на регулировании температурно-скоростных параметров заливки, выборе конструкций литниковых систем и применении вакуумирования, не всегда позволяют достичь требуемого уровня однородности структуры и минимизации дефектов. Основными видами брака литых заготовок остаются крупнозернистость, дендритная ликвация, усадочная рыхлота, газовые раковины и оксидные включения, которые в совокупности снижают герметичность, пластичность и усталостную прочность [1].

В последние десятилетия активно развивается направление, связанное с управлением процессами кристаллизации и структурообразования посредством введения в расплав малых количеств специальных веществ – модификаторов, рафинирующих флюсов и микролегирующих элементов. Такие добавки позволяют изменять морфологию фаз, измельчать зеренную структуру, связывать вредные примеси и удалять неметаллические включения, что в итоге обеспечивает получение заготовок с заданными эксплуатационными характеристиками.

Модификаторы – это вещества, которые при введении в расплав в небольших количествах (обычно сотые или десятые доли процента) вызывают изменение формы, размеров и распределения фаз в процессе кристаллизации. Основным механизмом действия модификаторов является гетерогенное зарождение кристаллов на частицах, имеющих близкую к металлу кристаллографическую решетку, либо адсорбционное влияние на рост уже образовавшихся зародышей. Для алюминиевых сплавов наиболее широко применяются модификаторы на основе титана и бора (лигатуры $AlTi5B1$, $AlTi3B3$). Частицы боридов титана (TiB_2) и алюминидов титана (Al_3Ti), образующиеся в расплаве, служат эффективными подложками для кристаллизации α -твердого раствора. В результате достигается измельчение зерна в 5–8 раз по сравнению с немодифицированным сплавом [2]. Для эвтектических и заэвтектических силуминов (сплавы $Al-Si$) классическим модификатором является натрий или стронций, которые изменяют морфологию кремния с пластинчатой на компактную, что резко повышает пластичность. В черной металлургии для модифицирования серого чугуна используют ферросилиций с добавками кальция, алюминия и редкоземельных металлов ($FeSi45Ca$, $FeSi75$). Такие добавки способствуют графитизации, увеличению количества и компактизации графитовых включений, что приводит к росту прочностных характеристик и снижению чувствительности к концентраторам напряжений.

Рафинирование направлено на удаление из расплава растворенных газов (прежде всего водорода) и неметаллических включений (оксидов, нитридов, карбидов). Для алюминиевых и магниевых сплавов широко применяются флюсовые смеси на основе хлоридов и фторидов щелочных и щелочноземельных металлов (NaCl , KCl , Na_3AlF_6 , MgCl_2). Механизм действия флюсов заключается в смачивании оксидных пленок, их адсорбции на границе раздела металл–шлак и последующем удалении. Кроме того, хлориды способствуют связыванию водорода с образованием газообразных хлористых соединений, удаляемых из расплава при продувке инертным газом.

Современным высокоэффективным методом является роторное рафинирование с подачей аргона или азота через вращающуюся фурму, что позволяет снизить содержание водорода в алюминиевых расплавах до $0,08\text{--}0,12\text{ см}^3/100\text{ г}$. Для более глубокой очистки в поток газа добавляют микродозы активных реагентов, например, хлора ($0,01\text{--}0,02\text{ \%}$ от массы металла), образующего с водородом HCl , который практически не растворим в алюминии.

Микролегирование предусматривает введение элементов, которые в малых концентрациях (обычно менее $0,5\text{ \%}$) образуют в структуре литой заготовки дисперсные интерметаллидные фазы, устойчивые при последующей термической обработке. Эти фазы препятствуют росту зерна при нагреве, повышают рекристаллизационную стойкость и упрочняют матрицу.

Наиболее ярким примером является добавка скандия ($0,2\text{--}0,4\text{ \%}$) в алюминиевые сплавы системы Al-Mg , Al-Zn-Mg . Образующиеся частицы Al_3Sc имеют кубическую решетку, когерентно сопряженную с алюминиевой матрицей, что обеспечивает высокую термическую стабильность и повышает предел текучести на $30\text{--}50\text{ \%}$ по сравнению с немодифицированными составами [3]. Аналогичное действие оказывают цирконий и гафний, хотя эффективность их ниже.

Для количественной оценки эффективности применения различных добавок были проанализированы данные, полученные при литье заготовок из наиболее распространенных литейных сплавов. Оценка проводилась по таким критериям, как размер зерна, объемная доля неметаллических включений, количество и морфология эвтектических фаз, а также механические свойства (предел прочности, относительное удлинение, ударная вязкость).

Введение модификаторов, содержащих Ti , V или Zr , приводит к значительному уменьшению среднего размера зерна. В табл. 1 приведены сравнительные данные для алюминиевого сплава А356 (аналог АК7ч) при различных вариантах обработки.

Таблица 1. Влияние модифицирования на размер зерна в сплаве А356

Вариант обработки	Средний размер зерна, мкм	Коэффициент дисперсности
Без модифицирования	450–600	1,0
AlTi5B1 ($0,1\text{ \% Ti}$)	180–250	2,2
AlTi3B3 ($0,15\text{ \% Ti}$)	120–170	3,5
$\text{AlTi5B1} + 0,05\text{ \% Sr}$	100–140	4,1

Измельчение зерна положительно сказывается на распределении микроликватов: уменьшается объемная доля неравновесных эвтектик по границам зерен, повышается однородность химического состава в микрообъемах.

Применение комплексного рафинирования и модифицирования позволяет существенно сократить количество дефектов усадочного и газового происхождения. Для оценки использовали метод металлографического анализа и рентгеновского просвечивания.

В табл. 2 представлены результаты обработки сплава АМг6 (магниево-алюминиевый) с использованием флюса марки ФМ-1 и последующей продувки аргоном.

Полученные данные свидетельствуют, что комбинированная обработка позволяет снизить пористость более чем в 5 раз и практически полностью исключить крупные оксидные корольки, что критически важно для деталей, работающих под давлением (корпуса насосов, гидроцилиндры).

Таблица 2. Содержание дефектов в литых заготовках из сплава АМг6

Показатель	Без обработки	После рафинирования	После рафинирования + модифицирования Zr
Пористость, %	3,2–4,5	1,1–1,8	0,5–0,9
Максимальный размер пор, мм	0,8	0,3	0,15
Объемная доля оксидных включений, %	0,45	0,12	0,08

Улучшение структуры закономерно приводит к повышению механических свойств. Для силуминов, модифицированных стронцием, характерен переход от хрупкого разрушения к вязкому, что выражается в росте относительного удлинения с 2–3 % до 10–12 % при одновременном повышении предела прочности на 20–30 %. В случае стальных отливок, модифицированных ферротитаном (0,2–0,3 % Ti), наблюдается измельчение первичного аустенитного зерна и уменьшение степени дендритной ликвации серы и фосфора. Это обеспечивает повышение ударной вязкости (КСV) при отрицательных температурах в 1,5–2 раза, что особенно важно для северного исполнения оборудования [4].

Наиболее перспективным направлением является использование многокомпонентных модификаторов, содержащих одновременно элементы для модифицирования, рафинирования и микролегирования. Такие композиции позволяют достичь синергетического эффекта, когда суммарный результат превосходит действие каждого компонента по отдельности.

Редкоземельные металлы (церий, лантан, неодим, иттрий) проявляют высокую поверхностную активность по отношению к кислороду, сере и другим неметаллическим примесям. При введении в сталь или никелевые сплавы РЗМ связывают сульфиды и оксисульфиды, переводя их в компактные глобулярные формы, что снижает анизотропию свойств и повышает сопротивление усталости. В алюминиевых сплавах добавки иттрия (до 0,1 %) стабилизируют структуру, подавляя рекристаллизацию при сварке литых заготовок.

Современные технологии позволяют получать лигатуры с наноразмерными частицами модификаторов (например, Al–Ti–C с частицами TiC размером 30–100 нм), которые распределены в матрице более равномерно и обладают более высокой модифицирующей способностью. Применение таких лигатур снижает расход модификатора на 20–30 % и обеспечивает более стабильный результат, особенно при литье крупногабаритных заготовок с высокой массой.

Эффективность действия добавок существенно зависит от способа их введения, температуры расплава, времени выдержки и гидродинамических условий. Оптимальной признана практика введения лигатур в виде прутков или проволоки в поток жидкого металла при его переливе из печи в ковш или в литейную форму. Это обеспечивает равномерное распределение и минимизирует потери на окисление.

Проведенный анализ показывает, что целенаправленное введение различных примесей (модификаторов, рафинирующих флюсов и микролегирующих элементов) является высокоэффективным инструментом повышения качества литых заготовок. На основании выполненного обобщения можно сделать следующие выводы:

1. Использование модификаторов на основе Ti, B, Sr, Ca, а также РЗМ позволяет управлять процессом кристаллизации, добиваясь измельчения зеренной структуры в 3–10 раз и изменения морфологии эвтектических фаз с игольчатой на компактную или глобулярную.

2. Рафинирующая обработка с применением хлоридных флюсов и продувкой инертными газами обеспечивает снижение содержания водорода до уровня менее 0,15 см³/100 г и уменьшение объемной доли неметаллических включений более чем в 5 раз.

3. Комплексное применение модифицирования и рафинирования позволяет одновременно повысить прочностные и пластические характеристики: для алюминиевых сплавов предел прочности увеличивается на 20–40 %, относительное удлинение — в 3–5 раз; для стальных отливок значительно снижается склонность к горячим трещинам и повышается ударная вязкость.

4. Наиболее перспективным направлением является разработка и внедрение многокомпонентных модификаторов с наноразмерными частицами, а также использование адаптивных технологий введения добавок, учитывающих состав сплава, массу заготовки и тип литейной формы.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на создание математических моделей, позволяющих прогнозировать структурные изменения в зависимости от состава и количества вводимых примесей, а также на разработку ресурсосберегающих технологий обработки расплавов, обеспечивающих стабильное качество литых заготовок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефимов, В. А. Физико-химические основы модифицирования алюминиевых и магниевых сплавов / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов, И. В. Погодин-Алексеев. – М. : Металлургия, 2018. – 384 с.
2. Рошин, В. Е. Модифицирование структуры литейных алюминиевых сплавов / В. Е. Рошин, А. В. Логинов, Д. А. Кузнецов // Литейное производство. – 2021. – № 3. – С. 10–15.
3. Белов, Н. А. Диаграммы состояния тройных и четверных алюминиевых систем с участием скандия и циркония / Н. А. Белов, А. А. Аксенов. – М. : Издательский дом МИСиС, 2020. – 256 с.
4. Крутилин, А. Н. Повышение эксплуатационных свойств стальных отливок комплексным модифицированием / А. Н. Крутилин, И. В. Чуманов, В. В. Лавров // Металлург. – 2022. – № 2. – С. 47–52.
5. Панченко, Е. Я. Теория литейных процессов / Е. Я. Панченко, В. П. Монастырский. – М. : Машиностроение, 2019. – 512 с.

УДК 628.3

И.И. Наумов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОЖАРНОЙ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В ГУ МЧС РОССИИ ПО ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация: В статье рассмотрены особенности эксплуатации пожарной и аварийно-спасательной техники в системе Главного управления МЧС России по Иркутской области. Проведен анализ влияния природно-климатических и территориальных факторов на условия эксплуатации техники. Представлены структурные схемы, аналитические диаграммы и предложены направления повышения эффективности эксплуатации.

Ключевые слова: пожарная техника, аварийно-спасательная техника, эксплуатация, МЧС России, Иркутская область, техническое обслуживание, пожарная безопасность

I.I. Naumov

FEATURES OF OPERATION OF FIRE AND RESCUE EQUIPMENT IN THE MAIN DEPARTMENT OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA FOR THE IRKUTSK REGION

Abstract: The article discusses the features of operation of fire and rescue equipment in the system of the Main Department of the Ministry of Emergency Situations of Russia for the Irkutsk Region. The analysis of the influence of natural and climatic and territorial factors on the conditions of operation of equipment is carried out. Structural diagrams, analytical charts are presented and directions of increasing the efficiency of operation are proposed.

Keywords: fire equipment, emergency rescue equipment, operation, EMERCOM of Russia, Irkutsk region, maintenance, fire safety

Иркутская область характеризуется значительной территорией, сложными климатическими условиями и высокой пожароопасностью. Эксплуатация пожарной и аварийно-спасательной техники в данных условиях требует особого подхода, обеспечивающего надежность и готовность техники к применению.

Цель работы — анализ особенностей эксплуатации техники и разработка предложений по повышению её эффективности.

Задачи исследования:

- анализ условий эксплуатации;
- изучение структуры парка техники;
- выявление проблем эксплуатации;
- разработка рекомендаций.

Эксплуатация пожарной и аварийно-спасательной техники в Иркутской области проходит в условиях резко континентального климата с температурой от -40 °С зимой до +35 °С летом, что влияет на надежность оборудования. Низкие температуры вызывают загустевание топлива, снижение емкости аккумуляторов, повышенный

износ узлов и обледенение техники, требующее дополнительной подготовки к выезду. Летом увеличивается нагрузка из-за природных пожаров, что ускоряет износ техники.

Географические особенности региона — большая территория, низкая плотность населения и слабая транспортная инфраструктура — затрудняют оперативное прибытие техники к удалённым объектам. Труднодоступные лесные, горные и заболоченные районы требуют специализированной техники повышенной проходимости и автономной работы подразделений, что повышает требования к надежности и готовности оборудования.

Эксплуатация техники осуществляется в соответствии с требованиями нормативных документов и включает (см.рис.1.):

- ввод в эксплуатацию;
- техническое обслуживание;
- текущий и капитальный ремонт;
- контроль технического состояния [4].

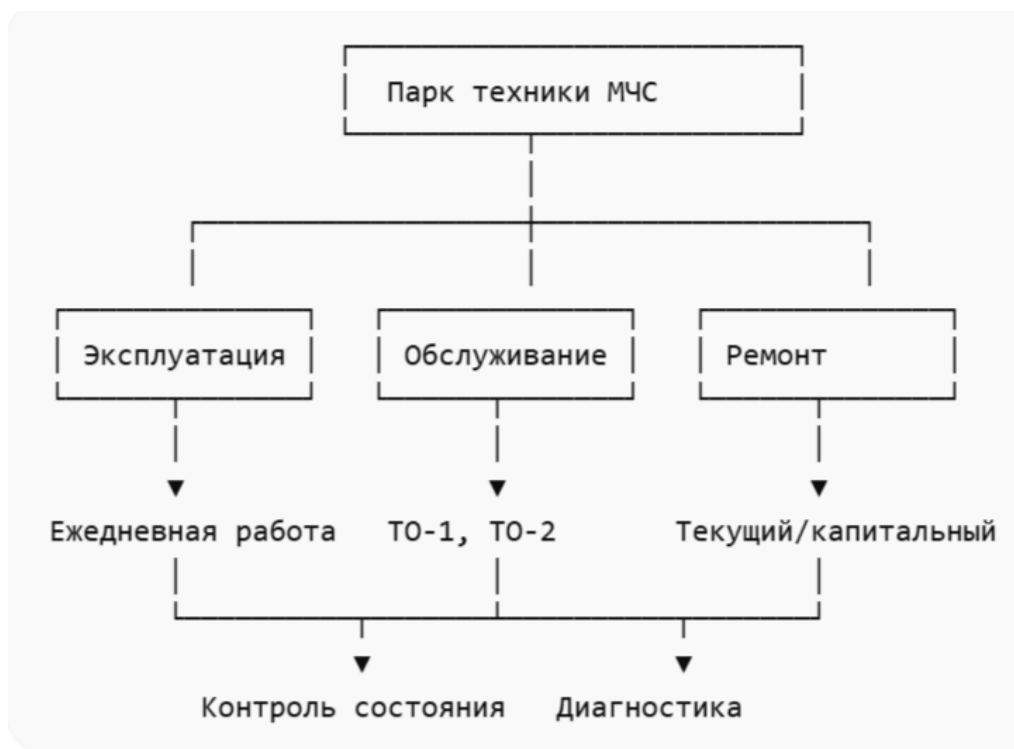


Рис. 1. Структурная схема системы эксплуатации техники

В последние годы в Иркутской области проводится активное обновление парка техники. Так, подразделения получили десятки новых автоцистерн и автолестниц, распределённых по муниципальным образованиям (см.рис. 2)

Основные направления модернизации [2]:

- внедрение цифровых систем управления;
- повышение проходимости техники;
- увеличение объема огнетушащих веществ;
- интеграция аварийно-спасательного инструмента.

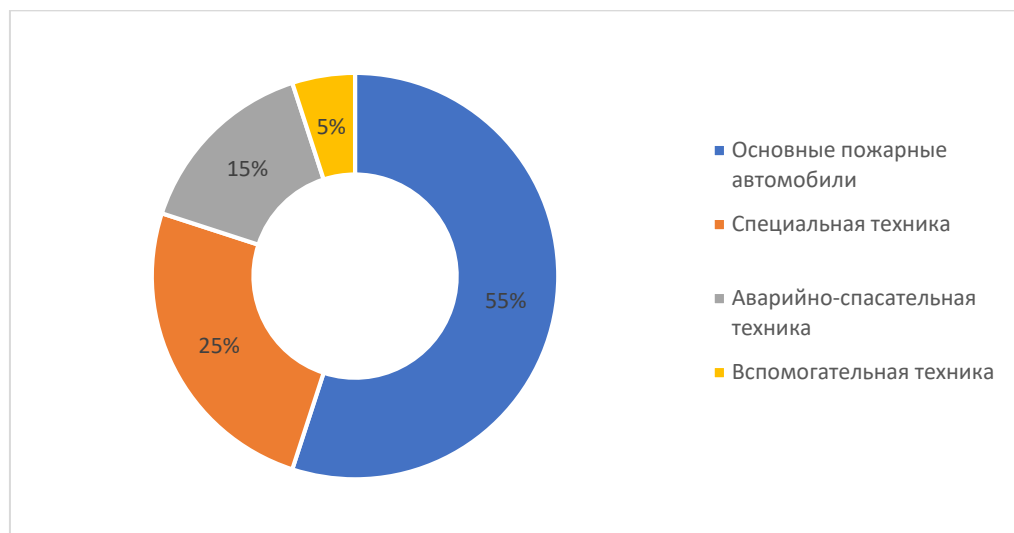


Рис. 2. Структура парка техники Иркутской области

В таблице представлена обобщённая характеристика пожарной и аварийно-спасательной техники, позволяющая систематизировать её по основным категориям и обеспечить наглядное понимание классификационных признаков [5].

Таблица. Структура и характеристика пожарной и аварийно-спасательной техники

Категория техники	Назначение	Основные функции	Примеры техники
Основные пожарные автомобили	Тушение пожаров и выполнение первоочередных аварийно-спасательных работ	Подача воды и пены, доставка личного состава, локализация пожара	Автоцистерны (АЦ), автомобили первой помощи (АПП), насосные станции (ПНС)
Специальная техника	Выполнение специализированных задач	Работа на высоте, обеспечение связи, освещения, работа в задымленной среде	Автолестницы (АЛ), коленчатые подъемники (АКП), автомобили ГДЗС, связь и освещение
Аварийно-спасательная техника	Проведение аварийно-спасательных работ	Деблокирование пострадавших, ликвидация последствий ДТП и ЧС	Аварийно-спасательные автомобили (АСА), гидравлический инструмент
Вспомогательная техника	Обеспечение функционирования подразделений	Транспортировка, ремонт, снабжение, управление	Штабные автомобили, топливозаправщики, ремонтные мастерские, автобусы

Таким образом, каждая категория техники выполняет строго определённые функции, а их совокупность обеспечивает комплексное реагирование на чрезвычайные ситуации и эффективную организацию пожарно-спасательных работ.

На рис. 3 представлена диаграмма зависимости отказов пожарной и аварийно-спасательной техники от условий эксплуатации. Она была построена на основе анализа эксплуатационных данных, полученных из отчетной документации подразделений ГУ МЧС России по Иркутской области, а также обобщённых статистических сведений по отказам техники в различных температурных режимах [2].

В качестве исходных данных использовались:

- журналы учета неисправностей и отказов техники;
- данные о наработке техники (моточасы, пробег);
- сведения о температурных условиях эксплуатации;
- результаты технической диагностики и планового обслуживания.

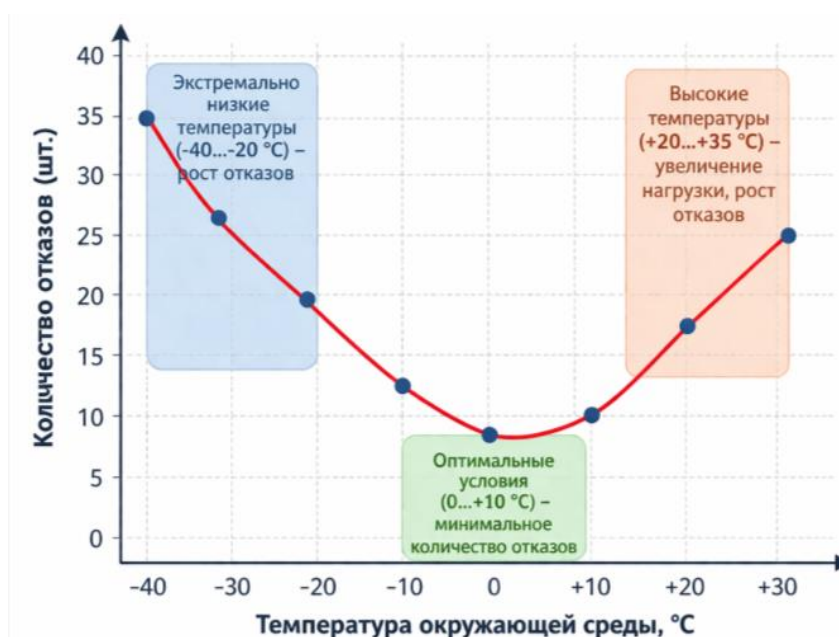


Рис. 3. Зависимость отказов от условий эксплуатации

На первом этапе исследования была проведена группировка всех зарегистрированных отказов по температурным интервалам эксплуатации: от -40°C до -30°C , от -30°C до -20°C , от -20°C до -10°C , от -10°C до 0°C , от 0°C до $+10^{\circ}\text{C}$, от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$ и от $+20^{\circ}\text{C}$ до $+35^{\circ}\text{C}$. Для каждого интервала определялось среднее количество отказов на единицу техники или на фиксированный интервал времени (например, на 1000 часов работы).

Далее была рассчитана интенсивность отказов, характеризующая надежность техники в различных условиях эксплуатации. Полученные значения были нанесены на координатную плоскость, где по оси абсцисс отложена температура окружающей среды, а по оси ординат — количество отказов [6].

В результате обработки данных была выявлена характерная нелинейная зависимость, имеющая U-образную форму. Это свидетельствует о том, что минимальное количество отказов наблюдается в диапазоне температур, близких к $0...+10^{\circ}\text{C}$, которые являются наиболее благоприятными для эксплуатации техники.

При экстремально низких температурах (ниже -30°C) наблюдается резкий рост количества отказов, обусловленный физико-химическими изменениями эксплуатационных материалов (загустевание масел, снижение емкости аккумуляторов, хрупкость материалов). В свою очередь, при повышенных температурах (выше $+20^{\circ}\text{C}$)

увеличение числа отказов связано с перегревом агрегатов, повышенной нагрузкой на системы охлаждения и интенсивной эксплуатацией техники в условиях пожароопасного сезона.

Таким образом, построенная диаграмма отражает реальную зависимость надежности техники от условий эксплуатации и позволяет сделать вывод о необходимости учета температурного фактора при организации технического обслуживания и планировании работы пожарно-спасательных подразделений.

В результате проведенного анализа установлено, что эксплуатация пожарной и аварийно-спасательной техники в подразделениях характеризуется рядом существенных проблем, оказывающих негативное влияние на эффективность их функционирования.

К числу ключевых факторов относится [5]:

- высокий уровень износа техники, обусловленный длительным сроком эксплуатации и интенсивным использованием в условиях повышенных нагрузок;
- низкие температуры окружающей среды, приводящие к ухудшению технических характеристик оборудования и увеличению вероятности отказов;
- сложность логистики, обусловленной значительной удалённостью объектов и недостаточным развитием транспортной инфраструктуры;
- ограниченность финансовых ресурсов затрудняет своевременное проведение ремонта и модернизации техники,
- устаревание оборудования, которое приводит к снижению уровня технической готовности подразделений.

В целях повышения эффективности эксплуатации пожарной и аварийно-спасательной техники предлагается реализация комплекса мероприятий организационного и технического характера:

1) В первую очередь целесообразно внедрение систем цифрового мониторинга, обеспечивающих контроль технического состояния техники в режиме реального времени.

2) Важным направлением является планомерное обновление парка техники с учетом современных требований и условий эксплуатации.

3) Кроме того, необходимо совершенствование системы технического обслуживания за счет оптимизации графиков проведения ТО и внедрения элементов прогнозного обслуживания.

4) Существенную роль играет повышение квалификации личного состава, обеспечивающее более эффективную эксплуатацию и обслуживание техники.

5) Перспективным направлением также является внедрение современных технологий тушения пожаров, позволяющих снизить нагрузку на технику и повысить общую результативность работы подразделений.

Эксплуатация пожарной и аварийно-спасательной техники в Иркутской области имеет ярко выраженную региональную специфику, обусловленную природно-климатическими и территориальными особенностями. Эффективность работы подразделений МЧС напрямую зависит от технического состояния и адаптации техники к сложным условиям эксплуатации.

Современные тенденции развития направлены на модернизацию парка техники, внедрение инновационных решений и повышение уровня технической готовности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. МЧС России. Официальный сайт. – URL: <https://mchs.gov.ru> (дата обращения: 02.04.2026).
2. Главное управление МЧС России по Иркутской области. – URL: <https://38.mchs.gov.ru> (дата обращения: 02.04.2026).
3. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Основные понятия.
4. Организация эксплуатации пожарной техники: учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 256 с.
5. Техническая эксплуатация пожарных автомобилей: учебник. – М.: Проспект, 2021. – 312 с.
6. Иванов И.И., Петров П.П. «Анализ отказов пожарной техники в условиях Крайнего Севера». Журнал «Пожарная безопасность», 2021. – № 4. – С. 45-53.

УДК 621

Э.А. Нидличиев, Н.А. Кропотова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПОСТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация: в статье рассмотрена возможность оптимизации рабочего пространства поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники. За счет осуществления прочностного расчета можно добиться рациональных габаритов и параметров по критериям работоспособности основного оборудования. Авторами обоснован выбор металлического стола, стеллажей для укладки основного ремонтного оборудования и тележки для перевозки крупногабаритных элементов пожарной техники.

Ключевые слова: пост технического обслуживания, ремонт пожарной техники, оптимизация параметров, рациональное рабочее пространство, прочностной расчет элементов конструкции.

E.A. Nidlichiev, N.A. Kropotova

ENGINEERING AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR IMPROVING THE POST OF TECHNICAL SERVICE AND REPAIR OF FIRE EQUIPMENT

Abstracts: the article discusses the possibility of optimizing the working space of a maintenance and repair station for fire equipment. By performing a strength analysis, it is possible to achieve optimal dimensions and parameters based on the criteria of the main equipment's functionality. The authors justify the selection of a metal table, racks for storing the main repair equipment, and a trolley for transporting large-sized elements of fire equipment.

Keywords: maintenance post, repair of fire equipment, optimization of parameters, rational workspace, and strength calculation of structural elements.

Пожарная техника при эксплуатации подвергается различным видам воздействия среды и условий эксплуатации: повышенные температуры, связанные с пожарами; климатические условия, особенно высокая влажность и резкие перепады температур; ударные механические нагрузки, которые сопровождаются часто появлением деформаций поверхности кузова. Все эти факторы негативно сказываются на износостойкости, надежности и долговечности, увеличивая риски повреждения и развития коррозии поверхности деталей, баков, цистерн, отдельных агрегатов и кузова в целом. За 2025 год на территории Республики Калмыкия было зарегистрировано около 1700 пожаров на которые было задействовано порядка 3000 тыс. ед. пожарной техники. Проанализированы статистические данные по заявкам на ремонт пожарной техники и сделан вывод о том, что ремонт и техническое обслуживание пожарной техники осуществляется за счет сторонних организаций по заключенным договорам (рис. 1).

В ремонтно-технических подразделениях МЧС России, к сожалению, статистика отсутствует в связи с отсутствием данных подразделений в Республике Калмыкия.

Учитывая готовность каждой смены к выполнению неотложных работ, работ по тушению пожара и проведению различных спасательных операций с применением пожарной техники, подразделения пожарной охраны возлагает повышенную нагрузку не только на технику, но и пожарно-техническое вооружение в целом. По Республике Калмыкия вышло из строя 13 ед. техники, коэффициент технической готовности составил 0,85 %, что гораздо выше по сравнению с аналогичным периодом прошлого года, когда он составлял 0,71 %. Повышение коэффициента технической готовности вызвано повышением качества проведения мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту пожарной техники. Статистический анализ подобных заявок по видам ремонта представлен на рис. 1.

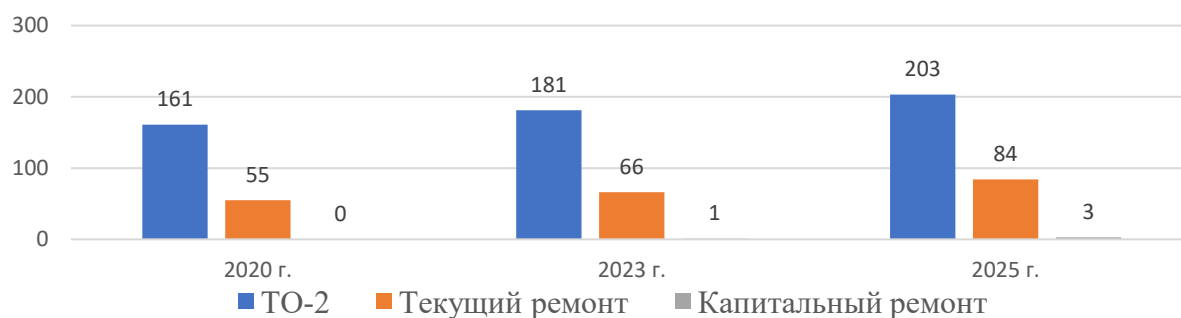


Рис. 1. Анализ данных по ремонту пожарной техники по Республике Калмыкия

Данные, представленные подразделениями пожарной охраны, показали необходимость проведения 885 средств измерений, а проведена проверка и поверка показателей в сторонних организациях в количестве 569 ед., что составляет только 64 % от всех поданных заявок. Из всей представленной техники региона, 4 ед. пожарной техники было списано, что составляет 14,2 % от планового списания всей техники региона, хотя в 2024 году это значение составляло 115 ед. техники (в основном это техника, которая была задействована для тушения ландшафтных пожаров, и восстановлению не подлежит); 7 ед. пожарной техники передано из движимого

имущества федеральной собственности, это выше, чем за 2024 год, когда было передано 4 ед. пожарной техники. Подлежит передаче 61 ед. техники в ФГУП «Исследовательский центр инноваций и энергоэффективности» в связи с выслугой установленного срока эксплуатации по оперативному реагированию.

Основными причинами выхода из строя пожарной техники явился длительный срок эксплуатации – 40 % (рис. 2).

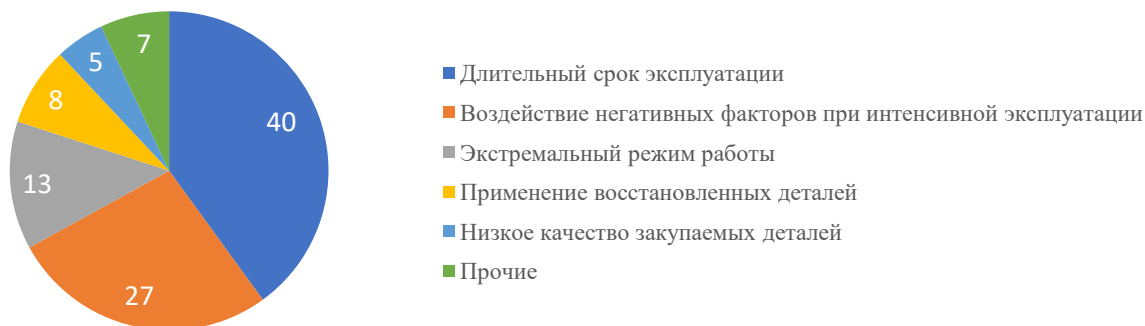


Рис. 2. Основные причины выхода из строя пожарной техники на пожарах в 2025 году по Республике Калмыкия

Устаревание пожарной техники и износ деталей приводят к перегрузкам агрегатов и необходимости ремонта из-за снижения надежности техники и изменения ее технического состояния [1]. Это может проявляться в виде неисправностей в работе двигателя, трансмиссии, ходовой части, пожарного насоса и других механизмов. Поэтому совершенствование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники является приоритетной задачей.

С целью поддержания и повышения технической готовности пожарной техники в подразделении [2,3] предлагается рассмотреть возможность модернизации отдельного поста технической службы центра материально-технического обеспечения ГУ МЧС России по Республике Калмыкия.

Для составления технического задания по переоснащению и дооснащению поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники была составлена 3D-модель (рис. 3).

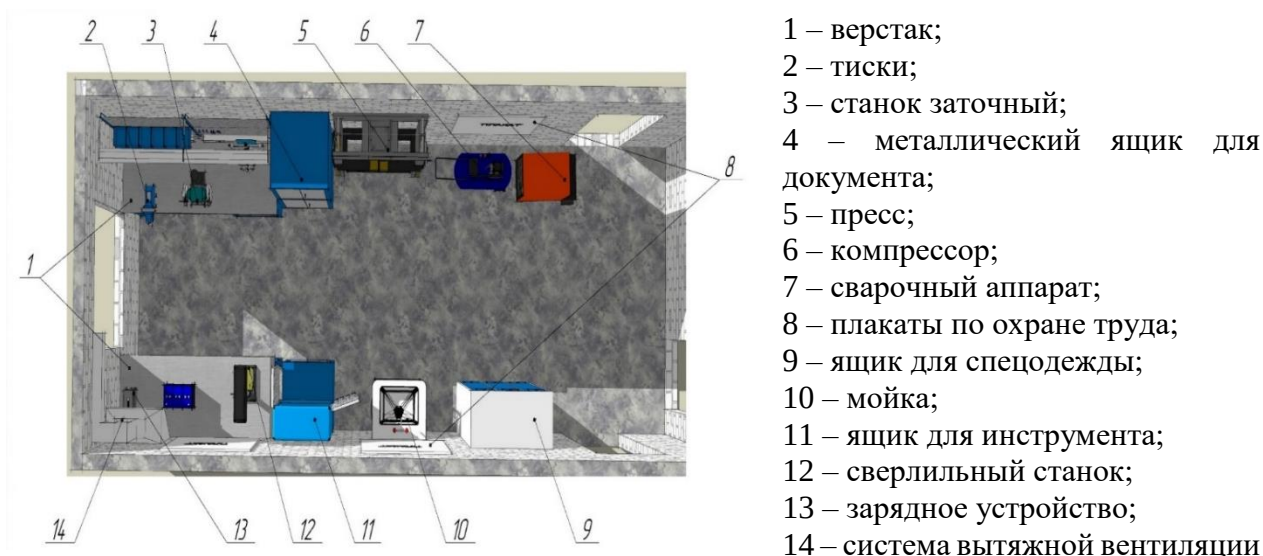


Рис. 3. Ремонтный участок для технического обслуживания и ремонта пожарной техники

Составлен чертеж общего вида слесарного стола, и проведен прочностной расчет его конструктивных элементов с наибольшим нагружением, а также проведен проверочный расчет в «Компас 3D» с системой прочностного анализа APM FEM (рис. 4).

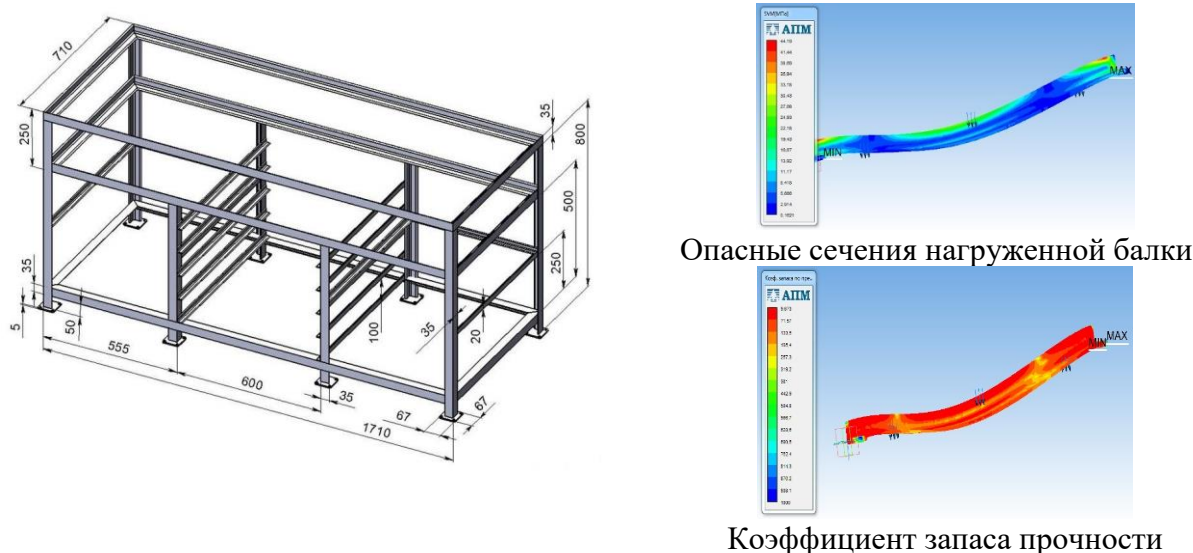


Рис. 4. Каркас верстака и результаты прочностного расчета его элементов конструкции

Учитывая максимальную нагрузку, которая может быть приложена к столешнице слесарного стола условно представим расчетную схему, рис. 5.

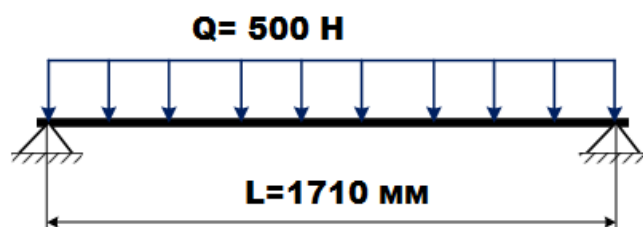


Рис. 5. Расчетная схема распределения нагрузки на балку

Силовым фактором, влияющим на выбор параметров сечения балки, является изгибающий момент. Для подбора профиля поперечной балки выполним прочностной расчет на изгиб:

- определим опорные реакции:

$$R_1 = R_2 = Q \frac{1}{2} = \frac{500}{2} = 250 \text{ (Н)}; \quad (1)$$

- составим уравнения поперечных сил:

$$Q = R_1 - q \cdot x. \quad (2)$$

где x – длина пролета, $0 < x < 1,71$ м; q – нагрузка на единицу площади;

- составим уравнение изгибающих моментов:

$$M=R_1 \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}, \quad (3)$$

где $0 < x < 1,71$ м, тогда

$$M_1=R_1 \cdot 0 - \frac{q \cdot 0^2}{2}=0 \quad (4)$$

$$M_2=R_1 \cdot 1,71 - \frac{q \cdot 1,71^2}{2}=250 \cdot 12 - \frac{292,4 \cdot 1,71^2}{2}=0 \quad (5)$$

Уравнение 5 представляет собой параболическую зависимость. Для определения наибольшего значения изгибающего момента определим вершину данной параболы. Для этого в уравнение 5 необходимо подставить значение середины пролета балки, т.е. $x = 0,855$ м.

$$M_{\max}=R_1 \cdot 0,855 - \frac{q \cdot 0,855^2}{2}=250 \cdot 0,855 - \frac{292,4 \cdot 0,855^2}{2}=107 \text{ (Нм)} \quad (6)$$

Для выбора профиля балок воспользуемся уравнением прочности на изгиб:

$$\sigma_H = \frac{M_H}{W_x} \leq [\sigma], \quad (7)$$

где W_x – осевой момент сопротивления, мм^3 ; $[\sigma]$ – допускаемое напряжение материала балки, МПа, задаем как $[\sigma]=160$ МПа.

Выразить величину осевого момента сопротивления W_x из уравнения 7:

$$W_x \geq \frac{M_H}{[\sigma]} \geq \frac{107}{160 \cdot 10^6} = 6,7 \cdot 10^{-7} (\text{м}^3) = 0,67 (\text{см}^3) \quad (8)$$

Для обеспечения необходимой прочности конструкции выбираем по ГОСТ 8509-93 стальной уголок равнополочный с размерами полки 35 мм и толщиной стенки 5 мм.

Аналогичным способом был проведен прочностной расчет и выбор сортамента для изготовления каркаса стеллажа напольного и навесного для размещения на нем необходимого оборудования [4].

Изготовили необходимые изделия для размещения на посту технического обслуживания и ремонта пожарной техники (рис. 6), потратив около 10 тыс. руб., что по сравнению с аналогичными изделиями на российском рынке составит более 15 тыс. руб. Таким образом, имеем некоторую выгоду для направления этих средств на приобретение необходимого оборудования, например, вулканизатор для ремонта напорных прорезиненных рукавов; тележки инструментальной или подкатной для колес пожарного автомобиля [5].



каркас верстака



каркас стеллажа



каркас навесного стеллажа

Рис. 5. Изготовление каркасов из стальных конструктивных элементов

В ходе исследования были решены следующие задачи:

- спроектирован слесарный стол;
- проведен прочностной расчет его конструктивных элементов;
- проведен проверочный расчет с помощью «Компас 3D» с системой прочностного анализа APM FEM;
- выявлено наиболее рациональное поперечное сечение балок;
- изготовлены каркасы верстака и стеллажа;
- при экономической выгоде выполненных работ, приобрели две тележки инструментальную и подкатную для колес пожарного автомобиля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей главной передачи пожарных автомобилей за счет улучшения триботехнических характеристик смазочных материалов // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2021. № 3 (22). С. 5-10.
2. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей трансмиссий пожарных автомобилей за счет улучшения применяемых смазочных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. Иваново, 2021. № 1 (38). С. 51-59.
3. Кензеев Д.С., Кропотова Н.А. Обоснование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники и его планомерного совершенствования // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2023. С. 81-86.
4. Кропотова Н.А. Альтернативный подход для облегчения ремонта пожарной техники // Актуальные проблемы пожарной безопасности. Материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Иваново, 2020. С. 751-754.
5. Зарубин В.П., Киселев В.В., Кропотова Н.А., Легкова И.А., Иванов В.Е. Модернизация передвижной мастерской для обслуживания пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2018. № 2 (9). С. 47-57.

УДК 614.841.4:620.22

К.А. Павлова, А.С. Белов

Дальневосточная пожарно-спасательная академия – филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России.

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация: В статье проведён анализ текущего состояния и перспектив развития материалов для обеспечения пожарной безопасности в России. Рассмотрены успехи российских научных школ в разработке наномодифицированных бетонов, интумесцентных покрытий с длительным сроком эксплуатации, а также экологически чистых антипиренов для древесины и текстиля. Особое внимание уделено вопросам замещения импортных материалов отечественными аналогами в сфере огнезащиты, адаптации новых разработок к требованиям технического регламента о пожарной безопасности (ФЗ № 123) и системы добровольной сертификации.

Ключевые слова: огнезащита, наноккомпозиты, интумесцентные покрытия, бетон повышенной огнестойкости, российские антипирены, импортозамещение.

К.А. Pavlova, A.S. Belov

ADVANCED FIRE SAFETY MATERIALS

Abstract: The article analyzes the current state and prospects of development of materials for fire safety in Russia. The successes of Russian scientific schools in the development of nanomodified concretes, intumescent coatings with a long service life, as well as environmentally friendly flame retardants for wood and textiles are considered. Special attention is paid to the issues of replacing imported materials with domestic analogues in the field of fire protection, adapting new developments to the requirements of the technical regulations on fire safety (FZ No. 123) and the voluntary certification system.

Keywords: fire protection, nanocomposites, intumescent coatings, fire-resistant concrete, Russian flame retardants, import substitution.

В условиях современной техносферы, где возводятся высотные здания, усложняются логистические центры и развивается инфраструктура Арктической зоны, в России усиливаются требования к материалам, обеспечивающим пожарную безопасность. Согласно данным МЧС, большинство пожаров происходят на объектах, где используются горючие отделочные материалы и недостаточно защищенные металлоконструкции. Традиционные методы огнезащиты, основанные на применении асбестосодержащих и фенолформальдегидных веществ, постепенно уступают место новым технологиям. Основными факторами, способствующими развитию этой области, являются:

1. Импортозамещение: потребность в замене западных химических добавок и антипиренов.

2. Арктический вектор: необходимость создания материалов, сохраняющих свои свойства при экстремально низких температурах и воздействии открытого пламени.

3. Экологизация производства: запрет на использование галогенсодержащих соединений в жилищном строительстве.

Цель данной работы — обзор и систематизация информации о перспективных материалах для обеспечения пожарной безопасности, разработанных российскими научными учреждениями за последние 5–7 лет.

Основные направления развития материалов в РФ.

Наноструктурированные бетоны и композиты (Разработки НИУ МГСУ и ДВФУ)

Одним из наиболее перспективных направлений исследований является модификация цементных систем с использованием наноразмерных компонентов для повышения их огнестойкости.

Ученые из Московского государственного строительного университета (МГСУ) продемонстрировали, что добавление базальтовой микрофибры в количестве до 2 % от общей массы в тяжелый бетон значительно увеличивает его огнестойкость на 30–40 минут (до REI 180). Этот эффект достигается за счет микроармирования структуры бетона, что предотвращает его хрупкое разрушение при воздействии высоких температур.

Исследователи из Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) также показали перспективность применения золошлаковых отходов угольной генерации для создания геополимерных бетонов. Эти материалы, активированные щелочными растворами, при нагревании до 1000 °С образуют керамическую корку, что обеспечивает их высокую устойчивость к огню. В то время как обычный бетон на портландцементе начинает разрушаться уже при температуре 600 °С, что делает геополимерные бетоны особенно важными для огнезащиты колонн высотных зданий.

Интумесцентные покрытия длительного срока службы (Разработки ВНИИПО и НПО "Пожхимзащита")

Вспучивающиеся покрытия — это главный метод защиты металлоконструкций. Российские компании, такие как ЗАО «НПО «Пигмент» и ООО «Крилак», активно работают над созданием покрытий, соответствующих классам пожарной опасности K0 и K1.

Однако существует проблема старения. Основная сложность интумесцентных красок заключается в том, что они теряют свои свойства в процессе эксплуатации.

Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС РФ разработал методики ускоренных климатических испытаний, которые имитируют 10–15 лет эксплуатации. Эти методики позволили создать составы с повышенной атмосферостойкостью, например, на основе эпоксидных смол с добавлением микронизированного графита.

Также активно разрабатываются тонкослойные покрытия для дерева на основе аммонийных солей фосфорных кислот (аммофос) с добавлением меламина. Эти покрытия обеспечивают I группу огнезащитной эффективности для древесины (потеря массы менее 9 %) при толщине слоя до 300 мкм. Их преимущество заключается в том, что они позволяют сохранить текстуру дерева.

Экологичные антипирены для древесины и текстиля (Разработки Института химии растворов РАН и ИвГПУ)

Российские исследователи в рамках программы "Зеленая химия" работают над созданием безопасных антипиренов, которые заменят токсичные бром- и хлорсодержащие аналоги. Фосфонаты на основе иминодиянтарной кислоты. В Институте химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (г. Иваново) разработаны фосфорсодержащие соединения на основе иминодиянтарной кислоты. Эти вещества, будучи химически привиты к целлюлозе, создают "вечноогнезащищенные" материалы, которые не выделяют вредных веществ при использовании и стирке. Биоантипирены на основе хитозана. В Ивановском государственном политехническом университете (ИвГПУ) создали пропиточные составы для древесины, включающие хитозан (продукт переработки панцирей ракообразных) и фитиновую кислоту. При нагревании эти составы образуют равномерный вспененный кокс, эффективно предотвращая тление древесины. Данная технология проходит испытания для использования в деревянном строительстве.

Терморасширяющиеся графиты (ТРГ) и барьерные материалы (НИИграфит)

В России есть значительные запасы графита, которые сосредоточены в Курейском и Ногинском месторождениях. Эти ресурсы позволяют производить высококачественные интеркалированные графиты. Они используются для создания огнезащитных прокладок и уплотнителей. При нагревании до 200–250°C терморасширяющийся графит (ТРГ) значительно увеличивается в объеме, достигая 200–300 раз. Это создаёт плотный негорючий слой, который эффективно защищает от огня. В нашей стране на основе ТРГ изготавливают противопожарные муфты для кабельных проходок и огнестойкие уплотнители для дверей, которые обеспечивают дымогазонепроницаемость. Эти материалы соответствуют требованиям ГОСТ Р 53307 и ГОСТ Р 53308.

Адаптация к нормативной базе и методы испытаний

Внедрение новых материалов невозможно без строгого соблюдения Федерального закона № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

Классификация. Все новые материалы проходят тестирование на определение группы горючести (Г1-Г4), воспламеняемости (В1-В3), дымообразующей способности (Д1-Д3) и токсичности продуктов горения (Т1-Т4).

Проблема сертификации. Эксперты ФГБУ ВНИИПО МЧС России указывают, что текущие ГОСТы (например, ГОСТ 30247.0-94 на огнестойкость) не всегда учитывают особенности поведения наномодифицированных материалов. Поэтому разрабатываются новые стандарты, которые будут регулировать методы оценки долговечности огнезащиты в реальных эксплуатационных условиях (включая воздействие атмосферных осадков, ультрафиолетового излучения и переменных температур).

Заключение

Рынок материалов, обеспечивающих пожарную безопасность в России, показывает стабильный рост, ориентированный на замещение импортных продуктов и соответствие национальным стандартам. Ключевые успехи включают:

1. Создание наномодифицированных бетонов на основе базальтовой фибры и геополимерных связующих.
2. Разработка интумесцентных покрытий с прогнозируемым сроком службы до 25 лет.
3. Внедрение экологически чистых фосфор- и азотсодержащих антипиренов для древесины и текстильных изделий, которые не уступают по эффективности галогенизированным аналогам.
4. Использование терморасширяющегося графита в высокотемпературных барьерах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корольченко А.Я., Корольченко Д.А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: Справочник: в 2 ч. – М.: Пожнаука, 2004.
2. Копейкин В.А., Соколов С.В. Огнезащита строительных конструкций: Учебное пособие / Под ред. В.А. Копейкина. – М.: Изд-во МГСУ, 2018. – 220 с.
3. Пузач С.В., Смагин А.В. Методы расчета тепломассопереноса при пожаре и их применение при разработке новых огнезащитных материалов // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30, № 2. – С. 15-26.
4. ГОСТ Р 53295-2009. Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности.
5. Фомин А.В., Казаков А.В. Перспективы использования наноструктурированных углеродных материалов в системах пассивной противопожарной защиты // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2022. – Вып. 4 (98).

УДК 614.842.6

И.А. Пеньков, Е.И. Хиль, А.В. Григорьев
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

Аннотация: Статья посвящена вопросам компоновки гусеничного шасси робототехнических средств в системе МЧС России. Предложены принципы расчёта основных параметров вновь разрабатываемых робототехнических средств пожаротушения. Подчёркнуты преимущества робототехнических систем, их недостатки, также отмечены перспективные направления дальнейшего исследования в области робототехники.

Ключевые слова: робототехнические средства пожаротушения, удельная мощность, давления движителя на опорную поверхность

I.A. Penkov, E.I. Khil, A.V. Grigorev

SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF THE TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF A ROBOTIC FIRE-EXTINGUISHING MEANS

Abstracts. The article is devoted to the layout of the tracked chassis of robotic means in the system of the Russian Ministry of Emergency Situations. It proposes the principles of calculating the main parameters of newly developed robotic means of firefighting. The advantages of robotic systems, their disadvantages, and promising areas for further research in the field of robotics are highlighted.

Keywords: robotic fire-extinguishing means, specific power, and propeller pressure on the support surface

При обосновании тактико-технических характеристик робототехнических средств (РТС) пожаротушения необходимо учитывать ряд основополагающих параметров:

- эксплуатационные свойства РТС;
- силы, действующие на РТС при выполнении аварийно-спасательных работ и пожаротушения;
- влияние дорожно-транспортных условий на подвижность РТС в местах ликвидации последствий ЧС и пожаротушения;
- влияние опасных факторов пожара, в том числе поверхностной плотности теплового потока на эксплуатационные свойства РТС;
- угол поперечной и продольной статической устойчивости при движении РТС.

При этом, показателями качества разрабатываемых РТС, будут: производительность РТС, манёвренность, транспортабельность, надёжность, живучесть, безопасность, эргономические и эстетические свойства.

Основополагающим параметром РТС пожаротушения на гусеничном шасси, является его компоновка. В МЧС России в РТС среднего и тяжёлого класса применяются компоновки с передним и задним расположением ведущих колёс и силовой передачи, с расположением основных агрегатов и баков с запасом ОТВ непосредственно на днище корпуса. Указанные компоновки имеют такие РТС как Ель – 4, Ель – 10, Кедр и другие. Для вновь разрабатываемого перспективного РТС целесообразно применять одну из данных компоновок, в зависимости от выбранной моторной установки и типа трансмиссии (механическая, гидравлическая, электрическая).

Необходимость обеспечения большого запаса ОТВ, низкого среднего давления гусениц на грунт и в некоторых случаях обеспечение плавучести (например - РТС «Кедр»), обуславливает большие размеры по длине при сохранении достаточной ширины, для компоновки основных агрегатов и сохранении при этом авиатранспортабельности.

Существенное влияние на общую компоновку РТС оказывает выбор и расположение моторно-трансмиссионной установки. На гусеничных РТС пожаротушения среднего и тяжёлых классов в МЧС России в силу штучного производства образцов (чаще всего опытных) применяются автомобильные двигатели внутреннего сгорания.

Высокие динамические качества робототехнических комплексов и средств пожаротушения, такие как большие ускорения при разгоне, возможность преодоления сложных препятствий, манёвренность (быстрый поворот с любым радиусом), должны

обеспечиваться большой удельной мощностью, которую можно рассчитать по формуле (1):

$$N_{уд} = \frac{N_{e\max}}{m} \quad (1)$$

где $N_{e\max}$ – максимальная эффективная мощность двигателя, кВт;

m – масса машины, т. [1]

В таблице приведены данные расчётов гусеничных РТС пожаротушения, применяющихся в МЧС России.

В таблице, приведены расчётные данные по удельной мощности, применяемых в МЧС России РТС среднего и тяжелых классов.

Таблица. Расчётные данные по удельной мощности

Параметр	Модель РТС							
	Ель - 4	Ель - 10	Кедр	Луф-60	Ель -Т	Ель - М	МРУ ГВТ	МРУП 17КС
Мощность двигателя, кВт	127	375	228	104	29	71	118	112
Полная масса, т	9,2	23	17	2,2	2,5	3,7	20	2,5
Удельная мощность, кВт/т	13,8	16	13,4	47	11,6	19	5,9	44,8

Как видно из таблицы, удельная мощность некоторых РТС недостаточная для обеспечения требуемых динамических качеств, из-за чего, данные РТС имеют низкую максимальную скорость и недостаточную манёвренность. В разрабатываемом РТС пожаротушения, для обеспечения динамических качеств, удельная мощность, должна составлять не менее 14 кВт/т. Так как классы РТС по ГОСТ 35035-2023 подразделяются по массе, следовательно, можно произвести расчёт необходимой мощности двигателя для РТС в зависимости от класса.

При разработке РТС среднего класса рекомендуется подбирать двигатель мощностью в диапазоне от 14 кВт до 252 кВт, а для тяжёлого класса мощностью от 252 кВт (в зависимости от массы РТС). При этом, стоит учитывать, что если планируется оснащение РТС системой искусственного интеллекта, с возможностью автономного движения и возвращения в точку начала движения, то нужно закладывать дополнительную мощность двигателя, для компенсации потерь на погрешности систем автоматизированного (супервизорного) управления.

При обосновании параметров средней скорости движения РТС, нужно закладывать коэффициенты качества пути основываясь на условиях наличия завалов и опасных факторов пожара в местах ЧС. С учётом данных параметров, формула расчёта средней скорости движения РТС примет вид:

$$V_{\Pi} = K_V \cdot V_K$$

где K_V – коэффициент качества пути. Для колёсных РТС стоит принимать $K_V: 0,1 – 0,9$; для гусеничных РТС: $K_V: 0,4 – 0,7$;

V_K – средняя скорость движения.

Для обеспечения надежного сцепления с поверхностью, необходимого для создания силы тяги и для её передачи корпусу РТС целесообразно использовать гусеничный движитель. Он применяется на большинстве РТС, применяемых в МЧС России. Выбор в пользу гусеничного движителя, так же обусловлен более жаропрочными характеристиками, чем колёса.

К гусеничному движителю, применяются следующие требования:

- проходимость. Обусловлено тяжёлыми условиями в реагировании на ЧС техногенного характера, различными видами поверхности, преградами и наличием спусков и подъёмов;

- высокий КПД;

- долговечность и стойкость на температурное воздействие;

- простота и технологичность конструкции (обязательное условие, возможность ремонта в полевых условиях).

Для высокой проходимости РТС, при разработке РТС требуется учитывать среднее давление движителя на опорную поверхность. Для РТС среднего класса среднее давление на грунт должно быть в интервале от 0,04 до 0,06 МПа; для РТС тяжёлого класса - среднее давление на грунт должно быть не более 0,08 МПа. При увеличении этих параметров, наступает резкое снижение несущей способности поверхности и происходит снижение проходимости РТС. Для расчёта среднего давления движителя на опорную поверхность, применяется формула:

$$q = \frac{G}{2Lb} [2] \quad (2)$$

где G – вес машины; L – длина опорной поверхности движителя; b – ширина гусеницы.

Так как одним из основных требований к гусеничному движителю, является стойкость на температурное воздействие, для среднего и тяжёлого класса РТС, целесообразно применять металлические гусеницы. Резиновые (ленточные) гусеницы, целесообразно применять только на РТС лёгкого или на дистанционно управляемых лафетных стволах среднего первого класса. Одновременно актуально проведение дополнительных исследований в области стойкости элементов гусеничного двигателя к воздействию тепловых потоков [3].

Долговечность гусеничного движителя, в большей степени зависит от износостойкости шарниров гусеничных цепей и зацепления их с ведущим колесом. Гусеницы с открытым металлическим шарниром имеют самую низкую износостойкость, но при этом являются самыми жаростойкими (в отличие от более долговечных гусениц с резиново-металлическим шарниром). При этом большие пробеги РТС пожаротушения, не выкатывают за счёт специфики применения. Следовательно, в конструкции можно использовать более простые и дешёвые гусеницы с открытым металлическим шарниром.

На основании проведённого анализа можно отметить, что актуальным направлением исследованием в области РТС пожаротушения, является исследование закономерности нестационарного теплообмена открытого пожара с конструктивными

элементами РТС: системой технического зрения (на примере камер), кабельных линий, элементов электроники, электродвигателя, гусеничных траков [4]. Так как на сегодня в нормативных документах на РТС пожаротушения отсутствуют показатели термических факторов пожара (температуры газовой среды пожара, плотности задымления и поверхностной плотности теплового потока) при которых может работать РТС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сухоруков А. К., Чернов Л. Б. Режимы для расчета силовых передач транспортных гусеничных машин. – 1974.
2. Лесковец И. В. Влияние параметров гусеничного обвода на давление на грунт опорных траков. – 2013.
3. Усов, О. А. Расчетная оценка оперативной подвижности военных гусеничных машин / О. А. Усов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2016. – № 11. – С. 1-14.
4. Анализ проблем применения мобильных робототехнических средств при тушении пожаров на объектах топливно-энергетического комплекса и формирование путей их дальнейшего развития / И. А. Пеньков, О. А. Коренкова, Е. И. Хиль, И. А. Гусев // Пожарная безопасность. – 2025. – № 1(118). – С. 65-72.

УДК 621

И.В. Постникова, М.Ю. Колобов

Ивановский государственный химико-технологический университет

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАЗДЕЛЕНИЯ ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЦИКЛОНЕ

Аннотация: Разработана экспериментальная установка для очистки воздуха от пыли. Результаты исследований показали эффективность использования циклонов в зависимости от технологических параметров процесса.

Ключевые слова: эффективность очистки, циклон, установка

I.V. Postnikova, M.Yu. Kolobov

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE EFFICIENCY OF DUST-AIR MIXTURE SEPARATION IN A CYCLONE

Abstracts: An experimental installation for air purification from dust has been developed. The research results showed the effectiveness of using cyclones depending on the technological parameters of the process.

Keywords: cleaning efficiency, cyclone, installation.

Циклонные пылеуловители являются одной из основных технологий механического отделения воздуха от загрязняющей пыли. Они широко используются во многих отраслях промышленности. Это очень эффективные устройства, используемые для очистки воздуха от вредных частиц, пыли, опилок или металлической взвеси [1-3]. Данные агрегаты обеспыливания необходимы для создания оптимальных условий труда для персонала.

Центробежные пылеуловители циклоны очищают воздух от примесей за счет воздействия центробежной силы, которая возникает во время вращения потока внутри аппарата либо вращательных движений самого устройства.

Схема работы циклонного пылеуловителя определяется его конструкцией. Устройство состоит из 2-х частей: цилиндрической верхней и конической нижней, подведенной к пылевому бункеру. В систему включены также патрубок для подачи загрязненного газа, и внутренняя труба, предназначенная для очищенного воздуха.

В общих чертах принцип работы циклонного пылеуловителя заключается в поступлении загрязненного газа в корпус устройства через специальный патрубок с последующим нисходящим движением вращающегося потока. Под действием центробежной силы отсеиваются взвешенные загрязняющие частицы, которые переносятся вторичным потоком в специальную емкость. Очищенный воздушный или газовый поток выводится посредством выхлопной трубы.

Разработана лабораторной установки для очистки воздуха от пыли (рис. 1). Установка включает рукавный фильтр 1, емкость для сбора тонкодисперсных фракций 2, циклон 3, емкость сбора готового продукта 4, шнековый питатель 5, частотный преобразователь 6, бункер исходного материала 7, клапан 8, центробежный вентилятор 9.

На данной установке можно исследовать степень очистки пыли в зависимости от ее концентрации, дисперсности, расхода воздуха, конструктивных параметров.

Исходный материал из бункера 7, посредством шнекового питателя 5, вовлекаясь в воздушный поток, нагнетаемый вентилятором 9, подается в циклон 3. Скорость потока воздуха и скорость подачи материала имеют регулировки благодаря векторным преобразователям частоты 6. После проведения опыта проводим отбор пробы пыли из емкости сбора готового продукта 4.

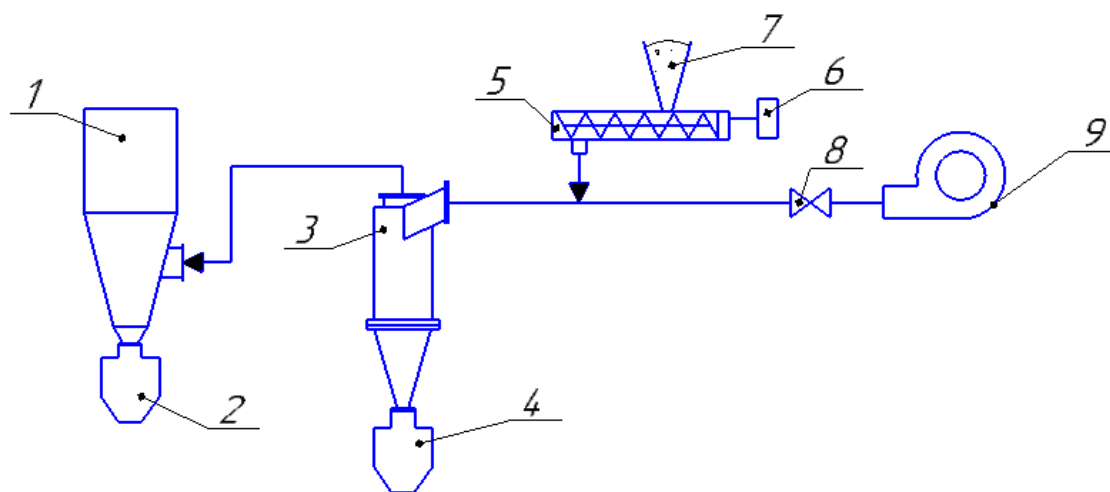


Рис. 1. Схема лабораторной установки для очистки воздуха от пыли

Для эксперимента мы используем речной песок, фракционный состав которого определяем в ходе ситового анализа. Берем 5 фракций песка 0,1-0,125мм, 0,125-0,14мм, 0,14-0,16мм, 0,16-0,2мм, 0,2-0,25мм. Результаты исследований представлены на рис. 2.

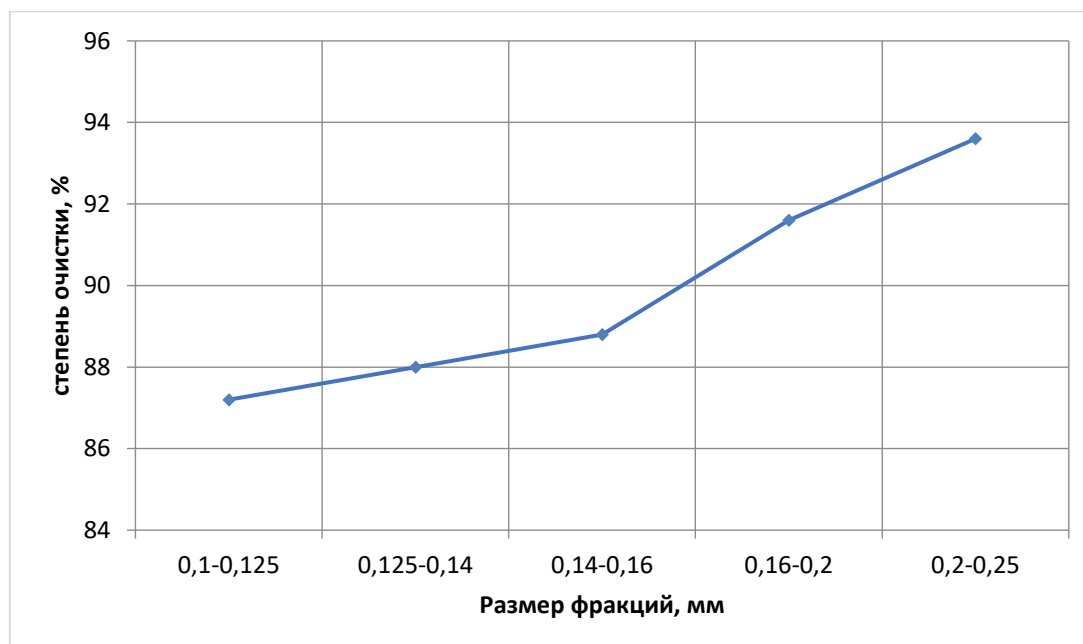


Рис. 2. Зависимость степени разделения от размера фракции

Увеличиваем скорость воздуха с 6 м/с до 10 м/с с помощью частотного преобразователя. Результаты исследований представлены на рис 3.

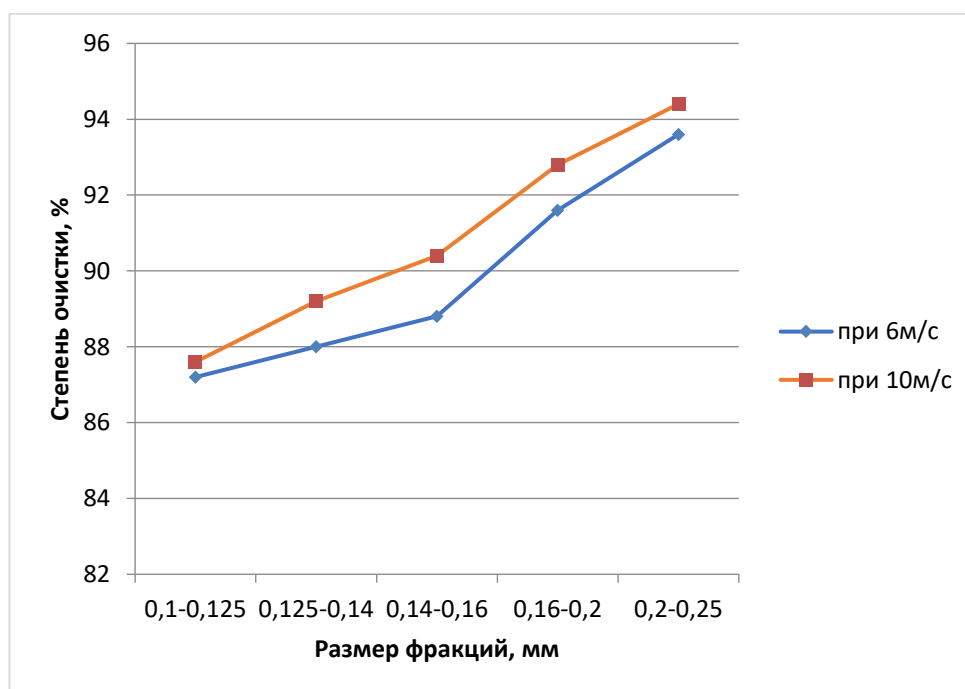


Рис. 3. Зависимость степени разделения от расхода воздуха

Результаты проведенных исследований показали, что эффективность циклона выше, чем больше диаметр частиц пыли. В нашем случае самая лучшая степень очистки воздуха достигнута при размере частиц 0,2-0,25 мм.

При увеличении расхода воздуха, подаваемого вентилятором в циклон, степень очистки воздуха улучшается.

Следующий этап проведения исследований - влияния конструктивных параметров циклона на степень очистки воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пронин В.А., Мамченко В.О., Долговская О.В., Цветков В.А. Очистка и дезодорация газовоздушных выбросов. СПб: Университет ИТМО, 2022. 156 с.
2. Ветошкин, А.Г. Основы инженерной защиты окружающей среды. Москва Инфра-Инженерия, 2017. 456 с.
3. Кавецкий, Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии. Москва: Колосс, 2013. 591 с.

УДК 621.318

М.С. Сайкин

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНИТЕЛЯ НА ОСНОВЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ТРЕБОВАНИЙ

Аннотация: на основании численных и экспериментальных исследований разработаны рекомендации по параметрам магнитного поля единичного магнитожидкостного уплотнителя магнитожидкостного герметизатора. Приведены рекомендации по выбору численного значения градиента индукции магнитного поля единичного магнитожидкостного уплотнителя. Разработаны конструктивные пути повышения ресурса работы магнитожидкостных герметизаторов для машиностроительных узлов различного назначения. **Ключевые слова:** единичный магнитожидкостный уплотнитель, магнитожидкостный герметизатор, магнитная жидкость, градиент магнитной индукции.

M.S. Saikin

SELECTING MAGNETIC FIELD PARAMETERS FOR A MAGNOFILID SEAL BASED ON PERFORMANCE REQUIREMENTS

Abstract: Based on numerical and experimental studies, recommendations for the magnetic field parameters of a single magnetic fluid seal in magnetic fluid sealers have been developed. Recommendations for the numerical values of the magnetic field gradient of a single magnetic fluid seal are provided. Design approaches for increasing the service life of magnetic fluid sealers for various mechanical engineering applications have been developed.

Keywords: single magnetic fluid seal, magnetic fluid sealer, magnetic fluid, magnetic field gradient.

При разработке магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ) вращающихся валов машиностроительных узлов необходимо выбрать рациональные значения параметров магнитного поля, от которых зависит их ресурс работы [1].

Основным параметром при создании МЖГ является рабочий перепад давлений, который должен быть ниже критического перепада на величину коэффициента запаса по давлению. К магнитожидкостным герметизаторам специального назначения, которые эксплуатируются в условиях высокого и сверхвысокого вакуума, предъявляются требования по ограничению установившегося момента трения и момента страгивания [2].

На магнитную жидкость (МЖ) в рабочем зазоре магнитожидкостного герметизатора действует градиент магнитного поля. Зубец вместе с МЖ представляет собой единичный магнитожидкостный уплотнитель. Под действием градиента магнитной индукции происходит перераспределение МЖ и нарушение её устойчивости. Это приводит к изменению эксплуатационных параметров МЖГ, что в конечном итоге может привести к нарушению работоспособности оборудования [3]. Для решения конкретной технической задачи по герметизации вращающихся валов выбирается МЖ с определёнными физико-химическими свойствами в соответствии с рекомендуемыми критериями работоспособности [4].

Одним из основных условий обеспечения требуемого ресурса работы МЖГ является снижение градиента магнитной индукции действующего на магнитную жидкость в магнитожидкостном уплотнителе. При решении этой задачи необходимо обеспечить требуемый рабочий перепад давлений герметизатора и величину коэффициента запаса по перепаду давлений.

Результаты расчётных и экспериментальных исследований позволили найти численные значения максимальной и минимальной магнитной индукции в уплотнителе для радиальных и торцевых конструкций МЖГ. Для обеспечения ресурса работы вакуумных магнитожидкостных герметизаторов в течение не менее 15 лет значение максимальной магнитной индукции должна составлять $B_{max} \leq 1,0 - 1,1$ Тл, а величина минимальной магнитной индукции $B_{min} = 0,15 - 0,25$ Тл. При этом интегральный градиент магнитной индукции в уплотнителе составляет $\bar{\nabla} B = 400 - 450$ Тл/м.

Эти значения параметров магнитного поля обеспечивают требуемую величину моментов трения для герметизаторов высокого и сверхвысокого вакуума. Часто для выполнения необходимого по условиям эксплуатации рабочего перепада давлений используют конструкцию МЖГ с двумя радиальными рабочими зазорами (рис. 1). В каждом из рабочих зазоров снижают значение градиента магнитной индукции, но требуемый перепад давлений достигается за счёт увеличения числа единичных уплотнителей [5]. Благодаря этому ресурс работы магнитожидкостных герметизаторов увеличивается.

Конструкция МЖГ состоит из немагнитного корпуса 1, магнитного узла, состоящего из кольцевого или наборного постоянного магнита, намагниченного в радиальном направлении и магнитопровода 3. Немагнитная втулка 4 с магнитопроводом 5 установлена на вращающемся валу 6. Рабочие зазоры заполнены магнитной жидкостью 7, которая удерживается в них пондеромоторной силой.

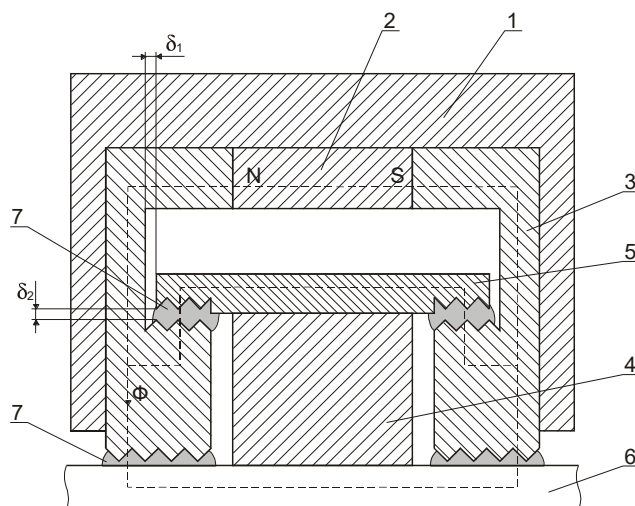


Рис. 1. МЖГ с двумя радиальными рабочими зазорами

Для конструкций МЖГ, работающих в узлах общего назначения величина максимальной индукции в уплотнителе доходит до значений $B_{max} = 1,5 - 1,7$ Тл, а минимальная магнитная индукция составляет $B_{min} = 0,25 - 0,35$ Тл. В некоторых конструкциях магнитожидкостных герметизаторов, предназначенных для уплотнения вращающихся валов при линейных скоростях более $5 - 7$ м/с, величина градиента магнитной индукции достигает значений $\nabla B = 800 - 1500$ Тл/м. Такой градиент магнитной индукции способствуют ускоренному расслоению МЖ, изменению её физических свойств, увеличению моментов трения и снижению ресурса работы МЖГ. Высокоскоростные МЖГ предназначенные для герметизации валов контуров газодинамических лазеров, имеют линейную скорость на поверхности вала 13 м/с, а значение максимальной магнитной индукции в уплотнителе составляла $1,8$ Тл, при градиенте 1100 Тл/м. Согласно техническому заданию каждые 6 месяцев на оборудовании проводятся регламентные работы и перезаправка МЖ. Установленные на оборудование МЖГ имеют ресурс работы, превышающий срок эксплуатации оборудования между проведением регламентных работ в $2,5-3$ раза.

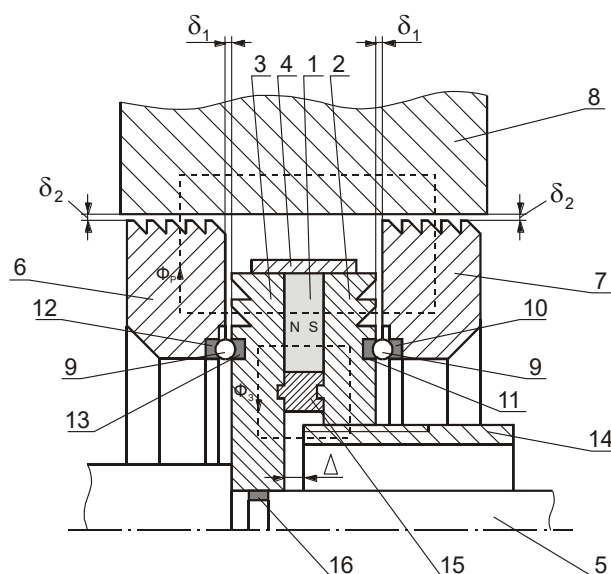


Рис. 2. МЖГ с регулировочным элементом

В конструкции рис.2 [7] предусмотрена возможность регулировки перепада давлений и момента трения МЖГ, что важно в различных режимах эксплуатации. Постоянный кольцевой или наборный магнит 1, с магнитопроводом в форме колец 2 и 3, 6 и 7 образуют магнитную систему. Магнитный поток замыкается вдоль магнитопровода и удерживает МЖ в рабочих зазорах δ_1 и δ_2 пондеромоторной силой. Немагнитное кольцо 4 фиксирует положение постоянных магнитов, а шарики 9, которые опираются на кольцевые вкладыши, изготовленные из материала с повышенной твёрдостью 10–13 обеспечивают гарантированную величину рабочего зазора δ_1 . По этим зазорам осуществляется вращение подвижной части МЖГ. Вдоль зазоров δ_2 предусмотрена возможность перемещения магнитного узла при осевом перемещении вала.

Регулировочный элемент 14 позволяет изменять значение градиента магнитной индукции в широких пределах и обеспечивать возможность настройки момента трения и перепада давлений МЖГ. Имеется возможность снижения значений максимальной магнитной индукции в рабочих зазорах до 0,3 Тл, а величины градиента магнитной индукции до $\nabla B=150$ Тл/м. Этот режим используется при хранении МЖГ до начала их эксплуатации. В конструкции также предусмотрены статические уплотнительные элементы 15 и 16.

В результате выполненных исследований разработаны рекомендации по значениям параметров магнитного поля для МЖГ различного назначения. При наличии требований по ресурсу работы герметизаторов а течении не менее 15 лет рекомендуемая величина градиента магнитного поля составляет $\nabla B=400 - 450$ Тл/м, а величина максимальной индукции $B_{max} \leq 1,0-1,1$ Тл. В этом случае для решения технической задачи рекомендуется использовать конструкцию с двумя радиальными зазорами, которая имеет большее количество единичных уплотнителей.

При герметизации высокоскоростных валов, имеющих линейные скорости вращения более 7м/с необходимо увеличить градиент магнитной индукции до $\nabla B=1000 - 1100$ Тл/м, а величину максимальной магнитной индукции до 1,7–1,8 Тл.

Среди конструктивных мер предусмотрена регулировка магнитного поля за счёт специальных элементов, входящих в конструкцию МЖГ, которые позволяют перераспределять магнитные потоки в магнитной цепи герметизатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Орлов Д.В. Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин и др.; под общ. ред. Д.В. Орлова, В.В. Подгоркова. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
2. Михалёв Ю.О. Критерии работоспособности магнитожидкостных уплотнений // Трение и износ. – 1991. – №1. С.5-11.
3. Казаков Ю.Б., Сайкин М.С., Щелыкалов Ю.Я. Учёт перераспределения магнитных частиц в магнитной жидкости, находящейся в неоднородном магнитном поле герметизатора // Электротехника, N12, 2003, - С. 20-24.
4. Сайкин М.С. Разработка критериев оценки работоспособности магнитной жидкости для магнитожидкостных герметизаторов. Вестник Рыбинского

государственного авиационно-технического университета имени П.А.Соловьёва. – Изд-во (РГАТУ имени П.А.Соловьёва), N 1 (56), 2021, С.41-46.

5. Сайкин М.С., Антипов А.А., Михалёв Ю.О., Орлов Д.В. Магнитожидкостное уплотнение. А.с. СССР N⁰ 962707, опубл. 30.09.82., Бюл. N⁰ 36.

6. Сайкин М.С., Арефьев И.М. Технические аспекты повышения ресурса работы магнитожидкостного герметизатора. /Сборник научных трудов 18-й Международной Плесской научной конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям, Россия, Плёс, 2018 г., С.489-494 (4-7 сентября 2018 г.).

7. Баусов А.М., Сайкин М.С. Магнитожидкостное уплотнение. Патент на полезную модель, Российская Федерация, N⁰20561, МКИ A16J 15/46, Приоритет от 15.05.2001, опубл. 10.11.2001, Бюл. N⁰31.

УДК 004.4

Н.Л. Сафонова, Н.Н. Кузнецова

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»

ОБЗОР ТЕСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ НА КРИСТАЛЛЕ СО СМЕШАННЫМИ СИГНАЛАМИ

Аннотация: В статье представлен обзор современных методов испытаний цепей смешанного сигнала, которые сочетают в себе аналоговые и цифровые компоненты. Рассмотрены ключевые проблемы тестирования таких устройств, включая ограниченную доступность внутренних узлов, чувствительность к технологическим разбросам и необходимость измерения широкого спектра параметров.

Ключевые слова: цепи смешанного сигнала, тестирование, аналого-цифровые устройства, осциллографы смешанных сигналов, стандартизация тестов, верификация, отладка.

N.L. Safonova, N.N. Kuznetsova

OVERVIEW OF TESTING SYSTEMS ON A CRYSTAL WITH MIXED SIGNALS

Abstracts: The article provides an overview of modern testing methods for mixed-signal circuits that combine analog and digital components. It discusses the key challenges of testing such devices, including limited access to internal components, sensitivity to manufacturing variations, and the need to measure a wide range of parameters.

Keywords: mixed signal circuits, testing, analog-digital devices, mixed signal oscilloscopes, test standardization, verification, and debugging.

Эволюция микроэлектроники привела к доминированию систем на кристалле, где аналоговые, цифровые и радиочастотные блоки сосуществуют на одной подложке. Такая интеграция, известная как схемы со смешанными сигналами, позволяет создавать сложные и функциональные устройства для потребительской электроники, телекоммуникаций и промышленной автоматизации. Однако эта сложность порождает серьезные проблемы в области тестирования.

В отличие от цифровых схем, для которых существуют устоявшиеся модели неисправностей и высокоавтоматизированные методы генерации тестовых последовательностей, аналоговые и смешанные схемы обладают континуальными характеристиками. Небольшие отклонения в технологическом процессе могут существенно повлиять на такие параметры, как коэффициент усиления, полоса пропускания, уровень шума или коэффициент нелинейных искажений. Как отмечается в отраслевых обзорах, тестирование усложняется необходимостью измерения множества спецификаций, каждая из которых требует уникальных тестовых стимулов и конфигурации схемы.

Ниже представлены способы задания (спецификации) схем трех типов: аналоговых, цифровых и смешанного типа:

- работа аналоговых схем может быть описана исключительно в терминах напряжений и токов, и не может быть смоделирована в цифровом виде. Примерами аналоговых схем служат операционные усилители, другие формы аналоговых усилителей и аналоговые фильтры;

- работа схем со смешанными сигналами может быть описана в терминах смеси напряжений, токов и цифровой логики одновременно;

- работу цифровых схем можно описать исключительно в терминах цифровых логических уровней и временных задержек для изменения логических уровней.

Примерами цифровых схем служат микроконтроллеры, микропроцессоры и цифровые сигнальные процессоры;

Необходимость разработки эффективных процедур тестирования для схем со смешанными сигналами сочетает в себе проблемы тестирования цифровых и аналоговых схем. Для повышения эффективности методов тестирования необходимы:

- структурированные подходы к разработке процедуры тестирования: необходимость внедрения формальных методов при разработке процедуры тестирования, включая использование существующих методов тестирования, аппаратного обеспечения тестера и программного обеспечения тестовой программы. Эффективные тестовые программы (программный код для запуска на системе автоматического тестирования (САТ)): включая повторное использование тестовой программы;

- включение методов и схем тестопригодного проектирования в тестируемое устройство;

- рассмотрение возможности включения структурного теста в дополнение к конкретному функциональному тесту, в отличие от только функционального теста;

- все более сложное тестовое оборудование: включая повторное использование тестового оборудования и использование более гибких архитектур САТ.

Характер работы схемы со смешанными сигналами и необходимость тестирования ряда функциональных параметров означают, что затраты на тестирование частей ИС со смешанными сигналами могут составлять значительную часть общих затрат на продукцию ИС. Было установлено, что это затраты на тестирование могут достигать 50 % от общей стоимости устройства. При таких расходах, связанных с требованиями к тестированию, необходимость разработки более эффективных с точки зрения затрат процедур тестирования стимулирует разработку более эффективного использования существующих и разработку новых методов тестирования. На рисунке показана базовая схема, необходимая для тестирования схемы со смешанными сигналами.

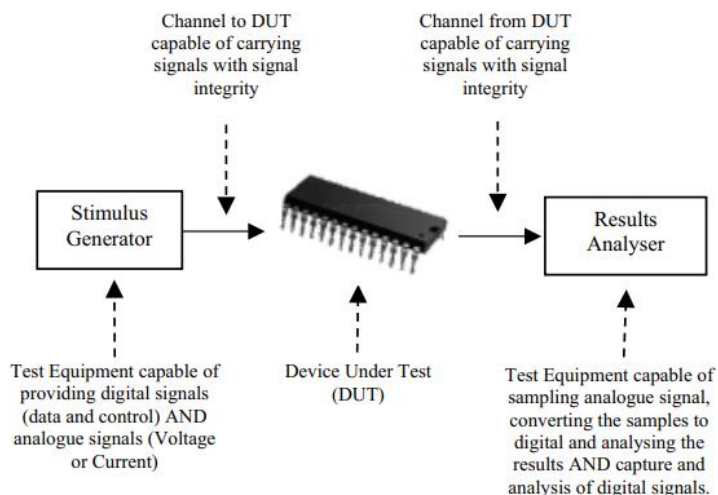


Рисунок. Схема тестирования устройств со смешанными сигналами [1]

Генератор сигналов должен создавать логические (логические единицы и нули в нужной последовательности) и аналоговые сигналы (ток и напряжение). Канал должен быть защищён от помех во избежание искажения сигнала. Результирующий выходной сигнал с тестируемого устройства передается обратно в анализатор результатов для сбора и анализа данных. Канал передачи к анализатору результатов не должен изменять сигнал.

Что касается преобразователя данных, будь то аналого-цифровой или цифро-аналоговый, существует ряд требований конечных пользователей, которые заключаются в следующем:

- увеличение разрешения (количество бит); типичное разрешение доступных преобразователей данных составляет 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20 и 24;
- повышение скорости работы, в частности, благодаря коммуникационным приложениям;
- работа при более низком напряжении источника питания и с меньшим энергопотреблением, в частности, за счет применения портативной электроники.

С переходом к использованию преобразователей данных с более высоким разрешением (количеством битов), увеличение количества кодов, которые необходимо будет проверить, является поводом для беспокойства. Соотношение разрешения преобразователя к количеству кодов, подлежащих тестированию, отображено в таблице. В тех случаях, когда необходимо будет протестировать каждый код (применяемый, как в ЦАП, либо выборочный, как в АЦП), возможность проверки всех кодов в преобразователях с более высоким разрешением неэкономична. Средством решения этой проблемы является непрерывная работа. Например, подход, основанный на моделях [2–3], был определен как средство уменьшения количества кодов, подлежащих тестированию. Однако преобладает функциональное, а не структурное тестирование аналоговых ИС и ИС со смешанными сигналами.

Программное моделирование (MATLAB) позволяет выявлять ошибки до этапа производства, экономя ресурсы. Однако физическое тестирование сложных узлов (например, смесителей частоты) требует прецизионных приборов (векторные анализаторы цепей) и специальных калибровок для оценки их характеристик.

**Таблица. Соотношение разрешения преобразователя и количества кодов,
подлежащих тестированию**

Разрешение преобразователя	Количество кодов
8	256
10	1024
12	4096
14	16384
16	65536
18	262144
20	1048576
22	4194304
24	16777216

Главная проблема современной микроэлектроники — трудность доступа к выводам микросхем и искажение сигналов при внешнем тестировании. Решение — встраивание тестовых функций в кристалл (DFT). Технологии вроде граничного сканирования (JTAG) проверяют целостность соединений, а встроенное самотестирование (BIST) позволяет проводить полноценную диагностику ВЧ-блоков на рабочей частоте, снижая зависимость от дорогостоящего внешнего оборудования.

Обзор современных тенденций показывает, что область испытаний цепей смешанного сигнала движется в сторону интеллектуализации, интеграции и стандартизации. Ключевыми направлениями развития являются:

- переход к альтернативным методам, т.е. отказ от измерения всех спецификаций прямым способом в пользу косвенных методов, позволяющих выявлять дефектные экземпляры на основе ограниченного набора тестов;

- умное тестовое оборудование, т.е. развитие модульных и программно-конфигурируемых платформ, которые могут адаптироваться под конкретные задачи тестирования;

- глубокая интеграция тестовых структур, к коим относится внедрение развитых BIST-решений для RF- и аналоговых блоков станет обязательным требованием для обеспечения приемлемого уровня тестопригодности сложных систем на кристалле следующего поколения.

Таким образом, успех в разработке и производстве сложных смешанных схем сегодня зависит не только от качества проектирования, но и от продуманной стратегии верификации и тестирования, охватывающей все этапы — от моделирования до выходного контроля на автоматизированном оборудовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jespers P. Integrated Converters, D to A and A to D Architectures, Analysis and Simulation / P. Jespers. – USA: Oxford University Press, 2001. – 280 p.
2. Слинкин, Д. И. Анализ современных методов тестирования и верификации проектов сверхбольших интегральных схем / Д. И. Слинкин // Программные продукты и системы. – 2017. – № 3. – С. 401-408.
3. Царинжапов, А. А. Разработка и отладка модели микропроцессора архитектуры MIPS и ее реализация на программируемых логических интегральных

схемах (ПЛИС) / А. А. Царинжапов, А. В. Кошевенко // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 2(49). – С. 114.

УДК 614.84

Е.В. Ситников, В.Е. Иванов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОДЫМОКАМЕР В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Аннотация: в статье рассматриваются современные подходы к проектированию теплотдымокамер - сложных объектов, предназначенных для подготовки газодымозащитников. Приведены ключевые нормативные требования к помещениям, системам вентиляции и безопасности. Выполнен сравнительный анализ трех программных комплексов: ArchiCAD, Renga и Revit. Особое внимание уделено возможностям создания трехмерных информационных моделей, визуализации и оформления рабочей документации. В условиях ограничения доступа к зарубежному ПО обоснована целесообразность применения отечественной системы Renga для проектирования объектов пожарно-спасательного профиля. **Ключевые слова:** теплотдымокамера, проектирование, расчет, газодымозащитники, 3D-моделирование.

E.V. Sitnikov, V.E. Ivanov

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE PACKAGES FOR DESIGNING HEAT AND SMOKE CHAMBER IN THE CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

Abstract: this article examines modern approaches to the design of smoke chambers—complex facilities designed to train gas and smoke protection personnel. Key regulatory requirements for the rooms, ventilation systems, and safety are presented. A comparative analysis of three software packages—ArchiCAD, Renga, and Revit—is provided. Particular attention is paid to the capabilities of creating 3D information models, visualization, and the preparation of working documentation. Given limited access to foreign software, the feasibility of using the domestic Renga system for the design of fire and rescue facilities is substantiated.

Keywords: heat and smoke chamber, design, calculation, gas and smoke protection, 3D-modeling.

Теплотдымокамеры (ТДК) представляют собой специализированные учебно-тренировочные комплексы, предназначенные для подготовки личного состава газодымозащитной службы (ГДЗС) к работе в непригодной для дыхания среде. Согласно нормативным требованиям, такие объекты должны включать в себя дымокамеру, теплокамеру, пультовую, пост медицинского контроля, лабиринт и ряд вспомогательных помещений. Проектирование ТДК является сложной инженерной задачей, требующей учета строгих правил пожарной безопасности, вентиляции, электрооборудования и эргономики [1, 2].

Традиционно для создания проектной документации использовались зарубежные программные комплексы, такие как ArchiCAD [3, 4, 5]. Однако в условиях современных геополитических реалий и политики импортозамещения доступ к обновлениям и лицензиям на данное ПО в России ограничен. В связи с этим возникает необходимость перехода на отечественные программные продукты, способные обеспечить полный цикл BIM-проектирования (Building Information Modeling) объектов специального назначения. Выполнение проектных работ в рамках выполнения выпускных квалификационных работ так же требует необходимости образовательных лицензий [6-10].

Целью данной работы является анализ возможностей трех программных продуктов (ArchiCAD, Renga, Revit) для проектирования теплодымокамер с учетом специфических требований к данным объектам, а также оценка перспектив использования российского ПО Renga для создания 3D-моделей и рабочей документации.

Проектирование ТДК регламентируется строгими нормами, которые необходимо учитывать при создании информационной модели. Анализ предоставленного технического задания позволяет выделить ключевые требования, влияющие на выбор программного обеспечения. При выполнении планировочных решений необходимо учесть, что на одного газодымозащитника в задымляемом помещении требуется не менее 10 м², в тренажерной зоне (теплокамере) — 7,4 м². Высота помещений должна составлять не менее 2,5–3 метров. Объект должен включать обязательные зоны: лабиринт с протяженностью маршрута 100–150 м, предкамеру, пультовую и пост медицинского контроля. Проект должен предусматривать три обособленные системы дымоудаления (вытяжную, приточную, аварийную), аварийное освещение (220 В) и ремонтное (36 В). Производительность аварийной вентиляции рассчитывается исходя из объема помещения ($Q = (60 \cdot V \cdot K)/t$) и должна обеспечивать безопасные условия за 2 минуты. Модель должна учитывать размещение дымогенераторов (например, «Showlight FOG-1200»), тепловых пушек (ТПК-3М), велоэргометров, а также систем слежения (видеокамеры, датчики).

Для реализации проекта ТДК были рассмотрены три системы автоматизированного проектирования (САПР): ArchiCAD (Graphisoft), Renga (Renga Software) и Revit (Autodesk). Выбор обусловлен их распространенностью в архитектурно-строительном проектировании и наличием инструментов информационного моделирования (BIM). ArchiCAD долгое время был стандартом в архитектурном проектировании благодаря интуитивно понятному интерфейсу и мощным инструментам виртуального строительства. Среди сильных сторон ArchiCAD стоит выделить несколько моментов. Во-первых, это очень высокая скорость, с которой можно создавать концептуальные модели - особенно на начальных этапах, когда идея ещё не до конца оформилась. Во-вторых, разработчики предусмотрели довольно развитые инструменты для подготовки презентационных материалов: фотореалистичная визуализация, анимационные ролики - всё это позволяет показать объект заказчику в выгодном свете. Ну и, пожалуй, самое интересное - это концепция «Виртуального здания». Благодаря ей, если ты вносишь изменения в трёхмерную модель, чертежи (разрезы, фасады) подтягиваются автоматически. Для теплодымокамеры, где лабиринт и перегородки приходится часто переделывать, это очень критично. Среди недостатков можно выделить следующее. Главная проблема сейчас - доступность. В России с ArchiCAD стало работать сложно: официальные

лицензии, обновления — всё это под вопросом. Плюс, из коробки программа плохо приспособлена под нашу нормативную базу - ГОСТы, СП. Чтобы нормально работать, приходится докупать или искать дополнительные библиотеки, а это время и деньги.

Далее рассмотрим программу Revit. Эту систему часто называют флагманским BIM-решением, и не зря - она создана под командную работу и комплексное проектирование инженерных сооружений. К достоинствам программы можно отнести следующее: инструментарий для проектирования вентиляции, электроснабжения - очень мощный. Для дымокамеры, где по требованиям нужно сделать три независимые системы дымоудаления, это значительно снизит трудозатраты. Также стоит отметить возможность создавать параметрические семейства - например, разработать нестандартную тепловую пушку или дымогенератор, который не входит в стандартную библиотеку. И ещё один плюс - высокая детализация рабочей документации, это позволяет избежать многих ошибок на стройке. Но есть и минусы, причём существенные. Лицензии дорогие, а сам вендор зарубежный — ситуация та же, что и с ArchiCAD, никто не даст гарантий, что завтра доступ не отключат. К тому же Revit очень сложно осваивать, так как логика работы команд и интерфейса требуют значительных знаний от проектировщиков. И требования к оснащению ПК высокие: если используется не самый мощный компьютер, то при моделировании ТДК с набором оборудования и перегородок система может «вылетать» и «зависать».

Renga - это отечественный BIM-комплекс, разработанный с учетом требований российского законодательства и ориентированный на архитектурно-строительное проектирование. Достоинства программы: импортонезависимость (полное отсутствие зависимости от зарубежных лицензионных серверов); соответствие приказам Минстроя РФ; русскоязычный интерфейс и нормативная база (программа изначально создана под стандарты системы проектной документации для строительства); спецификации материалов, ведомости объемов работ формируются автоматически в соответствии с отечественными стандартами; удобство моделирования стен теплодымокамер, которые часто имеют сложную структуру (сэндвич-панели, теплоизоляция, бетонные полы с уклоном для слива воды); наличие бесплатной версии для образовательных целей и технической поддержки на русском языке. К недостаткам программы можно отнести следующее: менее развитые инструменты фотореалистичной визуализации по сравнению с ArchiCAD, хотя этого достаточно для создания демонстрационных материалов; относительно молодой инструментарий для проектирования сложных инженерных систем в сравнении с Revit (активно развивается в текущих версиях).

Учитывая необходимость импортозамещения и доступность программы, рассмотрим процесс создания 3D-модели теплодымокамеры в среде Renga. Создание геометрии здания. В окне плана этажа создаются оси здания. Используя инструмент «Стена», задается конфигурация помещений согласно расчетам: дымокамера (60 м²), теплокамера (45 м²), предкамера (21 м²) и пультовая (15 м²). Инструмент «Перекрытие» позволяет создать пол с необходимым уклоном в сторону трапов, что критически важно для удаления воды при тушении условных пожаров. Моделирование лабиринта - одно из ключевых требований к ТДК, где требуется наличие трансформируемых перегородок и лабиринта протяженностью 100–150 м. В Renga такие элементы моделируются с помощью инструментов «Стена» или «Колонна». Возможность создания параметрических конструкций позволяет легко изменять конфигурацию маршрута, сохраняя общую длину пути в спецификации.

Для размещения систем вентиляции и дымоудаления используется библиотека оборудования. В модель встраиваются дымогенераторные установки, тепловые пушки и велоэргометры. Renga позволяет контролировать коллизии (пересечения) оборудования с несущими конструкциями. В отличие от ArchiCAD, где визуализация требует перехода в отдельные модули, в Renga 3D-вид доступен в реальном времени. На основе модели автоматически формируются чертежи (планы этажей, разрезы), а также спецификации оборудования и ведомости отделки стен (для дымокамеры требуется моющаяся поверхность из сэндвич-панелей).

Проведенный анализ показал, что проектирование теплодымокамер требует комплексного подхода, который должен учитывать не только архитектуру, но и строгие требования, предъявляемые к проектированию инженерных систем безопасности. ArchiCAD и Revit, безусловно, обладают сильными инструментами для визуализации и параметрического моделирования. Однако в современных реалиях полагаться на них рискованно. Техническая поддержка от зарубежных компаний фактически отсутствует, а для государственных структур получение официальных лицензий стало большой проблемой. Отечественная программа Renga является хорошей альтернативой, которая позволяет выполнять точные расчеты площадей помещений в соответствии с нормами; автоматизировать выпуск рабочей документации и спецификаций по ГОСТ. Создание информационной модели лабиринта и зданий так же возможно. Таким образом, применение Renga при проектировании специализированных объектов, таких как теплодымокамеры позволит обеспечить высокий уровень детализации и соответствие требованиям законодательства, а также безопасность хранения проектных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов, В. Е. Разработка конструкции теплодымокамеры с применением программы ARCHICAD / В. Е. Иванов // Актуальные проблемы науки и техники : Сборник трудов по материалам XV Международного конкурса научно-исследовательских работ, Уфа, 18 декабря 2023 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "Научно-издательский центр "Вестник науки", 2023. – С. 19-24. – EDN OOKKQT.

2. Иванов, В. Е. Инженерно-проектировочные решения для разработки учебно-тренажерного комплекса подготовки пожарных и спасателей / В. Е. Иванов, А. О. Талашенко // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности : Сборник тезисов докладов материалов международной научно-практической конференции, Москва, 18–19 октября 2018 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2018. – С. 395-398. – EDN YUZXUT.

3. Легкова, И. А. Использование трехмерной графики при изучении устройства узлов механизмов / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, В. Е. Иванов // Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России : Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 85-летию Ивановской государственной сельскохозяйственной академии имени Д.К. Беляева, Иваново, 29 октября 2015 года. Том 2. – Иваново:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д.К. Беляева, 2015. – С. 140-143. – EDN VUDPRX.

4. Вокуев, Д. Н. Современное программное обеспечение для визуализации проектных решений / Д. Н. Вокуев, В. Е. Иванов, П. В. Пучков // Надежность и долговечность машин и механизмов : сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2017. – С. 456-459. – EDN ZCBEGV.

5. Использование программы ArchiCAD при моделировании чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, В. П. Зарубин, Н. А. Кропотова // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXVIII международной научно-практической конференции: в 2 частях, Ногинск, 19–20 мая 2016 года. Том Часть 1. – Ногинск: Всероссийский ордена "Знак Почета" научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2016. – С. 417-421. – EDN YGQEKJ.

6. Инженерно-проектировочные решения для разработки типового класса подготовки пожарных-спасателей / В. Е. Иванов, В. В. Киселев, П. В. Пучков [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы науки и образования : сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 2-х частях, Смоленск, 30 сентября 2016 года. Том Часть 2. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью "НОВАЛЕНСО", 2016. – С. 27-29. – EDN WXSQVT.

7. Внедрение 3D технологий в учебный процесс / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, А. А. Покровский [и др.] // Современное научное знание: теория, методология, практика : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 3-х частях, Смоленск, 30 декабря 2015 года / ООО «НОВАЛЕНСО». Том Часть 2. – Смоленск: Общество с ограниченной ответственностью "НОВАЛЕНСО", 2016. – С. 37-39. – EDN VDMYHR.

8. Иванов, В. Е. Технология виртуальной реальности при моделировании ЧС / В. Е. Иванов, В. П. Зарубин, Д. Н. Вокуев // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 1, № 1(7). – С. 249-251. – EDN XHZQOT.

9. Иванов, В. Е. Трехмерная графика и область ее применения в учебном процессе / В. Е. Иванов, В. П. Зарубин // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – 2015. – № 12-3. – С. 107-109. – EDN VIADZH.

10. Легкова, И. А. Особенности графической подготовки обучающихся пожарно-технического профиля / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, В. Е. Иванов // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 21 марта 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 420-425. – EDN FPQUQU.

УДК 614.8:614.843

А.Д. Скоморохов, И.В. Сараев

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО КРИТЕРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОБЩЕЙ ПОЛЬЗЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО ГАСИ

Аннотация: в статье исследуется проблема техносферной безопасности в контексте роста дорожно-транспортных происшествий (ДТП) как ключевого фактора техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС). Определено, что ДТП с тяжкими последствиями составляют до 60 % всех техногенных ЧС, а на муниципальном уровне – до 90 %. Представлен сравнительный анализ гидравлических аварийно-спасательных инструментов (ГАСИ) отечественного и зарубежного производства с целью определения наиболее эффективного комплекта для оснащения Самарского пожарно-спасательного гарнизона.

Ключевые слова: ДТП, ГАСИ, общая польза, надёжность.

A.D. Skomorokhov, I.V. Saraev

THE APPLICATION OF A COMPREHENSIVE CRITERION OF RELATIVE OVERALL BENEFIT TO DETERMINE THE MOST PREFERRED QUENCH

Abstract: the article examines the problem of technospheric safety in the context of the growth of road accidents as a key factor in man-made emergencies. It has been determined that accidents with serious consequences account for up to 60 % of all man – made emergencies, and at the municipal level - up to 90 %. A comparative analysis of hydraulic emergency rescue instruments (GASI) of domestic and foreign production is presented in order to determine the most effective kit for equipping the Samara fire and rescue garrison.

Keywords: road accidents, GASI, general benefit, reliability.

В последние годы наблюдается тенденция к повышению интереса научного сообщества к вопросам техносферной безопасности в условиях стремительного развития техногенных систем. Центральное место в этой проблематике занимает детальный анализ рисков и факторов, способствующих возникновению чрезвычайных ситуаций. В контексте современной динамики, характеризующейся расширением техносферы, наблюдается тенденция к увеличению значений рисков, связанных с гибелью и травматизмом человека.

Автомобильный транспорт представляет собой одну из наиболее динамично развивающихся подсистем техносферы, оказывающую значительное влияние на социально-экономическое развитие общества. Проблема дорожно-транспортной аварийности является ключевым аспектом техносферной безопасности, что подтверждается статистическими данными МЧС России. Согласно последним отчетам, дорожно-транспортные происшествия (ДТП) с особо тяжкими последствиями составляют около 60 % всех техногенных чрезвычайных ситуаций. На уровне муниципальных образований данный показатель возрастает до 90 %, что

свидетельствует о высокой концентрации рисков, связанных с дорожно-транспортными инцидентами, в локальном масштабе.

Для предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с дорожно-транспортными происшествиями (ДТП), необходимо выявлять потенциально опасные участки на дорогах. Однако в современных исследованиях безопасности дорожного движения основное внимание уделяется анализу факторов, способствующих ДТП, тогда как аварии с особо серьезными последствиями, которые могут быть отнесены к чрезвычайным ситуациям или происшествиям, изучаются недостаточно.

Следует подчеркнуть, что ДТП с тяжелыми последствиями чаще всего происходят на дорогах за пределами населенных пунктов. Согласно данным Министерства здравоохранения Российской Федерации, 70 % случаев смерти пострадавших в ДТП обусловлены бездействием или неправильными действиями очевидцев. Важно также помнить о «золотом часе» – периоде, когда необходимо оказать первую помощь пострадавшим, так как организм человека способен эффективно компенсировать внезапные и серьезные повреждения в течение примерно одного часа.

С 2020 по 2024 год в Российской Федерации произошло значительное количество ДТП и их количество неуклонно уменьшается, что показывает положительную динамику, которая отражена на рис. 1-3 [Ошибка! Источник ссылки не найден.].

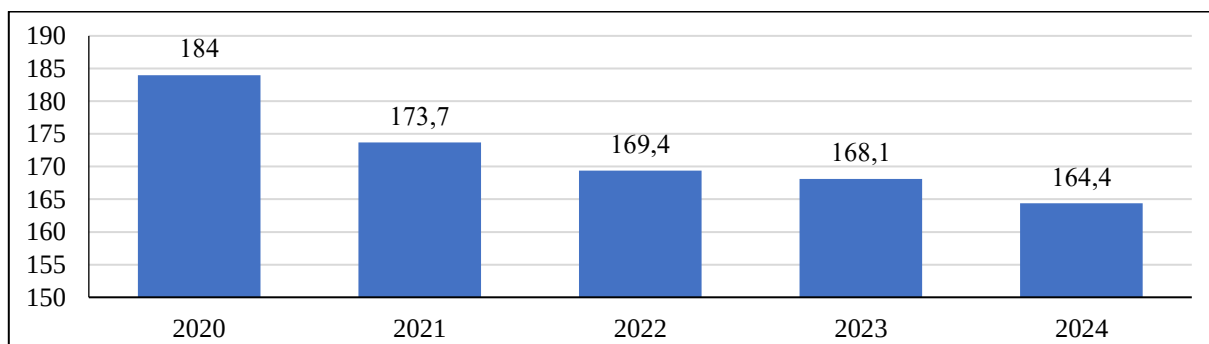


Рис. 1. Количественная характеристика дорожно-транспортных происшествий в Российской Федерации за период 2020-2024 годы

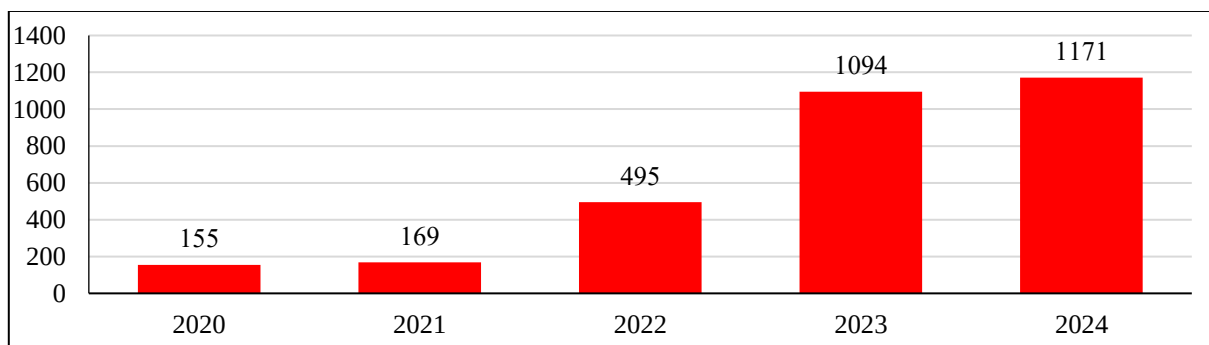


Рис. 2. Количество выездов на дорожно-транспортные происшествия

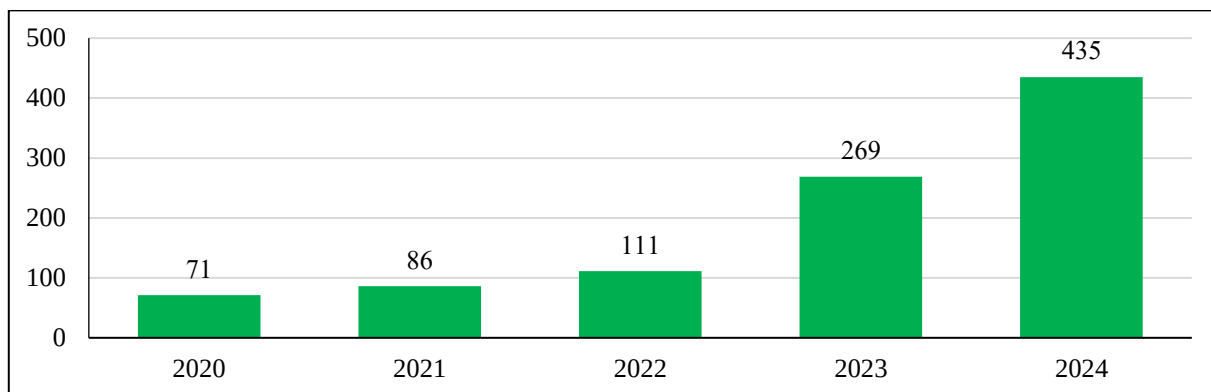


Рис. 3. Динамика реагирования на дорожно-транспортные происшествия

Согласно статистике, можно с уверенностью утверждать, что количество дорожно-транспортных происшествий с 2020 года в Российской Федерации значительно уменьшились. А динамика реагирования на дорожно-транспортные происшествия в Самарском пожарно-спасательном гарнизоне начинает расти с каждым годом с большим показателем.

Так как по полученным данным в рассматриваемом районе используются ГАСИ «Спрут» [2, 3], мы рассчитаем критерий предпочтительности для данного ГАСИ и возьмём 3 зарубежных ГАСИ и потом сравним полученные данные.

Общее число наблюдаемых ГАСИ «Спрут» – 396 шт.

Из 396 комплектов ГАСИ 20 отказавших.

Находим вероятность безотказной работы $P(t)$ рассматриваемых ГАСИ:

$$P(t) = \frac{396 - 20}{396} = 0,95$$

Соответственно найдём значение вероятности отказа ГАСИ Q :

$$Q(t) = 1 - 0,95 = 0,05$$

ССЖ рассчитываем с помощью валового регионального продукта по Самара за 2021 год (35,5 млрд. руб.), количества населения, проживающего в Самаре по данным на январь 2020 года (318841 человек), а также по средней продолжительности жизни (73 года) с учётом [6]:

$$V = \text{ССЖ} = 35500000000 \cdot \frac{73}{318841} = 8127876 \text{ руб.}$$

По данным главного управления МЧС России по Самарской области [2], основными затратами на эксплуатацию ГАСИ являются:

– Затраты на рукава высокого давления (ломаются в ходе эксплуатации после ударов);

– Затраты на соединительные элементы (в ходе эксплуатации срываются и требует замены).

Следовательно, в среднем на эксплуатацию ГАСИ в год затрачивается порядка 50 000 рублей.

Оценим показатель общей пользы, для это сначала найдём величину надёжностного показателя B , для комплекта ГАСИ «Спрут»:

$$B = 0,05 \cdot 8127876 = 406394 \text{ руб.}$$

После того как нашли данное значение, найдём относительную общую пользу ГАСИ «Спрут»:

$$W = \frac{8127876}{50000 + 406394} = 17,8$$

Теперь используя методику [4-9], рассчитаем относительную общую пользу для остальных комплектов ГАСИ зарубежного производства.

Расчёт для комплекта ГАСИ Lukas:

Гарантийный срок службы от завода изготовителя составляет 1,5 года; рассчитываем интенсивность отказов при экспоненциальном распределении наработки на отказ рассчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{1,5 \cdot 8760} = 0,0000761 \text{ ч}^{-1}$$

Ресурс работы комплекта ГАСИ Lukas до первого капитального ремонта по паспорту – 600 ч; рассчитываем вероятность безотказной работы:

$$P = e^{[-1/600 \cdot 24]} = 0,9607894$$

Рассчитываем вероятность отказа:

$$Q = 1 - 0,9607894 = 0.0392106$$

Рассчитываем надёжностный показатель:

$$B = 0.0392106 \cdot (3448020 + 100000) = 139120 \text{ руб./год}$$

Рассчитываем относительную общую пользу применения комплекта ГАСИ Lukas:

$$G = \left(\frac{2 \cdot 365}{60} \right) + \left(\frac{2 \cdot 365}{60} \right) \cdot \left(\frac{28000}{10} \right) = 34079 \text{ руб./год}$$

$$W = \frac{3448020}{34079 + 139120} = 19.9$$

Расчёт W для комплекта ГАСИ Weber hydraulic:

Гарантийный срок службы от завода изготовителя составляет 1,5 года, рассчитываем интенсивность отказов при экспоненциальном распределении наработки на отказ:

$$\lambda = \frac{1}{1,5 \cdot 8760} = 0,0000761 \text{ ч}^{-1}$$

Зная ресурс работы комплекта ГАСИ Weber hydraulic до первого капитального ремонта по паспорту – 540 ч рассчитываем вероятность безотказной работы:

$$P = e^{[-1/540 \cdot 24]} = 0,9565287$$

Рассчитываем вероятность отказа:

$$Q = 1 - 0,95652871 = 0,0434713$$

Рассчитываем величину надёжного показателя:

$$B = 0,0434713 (3433200 + 100000) = 153593 \text{ руб./год}$$

Рассчитываем относительную общую пользу комплекта ГАСИ Weber hydraulic:

$$G = \left(\frac{2 \cdot 365}{60} \right) + \left(\frac{2 \cdot 365}{60} \right) \cdot \left(\frac{28000}{10} \right) = 34079 \text{ руб./год.}$$

$$W = \frac{3433200}{153593 + 34079} = 18.29$$

Расчёт W для комплекта ГАСИ Amkus:

Гарантийный срок службы от завода изготовителя составляет 1,5 года, рассчитываем интенсивность отказов при экспоненциальном распределении наработки на отказ:

$$\lambda = \frac{1}{1,5 \cdot 8760} = 0,0000761 \text{ ч}^{-1}$$

Ресурс работы комплекта ГАСИ Amkus до первого капитального ремонта по паспорту – 570 ч; рассчитываем вероятность безотказной работы:

$$P = e^{[-1/570 \cdot 24]} = 0,9587688$$

Рассчитываем вероятность отказа:

$$Q = 1 - 0,9587688 = 0,0412312$$

Рассчитываем техногенный риск:

$$B = 0,0412312 \cdot (3433200 + 100000) = 145678 \text{ руб. /год}$$

Рассчитываем относительную общую пользу применения данного комплекта ГАСИ Amkus:

$$G = \left(\frac{2 \cdot 365}{60} \right) + \left(\frac{2 \cdot 365}{60} \right) \cdot \left(\frac{28000}{10} \right) = 34079 \text{ руб./год.}$$

$$W = \frac{3433200}{145678 + 34079} = 19$$

Для адаптивности и удобства интерпретации полученных результатов расчёта относительной общей пользы применения различных видов ГАСИ представим в таблице.

Таблица. Результаты расчёта надёжностный, социальных и экономических показателей, характеризующих рассматриваемые комплекты ГАСИ

Наименование ГАСИ	Показатель					
	Q	P	B, руб.	G, руб.	V, руб.	ООП
«Спрут»	0,05000	0,95000	406394	50000	8127876	17,8
«Lukas»	0,03921	0,96079	139120	3448020	3448020	19,9
«Weber hydraulic»	0,04347	0,95653	153593	34079	3433200	18,29
«Amkus»	0,04123	0,95877	145678	34079	3433200	19

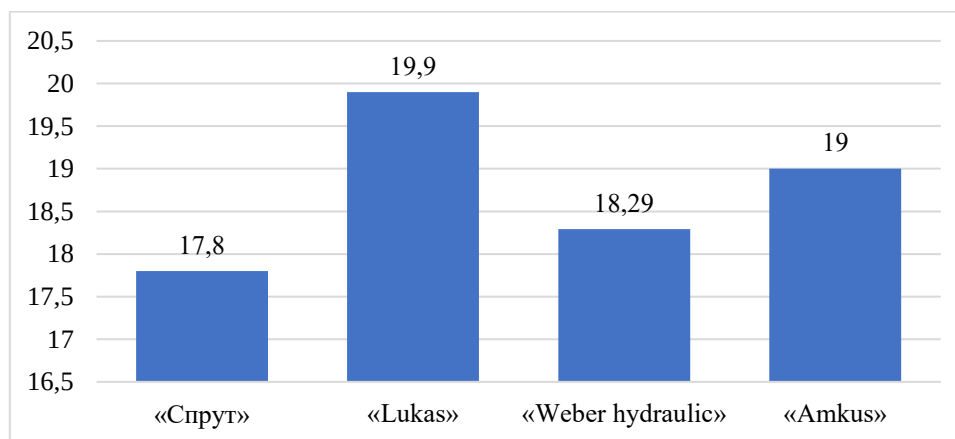


Рис. 4. Комплексный критерий относительная общая польза ГАСИ

Проанализировав полученные данные по ГАСИ, который используется в гарнизоне с полученными данными зарубежных производителей можно сделать вывод, что отечественный комплект ГАСИ немного уступает своим зарубежным «коллегам». Наиболее высокое значение относительной общей пользы показал комплект ГАСИ «Lukas». Следом расположился комплект ГАСИ «Amkus», набравший немного меньшее значения показателя. Но, принимая в учёт современную обстановку с

поставками оборудования и запасных частей можно в качестве альтернативного варианта может выступать комплект ГАСИ «Спрут».

Таким образом, в третьей главе ВКР проведён сравнительный анализ нескольких комплектов ГАСИ как отечественного, так и зарубежного производства. С учётом вышеуказанных обстоятельств, для оснащения подразделений Самарского местного пожарно-спасательного гарнизона, будет рекомендован комплект ГАСИ «Спрут».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий // статистический сборник: - М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2024. [Электронный ресурс]. 2024. - Режим доступа: <http://wikifire.org/GetFile.aspx?File=%2fСтатистические%20сборники%2fsbornik2024.pdf>. (дата обращения: 11.10.2025).
2. Проведение АСР при дорожно-транспортных происшествиях [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: https://fireguys.ru/metodicheskie_plany/avariino-spasatelnye-raboty/provedenie-asr-pri-dorozhno-transportnyh-proisshestvijah.html/ (дата обращения: 17.10.2025).
3. Статистика ДТП ГИБДД по городу Самара [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 24.10.2025).
4. Сараев, И. В. Оснащение подразделения, выезжающего на дорожно-транспортные происшествия / И. В. Сараев // Современные проблемы обеспечения безопасности: Сборник материалов XXVII Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 24-25 апреля 2025 года. - Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2025. - С. 209-212. EDN: CLUCRJ
5. Бубнов, А. Г. Аспекты надёжности и выбора беспилотных летательных аппаратов для предупреждения и мониторинга пожаров в условиях пониженных температур / А. Г. Бубнов, И. В. Сараев, А. Д. Семенов // Современные проблемы гражданской защиты. - 2025. - № 1(54). - С. 12-26. EDN: DCHDEU
6. Сараев, И. В. Методический подход для обоснования оснащения подразделений пожарной охраны средствами индивидуальной защиты органов дыхания и зрения / И. В. Сараев, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов // Безопасность труда в промышленности. - 2024. - № 12. - С. 72-78. DOI: 10.24000/0409-2961-2024-12-72-78 EDN: EPNEAN
7. Бубнов, А. Г. Относительная общая польза - дополнительный критерий выбора пожарных мотопомп / А. Г. Бубнов, И. В. Сараев, А. Д. Семенов // Современные проблемы гражданской защиты. - 2024. - № 4(53). - С. 5-12. EDN: AKURQK
8. Долгих, Е. С. Средства индивидуальной защиты органов дыхания пожарных - рекомендации по выбору / Е. С. Долгих, А. Г. Бубнов, И. В. Сараев // Современные проблемы гражданской защиты. - 2022. - № 4(45). - С. 71-77. EDN: HTUSHI
9. Сараев, И. В. Методика обоснования выбора и совершенствования технического оснащения подразделений МЧС России для ликвидации чрезвычайных ситуаций на транспорте / И. В. Сараев, А. Г. Бубнов // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". - 2017. - № 2. - С. 15-20. EDN: ZRPWKZ

УДК 621.384.617

Ю.М. Смирнова

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОЩНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ СОЗДАНИЯ АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация: Статья посвящена разработке технологии нанесения алмазоподобных покрытий с использованием импульсного электрического разряда в газовой фазе при низком давлении.

Ключевые слова: алмазоподобные покрытия, технология модификации материалов, сильное электрическое поле, ускорение ионов, имплантация ионов, плазма тлеющего разряда.

J. M. Smirnova

POSSIBILITIES OF USING POWERFUL ELECTRIC FIELDS IN THE PROCESS OF CREATING DIAMOND-LIKE COATINGS

Abstract: This article focuses on the development of a technology for applying diamond-like coatings using pulsed electric discharge in the gas phase at low pressure.

Keywords: diamond-like coatings, material modification technology, strong electric field, ion acceleration, ion implantation, and glow discharge plasma.

Создание алмазоподобных покрытий представляет собой перспективное направление развития технологий нанесения защитных слоев, обладающих уникальными физико-химическими свойствами. Алмазоподобные покрытия характеризуются высокой твердостью, износостойкостью, химической стойкостью и низким коэффициентом трения, что позволяет применять их в широком спектре отраслей промышленности, включая машиностроение, электронику, авиационную технику и другие.

Современные исследования сосредоточены на двух основных подходах к выращиванию алмазоподобных структур. Первый из них включает в себя процесс кристаллизации из раствора углерода в расплавленном металле, который находится под высоким давлением — в диапазоне десятков и сотен атмосфер — и при высокой температуре, колеблющейся от 1500 до 2500 градусов Цельсия. Второй подход более современный и считается более перспективным. Он основан на методе, при котором алмазы формируются из газовой фазы, возникающей в результате разложения углеродсодержащих материалов, таких как метан, этан, этилен, ацетилен и другие. Этот метод был разработан в 60-х годах XX века группой ученых, возглавляемой Б. В. Дерягиным и Д. В. Федосеевым, в Московском институте физической химии. В ходе своих исследований они показали, что рост алмазных структур возможен при перенасыщении углеродом приповерхностных слоев подложки. Создание таких условий в газовой фазе достаточно сложно, поэтому результаты их опытов показали достаточно низкую производительность метода.

Электрические поля высокой напряженности могут быть действенным способом повышения концентрации атомов углерода в приповерхностном слое подложки. Электрическое поле воздействуют на положительно заряженные ионы углерода,

которые образуются в результате электрического разряда в газе, содержащем углерод. Учитывая особенности технологического процесса, наиболее оптимальным вариантом для достижения этой цели является использование электрического разряда в газе при низком давлении. В данном контексте наиболее подходящими являются тлеющие и дуговые разряды, которые происходят при низком давлении

В рамках научных исследований, проводимых на кафедре "Высоковольтной электроэнергетики, электротехники и электрофизики" Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина, была разработана и построена экспериментальная установка для изучения формирования алмазоподобных структур на металлических подложках. Эта установка включает в себя вакуумную камеру и два высоковольтных емкостных накопителя энергии (рис. 1).

Центральным компонентом установки является вакуумная камера (1), в которой создается экстремально разреженное пространство, с остаточным давлением на уровне 10^{-3} Па. Поддержание глубокого вакуума в камере имеет первостепенное значение, поскольку это минимизирует вероятность столкновений ионов с частицами остаточного газа. Кроме того, вакуумная камера служит барьером от внешних воздействий, обеспечивая стабильность условий для проведения экспериментов. Для обеспечения энергией этапов ионного ускорения применяются высоковольтные емкостные накопители, обозначенные как ВЕН1 (5) и ВЕН2 (6). Накопитель ВЕН1 выполнен в виде конденсаторной батареи с малой индуктивностью, что обеспечивает генерацию мощных импульсов с высокой скоростью нарастания. Данный элемент особенно важен на старте процесса, когда необходим резкий выброс энергии для инициации ионизации. ВЕН2, обладая большей емкостью, используется для стабилизации и дальнейшего разгона ионного пучка, что значительно повышает эффективность ускорения. Передача энергии от ВЕН1 осуществляется посредством высоковольтного импульсного трансформатора (7). Использование данного трансформатора позволяет формировать высоковольтные импульсы при сравнительно низком напряжении на первичной обмотке, что повышает безопасность работы с установкой. Общее управление установкой возложено на блок управления (8), который координирует работу всех компонентов, контролирует параметры разряда и осуществляет запись данных.

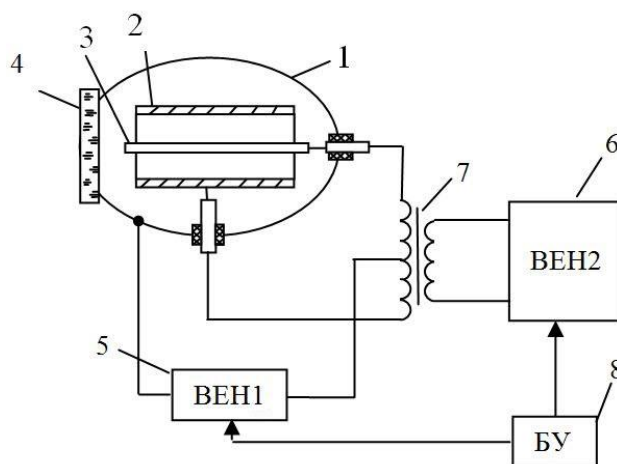


Рисунок. Схема экспериментальной установки

Основная идея предложенной технологии заключается в том, что весь процесс разбивается на два последовательных этапа. На первом этапе происходит достижение высокой степени ионизации газовой среды, которая находится в разрядном промежутке. Это позволяет создать необходимую среду для дальнейших процессов, обеспечивая тем самым условия для эффективного протекания последующих стадий. На втором этапе осуществляется ускорение ионов в межэлектродном промежутке, который непосредственно связан с плазмой газового разряда. Для реализации этого этапа к электродной системе прикладываются потенциалы высокого напряжения, причем полярности этих потенциалов различны, что позволяет создать электрическое поле, необходимое для ускорения ионов. Важно отметить, что подложка, на которую будет конденсироваться алмазоподобное покрытие, должна находиться под отрицательным потенциалом, что обеспечивает притяжение положительных ионов к поверхности подложки. Быстрая смена полярности электродов приводит к возникновению процесса разделения зарядов в квазинейтральной высокоионизированной плазме тлеющего разряда. В этом процессе легкие и подвижные электроны стремительно перемещаются к аноду, оставляя вблизи катода значительный объем положительных ионов углерода и водорода, который не имеет компенсации, что приводит к образованию высокореакционной среды, способствующей формированию алмазоподобных покрытий. Но нужно учитывать, что повышенная концентрация ионов вблизи катода может существенно изменить характеристики электрического поля. Повышение концентрации ионов может привести к экранированию электрического поля и снижению энергии ионов, что, в свою очередь, уменьшает глубину имплантации.

Для глубокого анализа процессов и явлений в области ионной имплантации была разработана специализированная расчетная модель, основанная на методе крупных частиц. Данный метод имеет свою уникальную особенность, которая заключается в способности моделировать динамику отдельных ионов в электрическом поле, при этом учитывая их взаимодействие с другими частицами. Это свойство позволяет более детально исследовать распределение энергии ионов, что, в свою очередь, способствует формированию оптимальных параметров разряда, необходимых для достижения заданной глубины имплантации и необходимой концентрации ионов. В процессе анализа, проведенного с использованием расчетных моделей, было установлено, что практически все электрическое поле сосредоточено на промежутке, который находится в непосредственной близости от катода. При этом длина этого промежутка оказывается значительно меньше длины свободного пробега ионов. Расчетная модель предоставляет возможность оценить влияние различных параметров разряда, таких как давление газа, ток разряда и геометрия электродов, на общую эффективность ионной имплантации.

Результаты проведенных исследований показали, что использование сильных электрических полей в сочетании с низким давлением газа создает идеальные условия для формирования высококачественных алмазоподобных покрытий. Эти покрытия обладают уникальными свойствами, которые открывают широкие возможности для применения в различных высокотехнологичных областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 1987. – 592 с.
2. Дерягин Б.В., Федосеев Д.В. Рост алмаза и графита из газовой фазы. – М.:

Наука, 1977. – 116 с.

3. Шипко М. Н., Воробьев В. Ф., Беляев Г. В., Крайков А. Н. Оптимизация электродных систем ускорителей ионов // Вестник ИГЭУ, 2005, №1. – с. 70-72.

УДК 614.8:004.8:629.7

В.Ю. Сооц, Е.И. Дашкевич

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОЙ БАС НА ВЕБ-САЙТ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Аннотация: В статье рассмотрены особенности передачи телеметрических данных с беспилотной авиационной системы на веб-сайт в режиме реального времени. Выделены требования к каналу связи, структуре передаваемых данных, задержкам, устойчивости соединения и отображению информации в пользовательском интерфейсе.

Ключевые слова: БАС, телеметрия, передача данных, веб-сайт, канал связи, реальное время, мониторинг.

V.Yu. Soots, E.I. Dashkevich

FEATURES OF REAL-TIME TELEMETRY DATA TRANSMISSION FROM AN INTELLIGENT UNMANNED AERIAL SYSTEM TO A WEBSITE

Abstract: The article examines the features of real-time telemetry data transmission from an intelligent unmanned aerial system to a website. The main technical limitations, including latency, packet loss, channel instability, and data format inconsistency, are identified, and key directions for improving the reliability and informativeness of telemetry exchange are proposed.

Keywords: unmanned aerial system, telemetry, data transmission, website, communication channel, real time, monitoring.

Введение

Развитие беспилотных авиационных систем связано не только с расширением их летно-технических возможностей, но и с ростом их роли как источника оперативной информации для мониторинга и поддержки управленческих решений. В задачах предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций особое значение имеет не только получение данных с борта, но и их устойчивая передача, обработка и отображение в доступной для оператора форме [1–7].

Телеметрическая информация включает координаты, высоту, скорость, курс, состояние бортовых систем, параметры канала связи и данные целевой аппаратуры. Для практического применения БАС в интересах мониторинга необходима передача этих данных не только на наземную станцию, но и в веб-интерфейс, обеспечивающий удаленный доступ, визуализацию и серверную обработку [8–12]. Особую актуальность

данная задача приобретает при использовании интеллектуальной БАС, способной выполнять предварительный анализ информации до ее передачи [10, 11].

Целью статьи является анализ особенностей передачи телеметрических данных с интеллектуальной БАС на веб-сайт в режиме реального времени с учетом структуры канала связи, состава телеметрии и условий визуализации данных.

Обоснование актуальности темы

Актуальность исследования обусловлена расширением применения беспилотных авиационных систем в задачах наблюдения, оперативного мониторинга и информационного обеспечения действий при чрезвычайных ситуациях. В нормативной и организационной базе в области защиты населения, пожарной безопасности и функционирования РСЧС особое значение придается своевременному получению достоверной информации, ее обработке и доведению до лиц, принимающих решения [1–4]. В этих условиях БАС становится не только средством воздушного наблюдения, но и элементом системы сбора и передачи данных, эффективность которой определяется скоростью поступления информации, ее структурированностью и пригодностью для последующего анализа [5–7].

Практическая значимость темы возрастает при использовании интеллектуальной БАС, способной формировать расширенный поток телеметрических данных и результаты их предварительной обработки. Передача этих данных на веб-сайт в режиме реального времени обеспечивает удаленный доступ, централизованное хранение, визуализацию и последующую интеграцию с аналитическими модулями [8–12]. Вместе с тем такой обмен сопровождается техническими ограничениями, включая нестабильность канала связи, задержки, потерю части пакетов и несогласованность форматов [8–10, 12]. В связи с этим актуальной задачей является построение устойчивой информационной цепочки «бортовой комплекс – канал связи – сервер – веб-сайт», обеспечивающей актуальность, целостность и интерпретируемость телеметрической информации [3–7].

Архитектура передачи телеметрических данных с интеллектуальной БАС на веб-сайт

Передача телеметрических данных с интеллектуальной беспилотной авиационной системы на веб-сайт в режиме реального времени представляет собой многоуровневый процесс, включающий формирование данных на борту, их передачу по каналу связи, прием и обработку на серверной стороне, последующее сохранение в базе данных и визуализацию в пользовательском веб-интерфейсе. С позиций системного подхода данная архитектура должна рассматриваться не как совокупность отдельных технических средств, а как единая информационная цепочка, в которой характеристики каждого звена влияют на полноту, достоверность и оперативность представления обстановки [3–7].

Первичным источником информации в рассматриваемой системе выступает бортовой комплекс интеллектуальной БАС. Он формирует телеметрический поток, включающий навигационные параметры полета, служебные данные о состоянии платформы и сведения, поступающие с целевой аппаратуры. В состав такой телеметрии, как правило, входят координаты, высота, скорость, курс, временные метки, уровень заряда источника питания, состояние каналов связи, а также данные от полезной нагрузки, например, оптических или тепловизионных средств наблюдения [5, 6, 9]. Особенностью интеллектуальной БАС является наличие программно-

алгоритмического модуля, выполняющего предварительную обработку исходной информации. За счет этого на передачу могут направляться не только исходные значения параметров, но и результаты их интерпретации: сигналы о выходе показателей за допустимые пределы, отметки о выявлении характерных объектов, а также служебные сообщения о состоянии миссии [10, 11].

Следующим звеном архитектуры является канал связи, обеспечивающий доставку телеметрических сообщений от воздушной платформы к наземной инфраструктуре. Именно характеристики этого звена во многом определяют возможность работы в режиме реального времени. Для телеметрических систем БАС существенное значение имеют пропускная способность канала, устойчивость соединения, помехозащищенность, допустимая задержка и вероятность потери части сообщений [8, 9, 12]. В прикладном отношении это означает, что структура передаваемых данных должна быть рациональной: чрезмерно детализированный поток приводит к перегрузке канала, тогда как чрезмерное сокращение состава параметров снижает информативность системы. Поэтому на практике целесообразно разделять телеметрию на приоритетные группы: критически важные параметры, подлежащие передаче с максимальной частотой; оперативные данные, необходимые для текущего мониторинга; и архивные сведения, сохраняемые для последующего анализа [10, 12].

После приема телеметрии наземным сегментом данные передаются на сервер, где выполняются их декодирование, проверка целостности, унификация форматов и запись в базу данных. Серверная часть архитектуры выполняет связующую функцию между каналом связи и веб-сайтом, обеспечивая преобразование потока телеметрии в форму, пригодную для хранения, обработки и последующего отображения [3, 4]. В условиях интеллектуальной БАС сервер может также выполнять дополнительную агрегацию данных, сопоставление текущих параметров с пороговыми значениями и подготовку уведомлений для пользователя. Тем самым серверный уровень становится не пассивным транзитным узлом, а самостоятельным элементом системы мониторинга, повышающим устойчивость и управляемость информационного обмена.

Конечным звеном архитектуры является веб-сайт, обеспечивающий визуализацию телеметрической информации в форме, удобной для оператора или иного должностного лица. Веб-интерфейс должен отображать не только набор числовых параметров, но и их временную динамику, актуальность поступивших данных, состояние соединения, пространственное положение БАС и признаки обнаруженных событий. При таком подходе веб-сайт выступает не просто средством удаленного доступа, а частью функциональной системы поддержки наблюдения и контроля [1, 4, 11]. Эффективность данного звена определяется тем, насколько корректно согласованы частота обновления интерфейса, логика отображения и структура телеметрических сообщений, поступающих от сервера.

Таким образом, архитектура передачи телеметрических данных с интеллектуальной БАС на веб-сайт должна строиться по принципу согласованного взаимодействия бортового, коммуникационного, серверного и пользовательского уровней. Бортовой сегмент обеспечивает сбор и первичную обработку информации, канал связи – ее оперативную доставку, сервер – прием, преобразование и хранение, а веб-сайт – интерпретацию и визуализацию в интересах конечного пользователя. Именно согласованность этих уровней определяет возможность устойчивого функционирования системы в режиме реального времени и практическую ценность телеметрии для задач мониторинга и информационного обеспечения [3–12].



Рисунок. Архитектура передачи телеметрических данных с интеллектуальной БАС на веб-сайт

Типовые проблемы передачи телеметрических данных в режиме реального времени

Передача телеметрических данных от интеллектуальной БАС на веб-сайт в режиме реального времени сопровождается рядом взаимосвязанных технических ограничений, влияющих на полноту, достоверность и оперативность представления информации. Одной из основных проблем является ограниченная пропускная способность канала связи. При одновременной передаче навигационных параметров, служебной телеметрии, данных полезной нагрузки и результатов предварительной обработки возникает риск перегрузки канала, что приводит к росту задержек, потере части пакетов и снижению устойчивости информационного обмена [8–10]. В этих условиях особое значение приобретает рациональный выбор состава передаваемых параметров и частоты их обновления.

Существенным фактором выступает и нестабильность канала передачи данных, обусловленная дальностью полета, особенностями рельефа местности, наличием застройки, электромагнитных помех и других внешних воздействий. В результате возможны кратковременные разрывы связи, искажение либо неполная доставка телеметрических сообщений [8, 9, 12]. Дополнительные трудности создают задержки, возникающие не только в радиоканале, но и на этапах серверной обработки, записи в базу данных и последующей визуализации на веб-сайте. Это снижает актуальность информации и ограничивает возможность ее использования для оперативной оценки обстановки.

Отдельной проблемой является несогласованность форматов данных и различие между частотой формирования телеметрии на борту и скоростью ее обработки на серверной стороне. При отсутствии унифицированной структуры сообщений возрастает вероятность ошибок интерпретации, рассинхронизации параметров и снижения достоверности отображаемой информации [4–7]. Кроме того, при практическом использовании большое значение имеют защита передаваемых телеметрических данных и проверка того, что поступающие сообщения не были искажены или потеряны, особенно при включении БАС в состав распределенных систем мониторинга и управления [1–3]. Следовательно, проблемы передачи телеметрических данных имеют комплексный характер и требуют согласованного совершенствования бортовой части, канала связи, серверной обработки и пользовательского интерфейса системы.

Предложения по совершенствованию

Совершенствование передачи телеметрических данных с интеллектуальной БАС на веб-сайт в режиме реального времени необходимо рассматривать как комплексную задачу, включающую улучшение состава передаваемой информации, повышение устойчивости канала связи, доработку серверной обработки и настройку веб-интерфейса. Такой подход позволяет уменьшить задержки, снизить риск потери данных и повысить практическую значимость телеметрии для задач мониторинга и поддержки принятия решений [3–7, 10].

Одним из основных направлений является ранжирование телеметрии по степени приоритетности. Критически важные параметры, включая координаты БАС, высоту, скорость, состояние канала связи, уровень заряда и сигналы о нештатных режимах, должны передаваться с минимальной задержкой, тогда как второстепенные и архивные данные могут передаваться реже либо сохраняться на сервере [8–10]. Существенное значение имеет и предварительная обработка информации на борту интеллектуальной БАС, при которой на сервер передаются не только исходные параметры, но и сформированные события, отражающие опасные изменения состояния системы или обстановки [10, 11].

Для повышения устойчивости передачи целесообразно применять буферизацию, временные метки и повторную отправку пакетов при кратковременных сбоях связи, а также предусматривать резервирование канала либо переход на пониженный режим передачи данных [8, 9, 12]. Не менее важна унификация форматов сообщений на всех уровнях системы, что упрощает интеграцию бортового модуля, сервера, базы данных и веб-сайта, снижает вероятность ошибок и создает основу для подключения аналитических модулей [4–7].

Серверный сегмент должен обеспечивать прием, контроль целостности, фильтрацию, агрегацию и подготовку телеметрии к отображению, а веб-интерфейс – представление данных в удобной для оператора форме с указанием актуальности информации, качества соединения и признаков нештатных ситуаций [1, 3, 4]. Дополнительно требуется обеспечить защищенность телеметрического обмена за счет разграничения доступа, защиты каналов передачи и контроля достоверности сообщений [1–3]. В целом реализация указанных мер позволяет повысить надежность и информативность системы мониторинга при решении задач предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [3–12].

Заключение

Передача телеметрических данных с интеллектуальной БАС на веб-сайт в режиме реального времени является важной частью системы мониторинга при чрезвычайных ситуациях. Ее эффективность зависит от устойчивости канала связи, состава передаваемых данных, качества их обработки и удобства отображения на сайте. Проведенный анализ показал, что надежность такой передачи определяется не только техническими возможностями канала, но и правильной организацией всей системы обмена данными. Совершенствование этих элементов позволяет быстрее получать информацию, точнее оценивать обстановку и повышать эффективность ее использования при принятии решений в условиях чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
2. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
3. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
4. ГОСТ Р 22.1.13–2013. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мероприятия по гражданской обороне, мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Требования к порядку создания и эксплуатации.
5. ГОСТ Р 56122–2014. Воздушный транспорт. Беспилотные авиационные системы. Общие требования.
6. ГОСТ Р 57258–2016. Системы беспилотные авиационные. Термины и определения.
7. ГОСТ Р 59518–2021. Беспилотные авиационные системы. Порядок разработки.
8. Бердников, С. М. Использование беспилотных летательных аппаратов в качестве ретрансляторов радиосигнала при проведении радиотелеметрических измерений / С. М. Бердников, А. Н. Гончарук, В. В. Барагузина // Военная мысль. – 2020. – № 11. – С. 80–84.
9. Боев, Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами / Н. М. Боев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнева. – 2012. – № 2(42). – С. 86–91.
10. Евсеев, Д. А. Актуальные протоколы передачи данных для беспилотных автоматизированных систем / Д. А. Евсеев, В. М. Дорошенко // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. – 2025. – № 2. – С. 16–22. – DOI 10.24412/2541-9269-2025-2-16-22.
11. Крадинов, А. Г. Анализ перспектив расширения функционала БАС в ЧС / А. Г. Крадинов, А. Н. Ханина, Т. Р. Ахатов // Применение авиационно-спасательных технологий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сборник трудов секции № 24 XXXII Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2022 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2022. – С. 23–28. – EDN QWMBPO.
12. Поленов, Д. Ю. О применении беспилотного летательного аппарата для ретрансляции телеметрической информации разгонного блока / Д. Ю. Поленов, А. П. Мороз // Лесной вестник. – 2015. – № 3. – С. 131–136.

УДК 621.317.334

П.В. Сплендер, М.С. Сайкин

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К КОНСТРУИРОВАНИЮ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИЙ

Аннотация: Определены основные конструктивные подходы при проектировании магнитожидкостных датчиков вибраций. На основании численных исследований конечно-элементных моделей, проведённых в среде QUICK FIELD, разработаны рекомендации по компенсации силы тяжести чувствительного элемента магнитного подвеса. Получены численные соотношения между площадями постоянных магнитов магнитного подвеса и их энергетическими характеристиками, которые можно использовать при конструировании магнитного подвеса магнитожидкостных датчиков вибраций.

Ключевые слова: магнитожидкостный датчик вибраций, постоянный магнит, магнитный подвес, магнитная жидкость.

P.V. Splender, M.S. Saikin

BASIC APPROACHES TO THE DESIGN OF MAGNETOLIQUID VIBRATION SENSORS

Abstract: The main design approaches for magnetic fluid vibration sensors have been determined. Based on numerical studies of finite element models conducted in the QuickField environment, recommendations have been developed for compensating the gravity force acting on the sensitive element of the magnetic suspension. Numerical relationships have been obtained between the areas of the permanent magnets of the magnetic suspension and their energy characteristics, which can be used in the design of the magnetic suspension for magnetic fluid vibration sensors.

Keywords: magnetic fluid vibration sensor, permanent magnet, magnetic suspension, magnetic fluid.

На действующее оборудование промышленных предприятий, имеющее вращающиеся валы, действуют различные виды вибраций, которые обусловлены износом подшипников качения, а также заложенными при изготовлении сопрягаемых деталей сборочных единиц допусками. Это приводит к дисбалансу при работе энергетического оборудования и возникновению его повышенного износа [1, 2].

Для устойчивой работы оборудования необходимо проводить постоянный контроль уровня вибраций. С этой целью используются датчики, которые различаются по физическому принципу действия, по конструкции, по виду входных и выходных величин, по характеру взаимодействия с объектом и т.д. [3, 4].

Для мониторинга вибраций современного оборудования необходимо использовать датчики, которые обладают высоким быстродействием и имеют минимальное время переходного процесса. Датчики должны иметь простую и надёжную конструкцию и высокую точность измерений.

Таким требованиям удовлетворяю магнитожидкостные датчики вибраций (МЖДВ), одним из основных элементов конструкции которых, является магнитная жидкость (МЖ). Она позволяет осуществлять левитацию чувствительного элемента датчика, который перемещается вдоль его оси при возникновении вибраций с минимальным коэффициентом трения. Чувствительный элемент представляет собой кольцевой постоянный магнит, изготовленный из высококоэрцитивных материалов с высокими значениями остаточной магнитной индукции и коэрцитивной силы. Остаточная магнитная индукция находится в диапазоне: 0,6–1,22 Тл, а коэрцитивная сила составляет: 560–920 кА/м по магнитной индукции. Рабочий температурный диапазон магнитов, изготовленных из сплава самарий - кобальт составляет $-50^{\circ}\text{C} - +250^{\circ}\text{C}$, а из сплава неодим-железо-бор — -50°C Спендер П. В., Сайкин М. С. $+150^{\circ}\text{C}$ [5].

По виду магнитопровода конструкции МЖДВ классифицируются на два основных типа [6, 7]. Магнитопровод может быть разомкнутым или замкнутым. Разомкнутый магнитопровод отличается простотой конструкции и обслуживания. Общим в этих конструкциях является наличие магнитного подвеса (рисунок), который состоит из кольцевых магнитов, два из которых 1 и 2 являются неподвижными и зафиксированы в корпусе датчика, а подвижный постоянный магнит 3 является чувствительным элементом. При возникновении вибраций оборудования происходит перемещение чувствительного элемента вдоль оси корпуса датчика. Магнитный поток, создаваемый чувствительным элементом, пересекает измерительную обмотку магнитожидкостного датчика и наводит в ней ЭДС, пропорциональную частоте вибраций. Электрический сигнал обрабатывается и передаётся на систему автоматического управления.

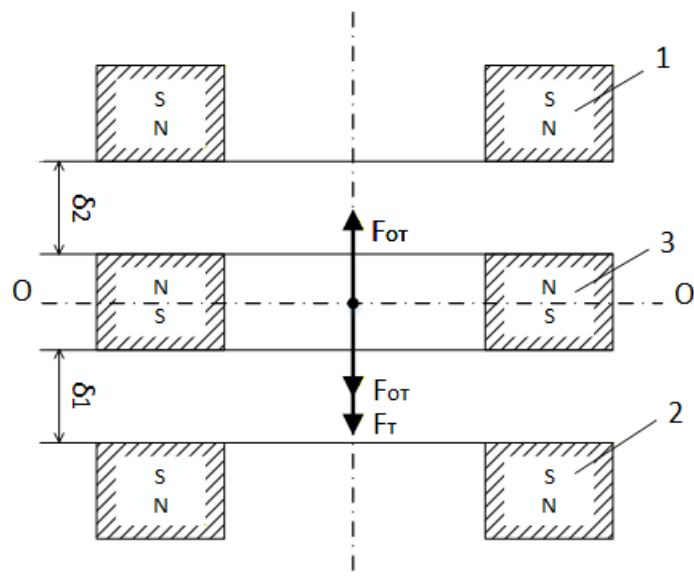


Рисунок. Магнитный подвес магнитожидкостного датчика вибраций

Все постоянные магниты в магнитном подвесе направлены друг по отношению к другу одноименными полюсами. Таким образом, магнитный подвес представляет собой магнитную «пружину».

На первом этапе конструирования магнитожидкостных датчиков вибраций необходимо определить основную концепцию конструкции датчика: с внешним или внутренним расположением магнитного подвеса. Каждая из конструкций обладает достоинствами и недостатками. При внешнем расположении чувствительного элемента по отношению к корпусу датчика значительно упрощается его перезаправка магнитной жидкостью и визуальный контроль его состояния по сравнению с конструкцией МЖДВ с расположением чувствительного элемента внутри его корпуса. Для конструкции с чувствительным элементом внутри корпуса датчика повышается защита МЖ от попадания частиц пыли, что повышает стабильность его работы [8, 9].

Одним из основных требований, предъявляемых к эксплуатационным характеристикам датчиков, является высокая точность измерений уровня вибраций. Кроме сил взаимного отталкивания, действующих на чувствительный элемент в магнитном подвесе со стороны магнитов, закреплённых в корпусе, на него действует сила тяжести, которая увеличивает одну из этих сил. Зазор δ_1 становится меньше δ_2 , что приводит к значительным погрешностям при проведении измерений величины вибраций. Исключить влияние силы тяжести на точность измерений можно двумя способами:

1. уменьшение площади верхнего кольцевого постоянного магнита по отношению к площади чувствительного элемента и магнита, установленного в нижней части корпуса;

2. повышение энергетических параметров постоянного магнита, расположенного в нижней части корпуса, по отношению к магниту, расположенному в его верхней части.

Для получения рациональных эксплуатационных параметров МЖДВ возможно использование обоих способов одновременно.

Для определения соотношений между размерами верхнего и нижнего постоянных магнитов магнитного подвеса в среде QuickField проведены численные исследования распределения магнитной индукции в магнитном подвесе МЖДВ [10]. Получены значения средней магнитной индукции в зазорах δ_1 и δ_2 .

Численные исследования проведены для кольцевых постоянных магнитов, имеющих размеры: $K17 \times 8 \times 5$; $K16 \times 10 \times 5$; $K14 \times 8 \times 5$; $K12 \times 8 \times 3$; $K9 \times 5 \times 2,5$. При составлении расчётных моделей учитывались граничные условия Дирихле-Неймана. Для каждой расчётной модели проводилась триангуляция, которая составляла около 160000 элементов.

В результате выполненных исследований определены размерные соотношения между кольцевыми постоянными магнитами в магнитном подвесе МЖДВ и найдены соотношения между энергетическими параметрами этих магнитов.

Основные результаты работы состоят в следующем:

- найдены основные соотношения между размерами постоянных магнитов магнитного подвеса в датчиках вибраций, что позволяет обеспечить требуемую точность измерений при разработке МЖДВ.

- компенсация силы тяжести, действующей на чувствительный элемент, достигается за счёт увеличения площади нижних постоянных магнитов магнитного подвеса на 15–49 % по сравнению с верхними постоянными магнитами. Также компенсация силы тяжести достигается увеличением энергетических параметров нижнего магнита на 17–23 % по сравнению с верхним магнитом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владиславлев Л.А. Вибрация гидрогенераторов гидроэлектрических станций. М. Энергия. – 1972. – 176 с.
2. Миндрин В.И., Пачурин Г.В., Ребрушкин М.Н. Виды и причины вибрации энергетических машин // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 5. – С. 32-36.
3. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. Москва. Техносфера. 2012. – 624 с.
4. Осадчий Е.П. и др. Проектирование датчиков для измерения механических величин. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с.
5. Лагуткина Д.Ю., Сайкин М.С. Современные магнитные материалы в электротехнике. Учебное пособие. / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – Иваново, 2018. – 104 с.
6. Федосеева В.П., Сайкин М.С. Разработка магнитожидкостных виброметрических датчиков/ Сборник научных трудов 19-ой Международной Плесской научной конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям, Россия, Иваново, 2020 г., С.262-268 (сентябрь 2020 г.).
7. Сайкин М.С., Федосеева В.П. Разработка и исследование магнитожидкостных вибродатчиков с магнитным подвесом на кольцевых постоянных магнитах / Вестник Рыбинского государственного авиационно-технического университета имени П.А.Соловьёва. – Изд-во (РГАТУ имени П.А.Соловьёва), N 3 (58), 2021, С.65-71.
8. Спендер П.В., Сайкин М.С. Конструктивные пути совершенствования магнитожидкостных датчиков вибраций. Сборник научных трудов 21-ой Всероссийской с международным участием Плесской научной конференции по нанодисперсным магнитным жидкостям, Россия, Иваново, 2024 г., С.191-198 (сентябрь 2024 г.).
9. Сайкин М.С., Спендер П.В. Магнитожидкостные датчики диагностики вибраций машиностроительных узлов энергетического оборудования электрических станций / Вестник Рыбинского государственного авиационно-технического университета имени П.А. Соловьёва. – Изд-во (РГАТУ имени П.А.Соловьёва), N 1 (72), 2025, С. 39-45.
10. Спендер П.В., Сайкин М.С. Моделирование магнитного поля магнитожидкостного датчика вибраций в программной среде QUICK FIELD/ Сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции «Надёжность и долговечность машин и механизмов», Иваново, 17 апреля 2025. – Иваново: пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, С. 337-342

УДК 621

Р.А. Старобор, Н.А. Кропотова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ПОДЪЕМНИКА В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ

Аннотация: в статье рассмотрена возможность использования спроектированной конструкции канавного подъемника, позволяющего облегчить техническое обслуживание и ремонт пожарной техники. За счет осуществления прочностного расчета подобрано рациональное поперечное сечение рамы подъемника, швеллера в качестве поддерживающей системы по статической грузоподъемности.

Ключевые слова: техническое обслуживание, ремонт пожарной техники, рациональное поперечное сечение элементов конструкции, прочностной расчет конструктивных элементов.

R.A. Starobor, N.A. Kropotova

ENGINEERING AND TECHNICAL SOLUTIONS FOR IMPROVING IN THE FIRE-RESCUE LIFT

Abstracts: the article discusses the possibility of using a designed trench lift structure to facilitate the maintenance and repair of firefighting equipment. By performing a strength analysis, a rational cross-section of the lift frame and channel as a supporting system for static load capacity has been selected.

Keywords: maintenance and repair of fire equipment, rational cross-section of structural elements, and strength calculation of structural elements.

Для организации повседневной службы отдельной пожарно-спасательной части гарнизона возложен большой функционал необходимых мероприятий по приведению в боевую готовность. Постановка задач осуществляется каждые сутки при заступлении на суточное дежурство. Работа организуется таким образом, чтобы личный состав мог осуществлять все мероприятия по профилактике пожаров, спасению людей и имущества, оказанию первой помощи, организации и выполнению тушения пожаров и проведение аварийно-спасательных работ в населенных пунктах и на различных объектах. Количество пожаров подтверждает привлечение сил структурных подразделений пожарной охраны по Республике Северная Осетия-Алания (рис. 1).

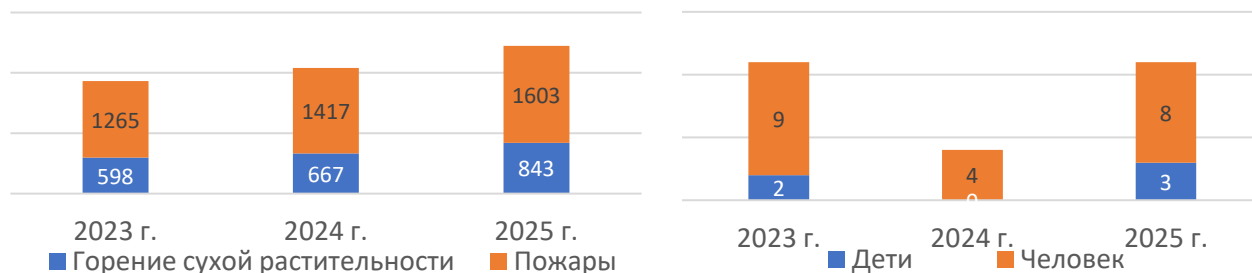


Рис. 1. Анализ статистических данных по пожарам и гибели людей по ГУ МЧС России по Республике Северная Осетия-Алания

Есть некоторые климатические особенности организации данных мероприятий, поскольку территориально занимает юг центральной части Северного Кавказа [1]. Для сокращения трудовых и финансовых затрат на содержание пожарной техники в исправном состоянии необходимо изменить существующий уклад и усовершенствовать механизм по техническому обслуживанию и эффективному использованию автопарка, улучшая и рационально модернизируя ремонтную часть поста. Закупка подъемников нашего региона не осуществлялась за последние 30 лет, поэтому считаем, что модернизация технической зоны в гараже пожарно-спасательной части необходима [2]. Из общего числа внезапных отказов более половины приходится на условно внезапные (внезапные по появлению, но постепенные по развитию). Основные причины отказов по гарнизону приведены на рис. 2.



Рис. 2. Поэлементный перечень отказов пожарных автомобилей ГУ МЧС России по Республике Северная Осетия-Алания за 2025 год

Основную часть времени, в период эксплуатации, пожарный автомобиль находится в расчете в состоянии оперативной готовности. Следовательно, для поддержания боеготовности пожарной техники, а также осуществления безопасного ремонта узлов и агрегатов необходимы подъемники. Для модернизации ремонтной зоны поста был взят за основу канавный подъемник [4]. Общий вид передвижного канавного подъемника представлен на рис. 3.

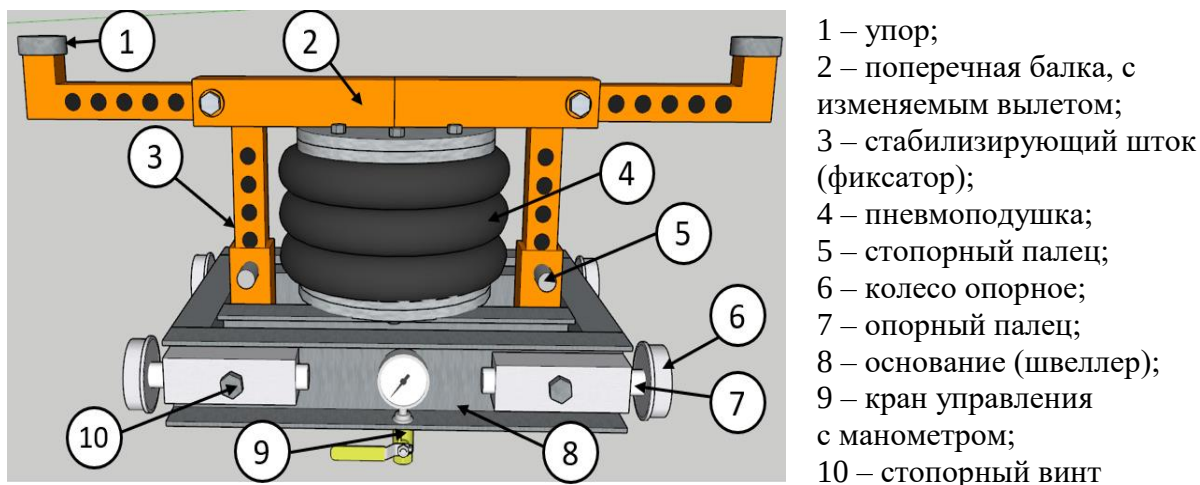


Рис. 3. Общий вид передвижного канавного подъемника

В пожарно-спасательной части имеется компрессор, выбираем для проектируемого подъемника пневматический привод, как самый рациональный, простой и надежный, а пневматическую подушку для домкратов стоит приобрести.

Подъемник предназначен для работы в смотровой канаве и перемещается вручную по направляющим из стального швеллера, проложенным вдоль ее краев. Перестановка агрегата между рабочими позициями осуществляется оператором без использования дополнительного привода. Конструкция включает стабилизирующие штоки с отверстиями для установки стопорных пальцев, обеспечивающих жесткую фиксацию подъемника в выбранном положении. Основным рабочим органом являются выдвижные лапы, оснащенные концевыми упорами. Путем замены или перестановки этих упоров оператор может варьировать высоту подхвата и адаптировать систему под конкретный автомобиль. Ширина колеи опорных колес также является регулируемой для точной установки на направляющие. Для функционирования подъемника требуется только подключение к источнику сжатого воздуха. Максимальная относительная высота подъема составляет 400 мм. Пневморедуктор подбираем по рабочему давлению, условному проходу и диапазону настройки давления: П-РК-12 ТУ 4151-003-00221287-96. Кран управления выбираем по рабочему давлению и функциональному назначению: В71-22 ГОСТ 19862-87. Расчет проведем исходя из максимальной нагрузки на одну опору равной 4 т.

Внутренний диаметр трубопровода подачи воздуха:

$$d_p = 2 \cdot \sqrt{\frac{Q_K}{\pi \cdot v_d}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{3,14 \cdot 55}} = 0,1076 \text{ дм} = 10,76 \text{ мм.} \quad (1)$$

где Q_K – подача компрессора, л/с; $Q_K = 0,5$ л/с; v_d – принимаемая средняя скорость движения воздуха по трубопроводу, л/с; $v_d = 55$ дм/с.

По ГОСТ 8734–75 из условия $d \geq d_p$, где d – стандартный диаметр, ближайший к расчетному, выбираем внутренний диаметр трубопровода $d = 12$ мм.

Для соединения элементов пневмосхемы принимаем шланг 12-2-У-3 ТУ 18024-83 с техническими характеристиками: рабочее давление до 1,6 МПа; диапазон рабочих температур: $-15...+42$ °С.

Для передвижения подъемника вдоль швеллеров, установленных с двух сторонами, рассчитаем количество колес и их диаметр. Для перемещения подъемник имеет четыре колеса. Определим сначала диаметры колес:

$$D_k = 1,1 \sqrt{R_{\max}} \quad (2)$$

где $R_{\max}$ – максимальная нагрузка, которая действует на одно колесо, Н.

Если

$$R_{\max} = F/z_k, \quad (3)$$

где F – сумма сил тяжести подъемника и груза, Н; z_k – число колес, на которые приходится нагрузка, шт.

$$F = F_n + F_g \quad (4)$$

где F_n – вес подъемника, Н; F_g – вес груза, Н.

$$F_n = m_n \cdot g = 150 \cdot 9,8 = 1500 \quad (5)$$

где m_n – масса подъемника, кг; принимаем массу согласно проведенному анализу типовых устройств, которые устанавливаются на смотровую яму с грузоподъемностью 4-6 т равной $m_n = 150$ кг; g – ускорение свободного падения, м/с², тогда получим искомые величины:

$$F_r = 4000 \cdot 9,8 \approx 40000 \text{ Н} \quad (6)$$

$$F = 1500 + 40000 = 41500 \text{ Н} \quad (7)$$

$$R_{\max} = 41500 / 4 = 10375 \text{ Н} \quad (8)$$

$$D_k = 1,1 \sqrt{10375} = 112 \text{ мм} \quad (9)$$

Минимальный диаметр для одной оси колеса:

$$d_k = D_k / 3 = 112 / 3 = 37,4 \text{ мм.} \quad (10)$$

Принимаем минимальный диаметр оси колеса $d_k = 38$ мм. В качестве материала изготовления колеса принимаем сталь 45 ГОСТ 1058-88.

Проведем проверку прочности колес по линейному контакту по формуле:

$$\sigma_{k,l} = a \sqrt{\frac{2 \cdot K_v \cdot R_{\max}}{b \cdot D_k}} \leq [\sigma_{k,l}] \quad (11)$$

где a – коэффициент пропорциональности; для стальных колес $a = 190$; b – ширина пятна контакта, $b = 35$ мм; K_v – коэффициент влияния скорости; $[\sigma_{k,l}]$ – допустимое напряжение, МПа; для стального колеса $[\sigma_{k,l}] = 450 \dots 500$ МПа.

$$K_v = 1 + 0,2 \cdot v = 1 + 0,2 \cdot 0,25 = 1,05 \quad (12)$$

где v – скорость перемещения подъемника при его перекачивании, м/с, принимаем $v = 0,25$ м/с, тогда $\sigma_{k,l} = 190 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,05 \cdot 10375}{35 \cdot 112}} = 427,5 \text{ МПа.}$

Условие прочности выполнено.

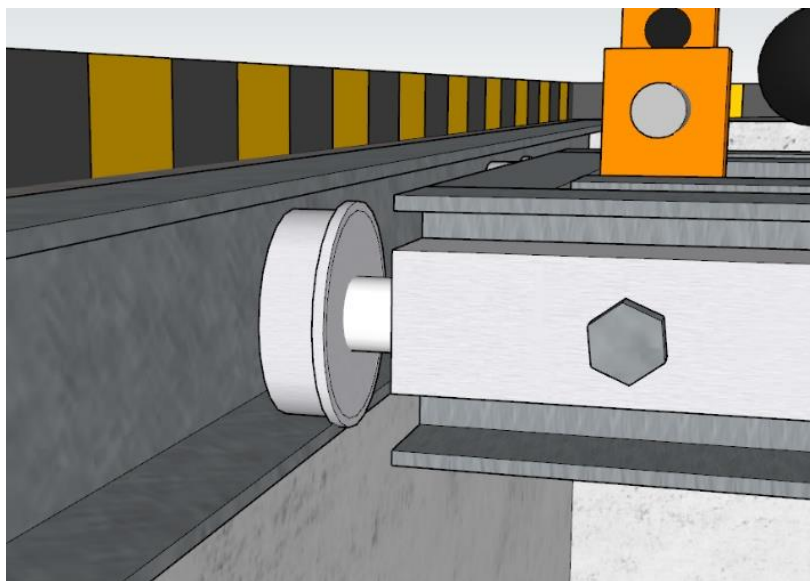


Рис. 4. Общий вид расположения швеллера и колес подъемника в смотровой яме

На рисунке 4 представлен швеллер и расположенными колесами подъемника в смотровой яме. Так как колесо устанавливается на подшипники, которые жестко закреплены на оси, то необходимо подобрать их по диаметру внутреннего кольца. По предварительным расчетам диаметр оси составляет 38 мм. Принимаем диаметр внутреннего кольца подшипников 40 мм.

Подшипник будем подбирать по статической грузоподъемности C_o , так как по при подъеме оси автомобиля сам подъемник неподвижен.

Определим эквивалентную статическую нагрузку

$$P_o = X \cdot V \cdot F_r \cdot k_b \cdot k_T = 1 \cdot 1 \cdot 10375 \cdot 1,25 \cdot 1 = 12968,75 \text{ Н.} \quad (13)$$

где X – коэффициент радиальной нагрузки, $X = 1$; V – коэффициент, учитывающий влияние вращающегося кольца, $V = 1$; F_r – радиальная нагрузка, $F_r = R_{\max} = 10375 \text{ Н}$; k_b – коэффициент безопасности, $k_b = 1,0 \dots 1,25$; k_T – температурный коэффициент, $k_T = 1$.

Принимаем радиальные шарикоподшипники с уплотнением: 80108. Статическая грузоподъемность одного подшипника $C_o = 9300 \text{ Н}$, (устанавливаем два подшипника, тогда $C_o = 18600 \text{ Н}$). При выборе подшипника необходимо чтобы выполнялось условие

$$P_o \leq C_o \text{ или } 12968,75 \text{ Н} < 18600 \text{ Н.} \quad (14)$$

Вдоль смотровой ямы устанавливаем швеллер под размер опорного колеса (швеллер 14П ГОСТ 8240-87). При расчете рамы подъемника необходимо выполнить расчет на статическую прочность. Применяем методику, по которой выполняют расчет балок с шарнирными опорами.

Определим опорные реакции.

$$R_A = R_B = \frac{P}{2} = \frac{40000}{2} = 20000 \text{ Н} \quad (15)$$

где R_A, R_B – опорные реакции, Н; P – усилие давящее на раму, Н, $P = 40000 \text{ Н}$.

Определяем величину изгибающего момента относительно точки А:

$$M_{изг} = \frac{P \cdot L}{4} \quad (16)$$

где L – расстояние между опорами рамы, мм.

$$M_{изг} = \frac{40000 \cdot 0,85}{4} = 8500 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (17)$$

Определим момент сопротивления создаваемый изгибающим моментом:

$$W_x = \frac{M_{изг}}{2 \cdot [\sigma]} = \frac{8500 \cdot 10^3}{2 \cdot 130} = 32692,30 \text{ мм}^3 (32,7 \text{ см}^3) \quad (18)$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение изгиба, МПа, в качестве рамы используем скрепленные между собой два швеллера из Стали 09Г2 ГОСТ 19281-89 для которой $[\sigma] = 130$ МПа.

Принимаем швеллер 10П ГОСТ 8240-87, тогда для него $W_x = 34,8 \text{ см}^3$.

Таким образом, в ходе исследования были решены следующие задачи:

- выполнен аналитический обзор по данным, которые отражают частоту выезда, отказы, объем ремонтных работ по пожарной технике и выявлены причины отказов;
- создана 3D-модель канавного подъемника в Autodesk Inventor;
- подобраны конструктивные элементы подъемника;
- произведен прочностной расчет отдельных элементов и подобран сортамент и проверочный;
- соединены отдельные конструкционные элементы подъемника и передвижная система роликов подъемника;
- осуществили прокладку двух 12 м швеллеров по стенам смотровой ямы;
- при экономической выгоде выполненных работ, приобрели пневматическую подушку для домкратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кензеев Д.С., Кропотова Н.А. Обоснование поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники и его планомерного совершенствования // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2023. С. 81-86.
2. Кропотова Н.А. Альтернативный подход для облегчения ремонта пожарной техники // Актуальные проблемы пожарной безопасности. Материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Иваново, 2020. С. 751-754.
3. Киселев В.В., Топоров А.В., Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Снижение износа деталей главной передачи пожарных автомобилей за счет улучшения триботехнических характеристик смазочных материалов // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2021. № 3 (22). С. 5-10.
4. Попов Е.В., Буторин В.В. Проект канавного подъемника для ремонта и обслуживания автомобилей различных типов и классов // Ученые заметки ТОГУ, Т. 15, №3, 2024. С. 11-16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proekt-kanavnogo-podemnika->

dlya-remonta-i-obsluzhivaniya-avtomobiley-razlichnyh-tipov-i-klassev/viewer (дата обращения 09.02.2026)

5. Зарубин В.П., Киселев В.В., Кропотова Н.А., Легкова И.А., Иванов В.Е. Модернизация передвижной мастерской для обслуживания пожарной техники // Пожарная и аварийная безопасность. Иваново, 2018. № 2 (9). С. 47-57.

УДК 621.98

В.Е. Стюфляев, В.А. Кукушкина

Липецкий государственный технический университет

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ

Аннотация: рассмотрим ключевые направления применения аддитивного производства в таких отраслях как: медицина, машиностроение, строительство и дизайн. Уделим особое внимание потенциалу технологий для снижения материальных отходов, создание сложных геометрических структур, ускорение прототипирования, недоступное традиционными методами. Проведем анализ текущих перспектив развития и ограничений.

Ключевые слова: аддитивное производство, цифровое производство, персонализация, устойчивое производство.

V.E. Stuflyayev, V.A. Kukushkina

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN VARIOUS INDUSTRIES

Abstract: We will consider key areas of application for additive manufacturing in industries such as medicine, mechanical engineering, construction, and design. We will pay particular attention to the potential of these technologies to reduce material waste, create complex geometric structures, and accelerate prototyping in ways that are not possible with traditional methods. We will analyse the current prospects for development and limitations.

Keywords: additive manufacturing, digital manufacturing, personalisation, sustainable manufacturing.

Аддитивные технологии на рубеже XXI века, перешли из разряда экспериментальных методов в категории стратегически значимых инструментов современного производства. В отличие от субтрактивных подходов, которые основаны на удалении материала, то аддитивное производство формирует объект послойно, открывая новые горизонты в создании функционально эстетических и оптимизированных сложных изделий. 3D-печать по сей день активно внедряется в высокотехнологичных секторах (биомедицинская инженерия, авиастроение), но и в повседневной практике от авторского дизайна до архитектурного макетирования. Доступность оборудования растет, расширяется спектр развития программного

обеспечения и материалов способствуя демократизации производства и формируется новая парадигма – «цифровое ремесло».

Яркий пример потенциала аддитивных технологий проявляется в биомедицинской сфере, где требования к биосовместимости, точности и индивидуализации изделий достигают максимума, используя 3D-печать в создании стоматологических конструкций, ортопедических имплантов, слуховых аппаратов и протезов конечностей. Все это благодаря возможности цифрового моделирования на основе данных магнитно-резонансной томографии (МРТ) или компьютерной, изготовление изделий идет с учетом анатомии пациента, повышая их функциональность и ускоряя процесс реабилитации.

Первый метод, нашедший применение в медицине – стереолитография (SLA), технология, основанная на послойном отверждении фотополимерных смол под воздействием ультрафиолетового лазера, позволяющая создание высокоточных структур с минимальной пористостью и гладкой поверхностью. В клинической практике SLA применяют для изготовления хирургических шаблонов, челюстно-лицевых и черепных имплантов и даже матриц для тканевой инженерии. Данные изделия не только точно повторяют форму дефектов пациента, но и выполнены из гипоаллергенных материалов, является особенно важным при длительном контакте с живыми тканями.

На рис. 1 показан пример печати хрящей уха (реконструкция).

В задачах, требующих повышенную механическую прочность, используя метод порошкового спекания (лазерное спекание металлов – DMLS). Технология позволяющая изготавливать титановые эндопротезы позвоночных имплантов, суставов и каркасы для костной регенерации с микроструктурой, имитирующую естественную кость. Импланты имеют пористую поверхность, способствуя остеоинтеграции (процесс прорастания костной ткани внутрь конструкции, обеспечивая надежную фиксацию без использования цемента). Преимуществом DMLS заключается в его универсальности – метод применим ко всем биосовместимым сплавам.

Наиболее перспективным, хотя и экспериментальным остается 3D-биопечать – позволяющая (печатать) живые клетки, гидрогели и биополимеры для создания функциональных тканей. Однако, несмотря на результаты для широкого клинического внедрения биопечать сдерживается рядом факторов, таких как: высокая стоимость биочернил и оборудования, сложности поддержания жизнеспособности клеток в процессе печати.

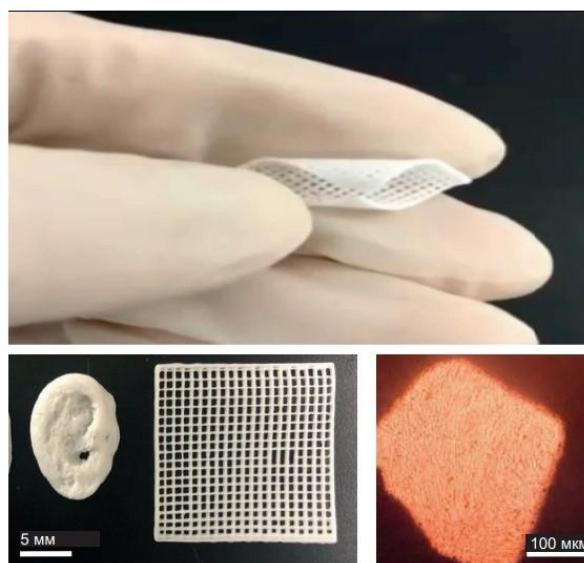


Рис. 1. Пример печати хряща уха

Альтернативные методы биопечати рассматривают методы выращивания органов на скаффолдах (рис. 2) или биореакторах.

Такие подходы демонстрируют значительный научный прогресс в создании искусственной трахеи или мочевого пузыря, но они пока что не готовы к массовому применению из-за технических сложностей и этических ограничений. Но, синергия между аддитивными технологиями, материалами нового поколения и клеточной биологией создает основу для будущего прорыва в регенеративной медицине [1].

Аддитивные технологии уже по сей день играют ключевые роли в восстановлении физиологических функций человека, особенно в областях имплантологии и протезирования. Основной рост ожидается в сегменте персонализированных решений на основе металлов и полимеров, тогда как биопечать органов, останется в сфере исследований, но до тех пор когда не будут решены вопросы экономической доступности и масштабируемости.

Помимо медицины, аддитивные технологии находят все более широкое применение и в других отраслях – строительство, дизайн и машиностроение, но их степень интеграции и специфика использования существенно различаются.

Аддитивные методы в строительстве используются преимущественно для печати архитектурных элементов и целых зданий из глиняных и цементных смесей. Подход сокращает объем отходов, трудозатраты и открывает возможности для реализации нестандартных форм (рис. 3).

В дизайне аддитивное производство выступает как инструмент цифрового ремесла, позволяющий воплотить авторам сложные художественные смелые задумки с минимальными ограничениями и высокой точностью. От интерьерных объектов до ювелирных изделий 3D-печать создает условия для экспериментов со структурой, формой и материалом, сохраняя полный контроль над деталями. В сочетании с постобработкой (шлифовка, эмалирование), изделия приобретают характер близкий с ручной работой (рис. 4) [4].

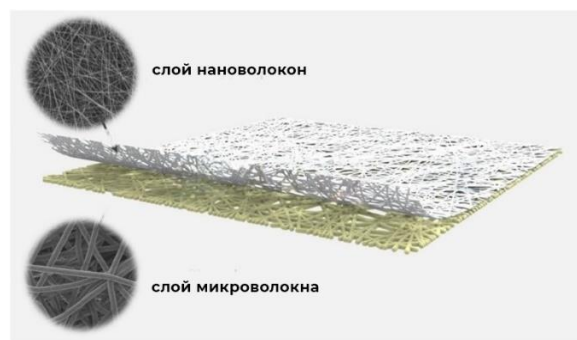


Рис. 2. Клеточные матрицы (Скаффолды)



Рис. 3. Аддитивная технология печати дома



Рис. 4. Ювелирные изделия напечатанные на принтере

3D-печать в машиностроении применяется активно для изготовления легких, но прочных деталей сложной геометрии, которые недоступны традиционными методами обработки. Ценится возможность топологической оптимизации конструкций, позволяющих снизить массу изделий без потерь прочности что, критически важно в автомобильной и аэрокосмической промышленности. Аддитивные технологии ускоряют процессы разработки новых узлов за счет быстрого прототипирования (изначально 3D-сканирование, только потом перенос в CAD-системы), позволяя создавать восстанавливать изношенные компоненты на производственной площадке (рис. 5) [2].

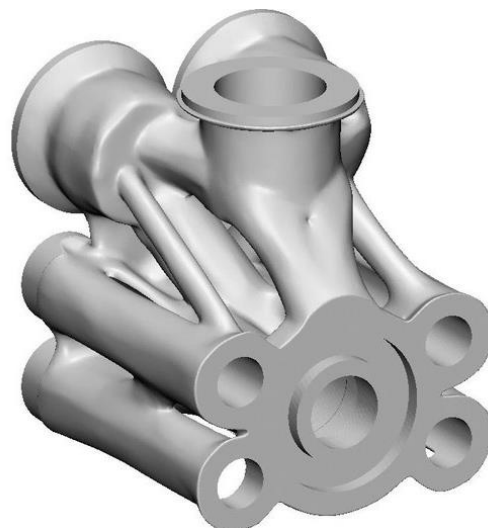


Рис. 5. Блок гидравлических клапанов

Таким образом если в медицине аддитивные технологии прежде всего служат целями для восстановления и персонализации функций, то в машиностроении они оптимизируют производственные процессы, в дизайне расширяют границы творческого выражения, а в строительстве – трансформация подходов к возведению объектов.

Уже сегодня аддитивные технологии демонстрируют значительный потенциал в самых разных отраслях, начиная от возведения сложных архитектурных форм в строительстве и заканчивая восстановлением физиологических функций в медицине. Несмотря на технологические ограничения и высокую стоимость биопечать открывает путь к новому этапу в трансплантологии.

Внедряя аддитивные технологии в строительство, дизайн и машиностроение – подтверждает их универсальность, которое повышает эффективность, снижает затраты и расширяет границы художественной и инженерной мысли [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьева Н.Г. Перспективы применения 3d печати для восстановления физиологических функций человека / Н.Г. Терентьева, Е.В. Терентьева // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Современные проблемы и перспективные направления инновационного развития науки»: в 4-х частях. 2016. С. 146-150.
2. Григорьянц А.Г., Лутченко А.В. Современные проблемы развития аддитивных технологий в машиностроении / А.Г. Григорьянц, А.В. Лутченко // Научно-технические проблемы в машиностроении. 2022. №8. С. 27-30.
3. Федорова П.С. Перспективы применения аддитивных технологий в машиностроении / П.С. Федорова // Аллея науки. 2017. Т. 1. № 8. С. 447-454.
4. Стюфляев, В. Е. Станки для ювелиров и художественного производства / В. Е. Стюфляев, В. А. Кукушкина // Надежность и долговечность машин и механизмов : СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XVI ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ, Иваново, 17 апреля 2025 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной

службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. – С. 342-347.

5. Аддитивные технологии в дизайне и художественной обработке материалов : учебное пособие для СПО / Е. С. Гамов, В. А. Кукушкина, М. И. Чернышова, И. Т. Хечиашвили. – 3-е издание, исправленное. – Липецк, Саратов : Липецкий государственный технический университет, Профобразование, 2024. – 72 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-4488-2034-2. – DOI 10.23682/139709. – EDN EQCUOR.

6. Горунов А.И. Аддитивные технологии и материалы: учебное пособие / А.И. Горунов // Казань: КНИТУ-КАИ. 2019. С. 56.

УДК 32.816

И.Ф. Тангатаров, П.В. Пучков

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ И ЛИКВИДАЦИИ ЧС. ПЕРВЫЕ ШАГИ

Аннотация: в данной статье рассматриваются история создания первых советских пожарных и специальных роботов, предназначенных для тушения пожаров и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Особое внимание уделено первым проектам, таким как комплексная установка роботизированный-огнетушитель, первый пожарный робот на острове Кизи и роботизированная установка пожаротушения РУП-С20-П1-2. В статье описаны устройство и некоторые технические характеристики роботизированных устройств, которые разрабатывались для ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Ключевые слова: пожарный робот, установка пожаротушения, дистанционное управление, ликвидация последствий аварии, пожарная робототехника.

I.F. Tangatarov, P.V. Puchkov

DEVELOPMENT OF ROBOTIC COMPLEXES FOR FIRE EXTINGUISHING AND EMERGENCY RESPONSE. THE FIRST STEPS

Abstract: The article is devoted to the history of the creation of the first Soviet fire fighting robots designed to extinguish fires and eliminate emergencies. The key stages of the development of domestic fire robotics since the middle of the 20th century are considered. Special attention is paid to the first projects, such as the integrated robotic fire extinguisher installation, the first fire robot on Kizhi Island and the RUP-S20-P1-2 robotic fire extinguishing system. The designs and functionality of robots created to eliminate the consequences of the Chernobyl accident are described in detail.

Keywords: fire fighting robot, fire extinguishing system, remote control, emergency response, fire robotics.

Создание роботизированных комплексов для обнаружения и ликвидации пожаров является важным направлением развития современных технологий в области обеспечения пожарной безопасности. Российские ученые и инженеры активно работают над созданием инновационных решений, позволяющих повысить эффективность обнаружения пожара на ранней стадии и тушения пожаров.

Первые попытки создать автоматические системы пожаротушения были предприняты еще в середине XX века. Однако серьезные разработки начались лишь в конце прошлого столетия, когда появились современные технологии управления, обработки информации и материаловедения.

В 1986 году в одном из номеров журнала «Моделист конструктор» была опубликована заметка о первом проекте робота-пожарного, разработанного во Всесоюзном научно-исследовательском институте противопожарной обороны и получившего название, комплексная установка роботизированный-огнетушитель (рис. 1). Данный робот по проекту должен был сам вести автоматический поиск очага возгорания, наводить средства пожаротушения на пламя и производить его тушение с помощью огнетушащих составов. Робот-пожарный мог обнаружить источник горения на расстоянии до 50 м и всего за 15-20 секунд навести поисково-наводящий ствол (3) на очаг горения. По проекту поворотная башня (2) имела угол обзора в горизонтальной плоскости 180°, а максимальный угол подъема поисково-наводящего ствола составлял 45°. Питание электросистемы робота осуществлялось от обычной электросети 220 В по кабелю. Потребление электроэнергии составляло менее 100 Вт. Данный робот-пожарный разрабатывался для применения на предприятиях нефтяной и газовой промышленности, объектах ядерной энергетики, в складских помещениях [1].

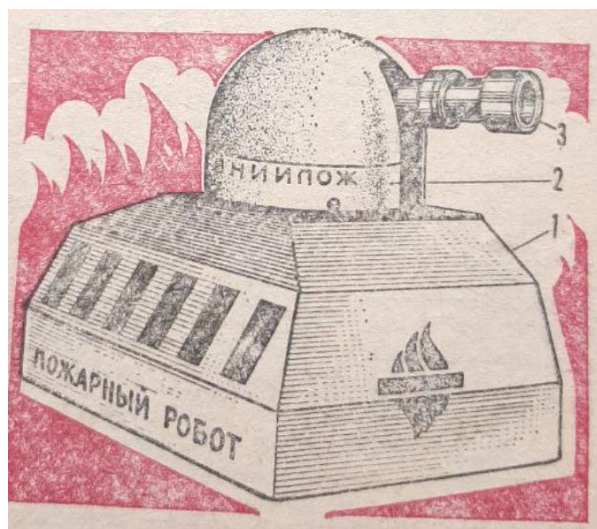


Рис. 1. Роботизированный противопожарный комплекс:
1 – корпус с аппаратурой;
2 – поворотная башня;
3 – поисково-наводящий ствол

Далее рассмотрим еще одну интересную разработку советских инженеров. В 1984 году для защиты от пожара архитектурного ансамбля Государственного историко-архитектурного музея на острове Кижи Онежского озера заступил первый пожарный робот (рис. 2). Конструктивное исполнение данного робота определенно могло решить проблему тушения возгорания, возникшего в строениях уникального памятника, полностью изготовленного из древесины. Создание подобного робота стало началом создания нового перспективного научно-технического направления — пожарной робототехники [2]. В 1986 году данный робот и его реплики участвовали в ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС.



Рис. 2. Установка Первого пожарного робота в СССР на боевое дежурство

Первый пожарный робот сделал прорыв в развитии нового направления в пожарной науке – пожарной робототехнике, и дал старт дальнейшему развитию данного направления.

В 1985 году в СССР разработана и изготовлена первая роботизированная установка пожаротушения РУП-С20-П1-2 (рис. 3). Данная установка была оснащена устройством технического зрения на базе телевизионной камеры ПТУ-45-1. После успешных комплексных испытаний была рекомендована для применения на различных пожароопасных объектах страны.



Рис. 3. Роботизированная установка пожаротушения РУП-С20-П1-2

В настоящее время конструкции стационарных пожарных роботов и роботизированных установок пожаротушения усовершенствованы по многим параметрам. Созданный в СССР пожарный робот первого поколения с расходом пожарного ствола порядка 20 л/с весил 200 кг, а современные роботы подобного класса весят не более 20 кг. Так же значительно усовершенствованы и приводы для

роботизированных систем. Например: раньше мощность приводов стволов с расходом 60 л/с составляла порядка 1,1 кВт, а сейчас для вращения такого ствола достаточно привода мощностью всего 0,12 кВт. Система управления советских пожарных роботов была однозадачной и выполняла функцию наведения пожарного ствола на источник возгорания, а система современного пожарного робота более сложная и многофункциональная. Система управления современных роботов оснащена системой искусственного интеллекта для адаптации к быстроменяющейся обстановке на пожаре [3].

Достаточно большая номенклатура роботов была разработана в 1986 году для ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. Для ликвидации последствий аварии разрабатывались роботизированные комплексы, предназначенные для дистанционного проведения разведки в помещениях и на крыше реакторного блока атомной станции, а также роботы для расчистки радиоактивного мусора, излучавшего большое количество рентген. Наиболее известная разработка такого роботизированного комплекса принадлежит МГТУ им. Баумана, получившая название «Мобот-Ч-ХВ» (рис. 4). Данный робот заменил людей на самых опасных участках и тем самым позволил сохранить немало жизней ликвидаторов аварии.

В состав комплекса входил мобильный робот, пост оператора, кабельная линия связи и подачи электропитания на борт мобильного робота и транспортно-посадочный модуль. Данный робот был оснащен электромеханическими приводами. В качестве движителя использовались гусеницы, изготовленные из полиуретановых траков. Внутри корпуса робота был установлен кабелеукладчик, с запасом кабеля 200 м, также имелся дополнительный запас кабеля (вставка) еще 200 м – поэтому максимальный радиус действия комплекса составлял 400 м. При движении роботизированного комплекса кабель мог разматываться и наматываться обратно в полуавтоматическом режиме. Данный комплекс был оснащен манипулятором с грейферным захватом. Оператор робота «Мобот-Ч-ХВ» с помощью манипулятора захватывал радиоактивный мусор, поднимал его и помещал (ссыпал) в специальные контейнеры. Управление роботом производилось по кабельной линии, а сама система управления была изготовлена на релейных элементах. Для управления роботом использовались две телекамеры, которые были установлены на его корпусе.

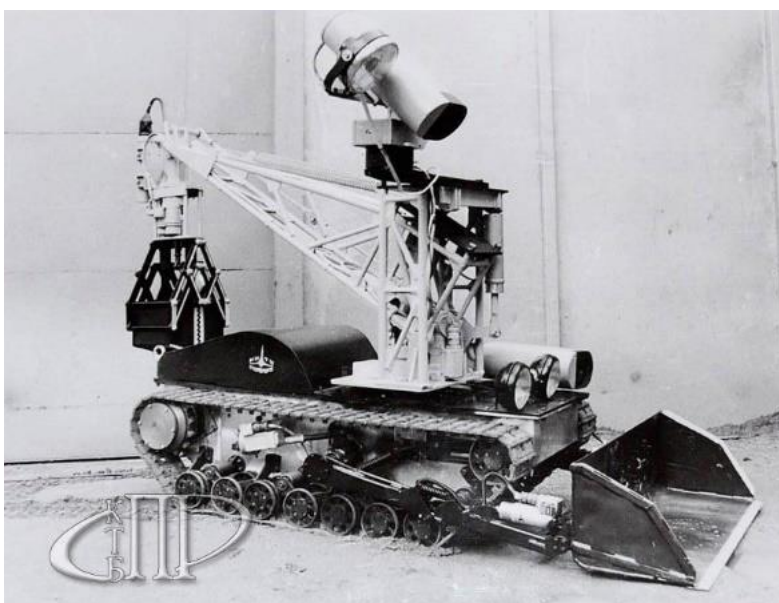


Рис. 4. «Мобот-Ч-ХВ»

В 1986 году для целей разведки был оперативно разработан и изготовлен робот СТР-1 (специальный транспортный робот) (рис. 5). Конструкция робота состояла из трёх модулей: первый – это самоходное гусеничное шасси с установленными на него приборами и оборудованием для движения, второй – бортовой радиотелевизионный комплекс, третий – навесное оборудование в виде отвала для сбора радиоактивных обломков и мусора. Основные технические характеристики СТР-1: масса – 1100 кг; скорость движения около 0,46 км/ч; дорожный просвет (клиренс) — 0,4 м; питание — серебряно-цинковые аккумуляторы; время разряда тяговой батареи — от 8 до 12 часов; дальность устойчивой радиосвязи при прямой видимости — 500 м. Областью применения данного робота были: расчистка завалов, радиационная разведка и визуального осмотра зоны ЧС, благодаря наличию бортовой камеры. Комплекс СТР-1 при выполнении задач на ЧАЭС исключил применение ручного труда в зараженной радиацией зоне более 1000 человек. Известно, что роботами с кровель зоны В разрушенного реактора было удалено более 90 тонн высокорadioактивных элементов [4].



Рис. 5. Робот СТР-1

В настоящее время современные отечественные роботы конструктивно значительно отличаются от ранних прототипов. Они оснащены системами: дистанционного управления; оптическими системами видеонаблюдения с высоким разрешением; тепловизорами и специальными датчиками, способствующими обнаружению очагов возгорания даже в сложных условиях. Одним из важнейших характеристик современных роботов является их мобильность и автономность за счет применения литий ионных аккумуляторов.

Однако не стоит останавливаться на достигнутом, необходимо разрабатывать новые конструкции роботов, повышать уровень автоматизации процессов принятия решений, улучшать взаимодействие с человеком-оператором и внедрять новые технологии связи и передачи данных.

Таким образом, разработка российских пожарных роботов является важным направлением исследований и инноваций, обеспечивающих безопасность населения и защиту материальных ценностей государства от пожара и чрезвычайных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «Моделист-конструктор», №11, 1986
2. <https://propb.ru/calendar/sozdaniya-pervogo-pozharnogo-robota-v-sssr/?ysclid=ml93bfo2ux663200554>
3. <https://firerobots.ru/library/100/pozharnaya-robototekhnika-40-let-ne-voznrast-vse-tolko-nachinayetsya?ysclid=ml93ori9cc546617138#:~:text=>
4. ru.wikipedia.org*
5. Леонова, П. А. Самоходная платформа повышенной проходимости для транспортировки пострадавших / П. А. Леонова, П. В. Пучков // Современные пожаробезопасные материалы и технологии : Сборник материалов VIII международной научно-практической конференции, Иваново, 22 октября 2025 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2025. – С. 237-242.
6. Иванов, В. Е. Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, П. В. Пучков // Пожарная и аварийная безопасность. – 2017. – № 2(5). – С. 53-65.
7. Киселев, В. В. Разработка и применение роботизированных устройств с манипуляторами в пожарной робототехнике / В. В. Киселев, А. А. Сидоров // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика : Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях, Москва, 19 октября 2023 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. – С. 292-296.
8. Анализ конструкций мобильных устройств для тушения ландшафтных пожаров / А. А. Покровский, В. В. Киселев, П. В. Пучков, А. А. Сидоров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 3(52). – С. 53-61.
9. Применение современных систем автоматизированного проектирования в образовательном процессе при подготовке специалистов пожарной охраны / В. Е. Иванов, В. В. Киселев, П. В. Пучков [и др.] // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России: Теория. Инновации. Практика : Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня образования Академии ГПС МЧС России. В 5-ти частях, Москва, 19 октября 2023 года. – Москва: Академия государственной противопожарной службы, 2024. – С. 32-36.
10. Патент на полезную модель № 165103 U1 Российская Федерация, МПК А62С 27/00. Гусеничная пожарная машина : № 2015146347/12 : заявл. 27.10.2015 : опубл. 10.10.2016 / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, О. И. Орлов [и др.] ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий" (ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России).

УДК621.91.01

А.В. Токарев

Филиал АО «Ил»-ВАСО

ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕСНОТЫ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ КОРРЕЛЯЦИИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ИНСТРУМЕНТА

Аннотация: В данной работе дается понятие тесноты связи факторов, влияющих на стойкость инструмента при его испытаниях. При рассмотрении тесноты связи переменных x и y используется понятие коэффициента корреляции. При изучении колеблемости признака в совокупности около средней вычислялся средний квадрат отклонений (дисперсия). Анализировались различные варианты функциональной зависимости переменных в случае наличия или отсутствия корреляционной связи по величине дисперсии. Дана оценка наблюдаемого коэффициента корреляции с указанием на какую-либо корреляцию в общей совокупности с применением критерия Стьюдента.

Ключевые слова: Корреляционный анализ, теснота связи, коэффициент корреляции, достоверность зависимости случайных переменных.

DETERMINATION OF THE TIGHTNESS OF THE CONNECTION BASED ON CORRELATION DURING INSTRUMENT TESTS

A.B. Tokarev

Abstract: In this paper, the concept of the tightness of the connection of factors affecting the durability of the tool during its tests is given. When considering the tightness of the relationship between variables x and y , the concept of a correlation coefficient is used. When studying the fluctuation of a feature, the average square of deviations (variance) was calculated in aggregate near the average. Various variants of the functional dependence of variables were analyzed in the case of the presence or absence of a correlation in terms of variance. An assessment of the observed correlation coefficient is given, indicating any correlation in the total population using the Student's criterion.

Key words: Correlation analysis, tightness of connection, correlation coefficient, reliability of dependence of random variables.

Понятие о тесноте связи. В математическом анализе при исследовании функциональных зависимостей мы встречаемся лишь с проблемой установления формы связей. При корреляционном анализе возникает вторая проблема-определение тесноты связи. Но прежде всего надо выяснить, что именно имеется здесь в виду, так как тесноту зависимости можно рассматривать в различных аспектах [1, с. 40].

В статистической совокупности изменение результата измеряется не разностью его значений в двух случаях, а его вариацией во всей совокупности. Этой вариации не было бы, если бы не было вариаций факторов, определяющих данный результат. Если при этом варьирует только один фактор, то вариация результата полностью сводится к вариации этого фактора. Каждому его значению отвечает определенное значение

результата, а не только определенная величина его средней. Тогда можно сказать, что результат от этого фактора зависит функционально. Если же варьируют и другие факторы, то каждому определенному значению данного фактора отвечает лишь определенная средняя величина. В этом случае говорят, что результат зависит от данного фактора корреляционно. Корреляционная зависимость состоит, таким образом, в функциональной зависимости средней величины одного признака от величины другого. Если же речь идет об индивидуальных значениях результата, то они отклоняются от своей средней величины. Таким образом, вариация данного фактора создает вариацию средних, а вариация остальных факторов - отклонения от этих средних.

Рассмотрим зависимость биения резбонакатных роликов по наружному диаметру после операции прогонки резьбы от биения роликов после операции накатки резьбы [2, с. 20]. Эмпирическое уравнение зависимости следующее:

$$y=0,02+0,61x; r=0,69;$$

где: y -биение резбонакатных роликов после прогонки резьбы; x -биение роликов после накатки резьбы; r -коэффициент корреляции.

Фактические отклонения биения резбонакатных роликов представлены в виде корреляционного поля. Отклонения точек поля от линии регрессии объясняются, очевидно, влиянием прочих факторов. Если бы y полностью определялся аргументом x (т.е. если бы биение резбонакатных роликов после прогонки резьбы полностью зависело только от биения после накатки резьбы), то все точки поля находились бы на линии регрессии; чем сильнее влияние прочих факторов, тем больше отклоняются от линии регрессии точки корреляционного поля. Очевидно также, что средние значения y , лежащие на эмпирической линии регрессии, также имеют то или иное отклонение от теоретической линии регрессии. Таким образом, можно различить вариацию средних по группам от выравненных значений y и вариацию всех фактических значений функции от общего среднего значения [3, с. 32].

Коэффициент корреляции. Теснота связи переменных x и y измеряется особым показателем, называемым коэффициентом корреляции [4, с. 204]. При изучении колеблемости признака в совокупности около средней вычислялся средний квадрат отклонений (дисперсия)

$$\sigma_{\Phi}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}.$$

Аналогичный показатель используем для оценки отклонения величины $y_{\Phi} - \bar{y}_{\Phi}$, т.е. конкретных (фактических) значений y_{Φ} , от средней переменной $\bar{y}_{\Phi}$. Обозначим средний квадрат отклонений величины $y_{\Phi} - \bar{y}_{\Phi}$ через $\sigma_{\Phi/\Phi}^2$, тогда

$$\sigma_{\Phi/\Phi}^2 = \frac{\sum (y_{\Phi} - \bar{y}_{\Phi})^2}{n}.$$

При наличии функциональной связи значения y_{Φ} точно совпадают с соответствующими значениями y_{Φ} . Следовательно, в этом случае $\sigma_{\Phi/\Phi}^2 = 0$. При полном отсутствии связи вариация x не отразится на изменении $\bar{y}_{\Phi}$. В этом случае $\sigma_{\Phi/\Phi}^2 = \sigma_{\Phi}^2$, а

в случае наличия корреляционной связи $\sigma_{в/ф}^2 < \sigma_{\phi}^2$. Следовательно, степень близости $\bar{y}_в$ к y_{ϕ} можно оценить в результате сопоставления величин $\sigma_{в/ф}^2$ и σ_{ϕ}^2 :

$$\frac{\sigma_{\phi}^2 - \sigma_{в/ф}^2}{\sigma_{\phi}^2}.$$

Корень этого выражения называется коэффициентом корреляции:

$$r = \sqrt{\frac{\sigma_{\phi}^2 - \sigma_{в/ф}^2}{\sigma_{\phi}^2}}.$$

В случае функциональной связи, когда $\sigma_{в/ф}^2 = 0$,

$$r = \sqrt{\frac{\sigma_{\phi}^2 - 0}{\sigma_{\phi}^2}} = \pm 1.$$

При полном отсутствии связи, когда $\sigma_{в/ф}^2 = \sigma_{\phi}^2$,

$$r = \sqrt{\frac{\sigma_{\phi}^2 - \sigma_{в/ф}^2}{\sigma_{\phi}^2}} = 0.$$

Так как из правила сложения вариаций следует, что

$$\sigma_{\phi}^2 - \sigma_{в/ф}^2 = \sigma_{в}^2,$$

то

$$r = \sqrt{\frac{\sigma_{в}^2}{\sigma_{\phi}^2}}.$$

Теснота зависимости результата от одного из влияющих на него признаков определяется:

- вариацией самого признака;
- размером изменения результата при изменении этого признака на единицу;
- вариацией самого результата под влиянием других признаков.

Оценка коэффициента корреляции. При решении вопроса, будет ли наблюдаемый коэффициент корреляции r указывать на какую-либо корреляцию в общей совокупности, применяется критерий t . В рассматриваемом случае

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{n-2}$$

и имеет распределение Стьюдента с $n-2$ степенями свободы. Чтобы установить, является ли значение r значимым, делаем предположение, что случайные величины x

и y в общей совокупности являются некоррелированными. Если полученное по этой формуле значение t будет превосходить табличное значение [5, с. 149], соответствующее принятому уровню значимости, то сделанное предположение о некоррелированности случайных величин в общей совокупности является необоснованным. Из данной зависимости вытекает следующая зависимость:

$$|r| > \frac{t}{\sqrt{t^2 + n - 2}},$$

т.е. абсолютное значение полученного коэффициента корреляции должно быть больше правой части неравенства, тогда можно утверждать о достоверности зависимости случайных переменных x и y .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айвазян С.А. Применение методов корреляционного и регрессионного анализов к обработке результатов эксперимента. // Машиностроитель. – 1977 - №9 - С. 39-41.
2. Браунли К.А. Статистические исследования в производстве. // Машиностроитель. – 1981 - №11 - С. 19 -25.
3. Кацев П.Г. Применение математической статистики к исследованию режущего инструмента / П. Г. Кацев, В.И. Сиськов / -Станки и инструмент – 1976 №1 -С. 31-33.
4. Лукомский Я. И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства / Я. И. Лукомский - Москва: Госстатиздат, 1961, - С. 237.
5. Кацев П.Г. Статистические методы исследования режущего инструмента //Москва: Машиностроение, 1968, -С. 153.

УДК 691.841

А.В. Топоров

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАСЧЁТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ГОРЕНИИ РЕЗЕРВУАРОВ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация: В статье рассматривается применение метода конечных элементов для анализа распределения температур при горении резервуаров с нефтепродуктами. Описаны особенности моделирования тепловых процессов, включая формирование прогретых и гомотермических слоёв, влияние граничных условий и динамику выгорания. Приведены результаты расчётов в программе AGROS, демонстрирующие характер распределения температуры по стенке резервуара и внутри жидкости. Отмечены основные допущения модели и направления для дальнейшего повышения точности расчётов.

Ключевые слова: резервуар, пожар, хранение нефтепродуктов, распределение температур, метод конечных элементов

A.V. Toporov

CALCULATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTION DURING BURNING OF OIL RESERVOIRS USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Abstracts: he article discusses the application of the finite element method for analyzing temperature distribution during the combustion of oil product tanks. It describes the features of modeling thermal processes, including the formation of heated and homothermal layers, the influence of boundary conditions, and the dynamics of combustion. The article presents the results of calculations performed in the AGROS program, which demonstrate the temperature distribution along the tank wall and within the liquid. The article highlights the main assumptions of the model and suggests ways to further improve the accuracy of calculations.

Keywords: tank, fire, oil product storage, temperature distribution, finite element method.

Горение резервуаров с нефтепродуктами — сложный и опасный процесс, сопровождающийся интенсивным тепловыделением, формированием высокотемпературного факела пламени и значительным прогревом как самой жидкости, так и конструкций резервуара. Для анализа температурных полей и прогнозирования поведения конструкций при пожаре широко применяется метод конечных элементов [1, 2], позволяющий учитывать сложные граничные условия, неоднородность материалов и динамику процесса горения.

При моделировании горения резервуара с нефтепродуктами методом конечных элементов рассматривается задача теплопроводности без учёта конвекции и излучения. Эти допущения заметно снижают точность вычислений, но их учет требует привлечения значительных вычислительных мощностей, что не всегда доступно.

Граничные условия на поверхности жидкости и стенках резервуара формируются с учётом теплопередачи от разогретой области над зеркалом жидкости.

В начальный момент горения на поверхности жидкости формируется тонкий прогретый слой, температура которого близка к температуре кипения жидкости. В дальнейшем возможно образование гомотермического слоя, когда температура по толщине слоя практически одинакова и растёт во времени. Толщина и параметры слоя зависят от марки нефтепродуктов и могут значительно отличаться друг от друга. Также не учитывается скорость ветра, хотя она существенно влияет на форму и высоту пламени, а также на интенсивность теплообмена. При скорости ветра более 4 м/с факел отклоняется от вертикали, что увеличивает тепловое воздействие на соседние конструкции.

Метод конечных элементов позволяет разбить конструкцию резервуара и прилегающие зоны на конечные элементы, для каждого из которых решается система уравнений теплопереноса с учётом граничных условий.

В качестве граничных условий задаются температуры факела пламени (1000–1500 °C), коэффициенты теплоотдачи, лучистые потоки, а также динамика выгорания жидкости. Расчеты производились в программе AGROS.

МКЭ позволяет моделировать не только стационарные, но и переходные процессы, что особенно важно при анализе аварийных ситуаций.

В первые минуты пожара температура стенки быстро возрастает, особенно в верхней части резервуара. В данном расчете принят установившийся режим, когда конструкция резервуара, жидкость и окружающий воздух достигли определенной температуры.

Для жидкостей с высокой температурой кипения (мазут, дизельное топливо) прогрев осуществляется в основном теплопроводностью, для легкокипящих — возможно формирование гомотермического слоя. При расчетах принимали, что резервуар заполнен мазутом. На рисунке 1 представлена картина тепловых полей при горении резервуара с мазутом. Белая область в верхней части резервуара — зона максимальной температуры. Предполагается, что горение происходит именно там. Расчеты процессов в этой области не производились. Это еще одно допущение.

Как видим из рис. 1 в поверхностном слое нефтепродуктов внутри резервуара формируется зона с максимальной температурой, которая по мере выгорания жидкости перемещается вниз.

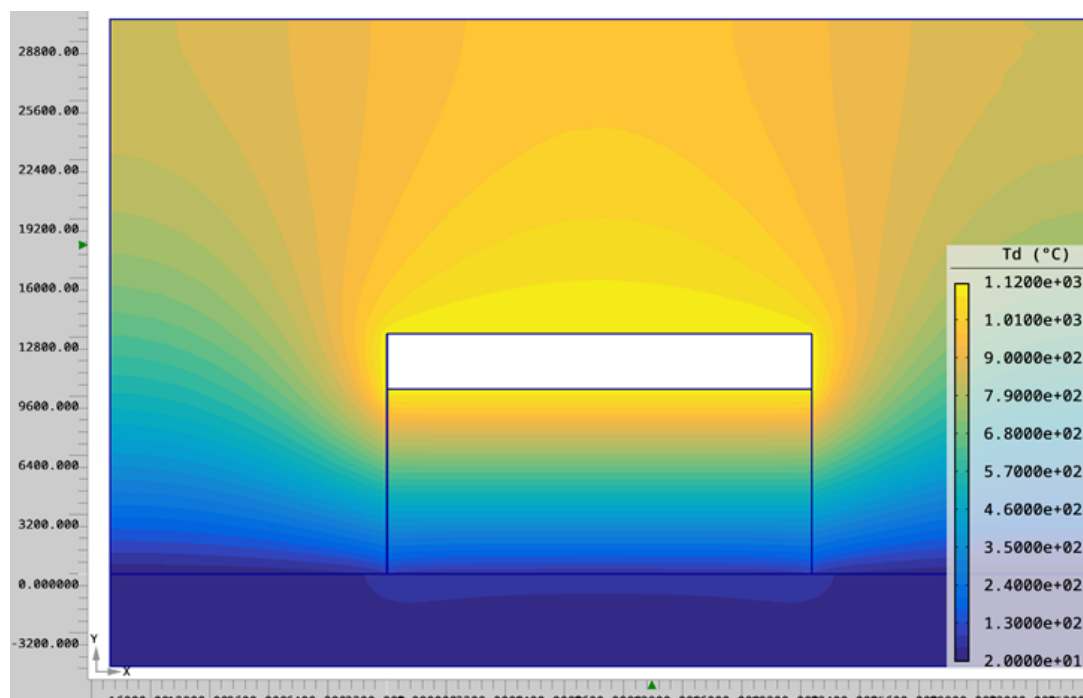


Рис. 1. Картина тепловых полей при горении резервуара с мазутом

На рис. 2 представлен график распределения температуры по высоте стенки резервуара. Непосредственно изменение температуры показывает наклонная часть графика. Горизонтальный участок — зона горения, возникает из-за особенностей и упрощений расчетной модели. Некоторое снижение температуры соответствует области над резервуаром. Интересной особенностью является практически линейное распределение температуры по высоте стенки резервуара. Такое же распределение было получено при построении подобного графика по центральной оси (здесь не представлен). Причем, температура стенки на уровне земли составляет порядка 100 °C, что может повлечь закипание донных вод.

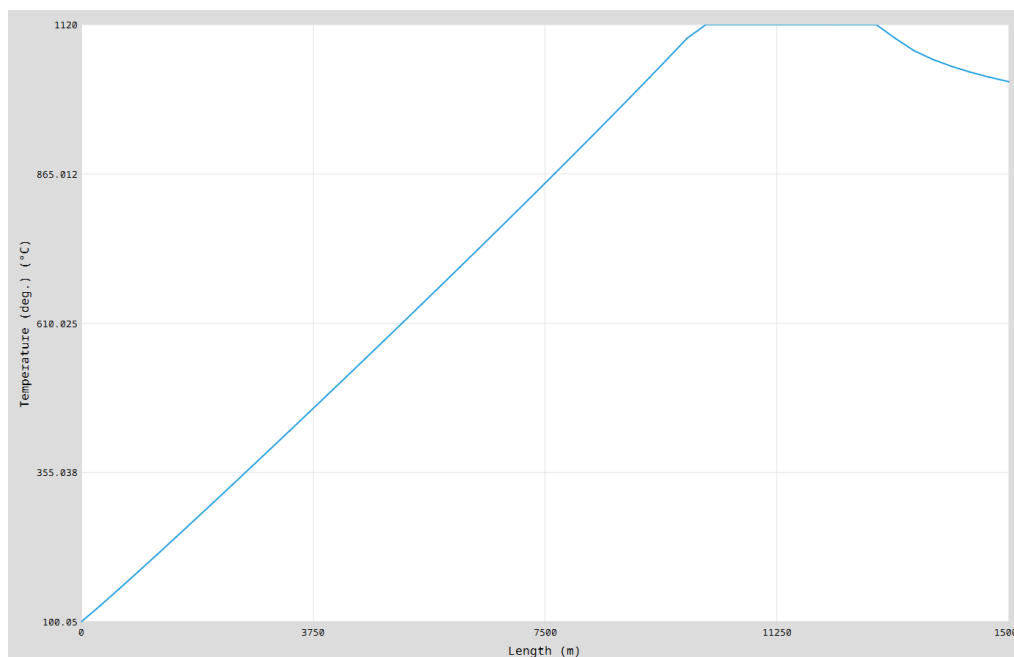


Рис. 2. Кривая распределения температуры по поверхности внешней стенки резервуара при горении мазута

Приведенные здесь данные являются лишь начальным этапом работы, и призваны продемонстрировать принципиальную возможность использования метода конечных элементов для расчета распределения температур при пожарах на резервуарах с нефтепродуктами.

Для повышения точности моделирования необходимо учитывать реальные свойства нефтепродуктов, динамику выгорания, влияние ветра и эффективность охлаждения.

МКЭ позволяет в дальнейшем оптимизировать системы противопожарной защиты, выбирать места для установки датчиков температуры и проектировать системы охлаждения.

Метод конечных элементов является мощным инструментом для анализа распределения температуры при горении резервуаров с нефтепродуктами. Он позволяет учитывать сложные физические процессы, прогнозировать поведение конструкций и разрабатывать эффективные меры по предотвращению аварийных ситуаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Топорова, П. А. Использование термитных смесей для разрезания тонколистового металла / П. А. Топорова, А. В. Топоров, Е. А. Топорова // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 14 апреля 2022 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам

гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2022. – С. 263-266.

2. Топорова, П. А. Расчет тепловых полей при термитной резке тонколистового металла / П. А. Топорова, А. В. Топоров // Общенаучные проблемы инженерной подготовки кадров МЧС России : Сборник трудов XXXII Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2022 года. Том Секция 14. – Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. – С. 136-139.

УДК 66.063.8

О.В. Чагин, А.А. Пятачков, М.Ю. Колобов

Ивановский государственный химико-технологический университет

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУЧЕНИЯ ЭМУЛЬСИИ В СТАТИЧЕСКОМ СМЕСИТЕЛЕ ВИХРЕВОГО ТИПА

Аннотация: Представлен механизм дробления капель масла в воде при турбулентном течении смешиваемых жидкостей в разработанном смесителе. Представлены результаты исследования качества полученной эмульсии вода-масло в статическом смесителе.

Ключевые слова: статический смеситель, качество смешения, ячейка смешивающего элемента, коэффициент вариации, критерий Вебера

O.V. Chagin, A.A. Pyatachkov, M.Yu. Kolobov

EXPERIMENTAL STUDY OF EMULSION PRODUCTION IN A STATIC VORTEX-TYPE MIXER

Abstract: The mechanism for breaking up oil droplets in water during turbulent flow of mixed liquids in the developed mixer is presented. The results of a study on the quality of the resulting water-oil emulsion in a static mixer are presented.

Keywords: static mixer, mixing quality, mixing element cell, coefficient of variation, Weber criterion

Процесс перемешивания является одним из самых распространенных в химической технологии и смежных с ней отраслях промышленности [1]. Среди множества аппаратов с перемешивающими устройствами широкое применение нашли статические смесители. Принцип действия статических смесителей основан на многократном рассечении движущегося потока смесительными элементами на отдельные струи, которые перемешиваются друг с другом. Полученная тонкослойная структура потока далее усредняется вследствие влияния турбулентных пульсаций различных масштабов, величина которых определяется конструкцией смесительного устройства [2, 3].

При разработке конструкции статического смесителя особый упор делается на конструкцию внутренних смесительных элементов, определяющих основные параметры смесителя: качество смешения и его гидравлическое сопротивление.

На кафедре ТМиО ИГХТУ создана экспериментальная установка для исследования процесса смешения с использованием статического смесителя.

В качестве критерия эффективности работы статического смесителя выбран процесс получения достаточно однородной по размерам частиц эмульсии. В качестве смешиваемых сред использовались вода и растительное масло. Концентрация масла в полученной эмульсии составляла 2,5%. Анализ эмульсии производился на лазерном дифракционном анализаторе «Analysette 22», который позволял определить распределение размеров частиц масла в эмульсии. В качестве смесительного устройства использовалась пакетная вихревая насадка (ПВН).

Смесительное устройство работает следующим образом: жидкость попадает внутрь ячейки через фронтальный и боковые каналы и распределяется равномерно по ее внутреннему объему вихревым движением жидкости, который образуется в результате взаимодействия потоков жидкости, попадающих внутрь ячейки через эти каналы. На выходе из ячейки поток жидкости делится опять на три потока и покидает ячейку смесительного элемента через два боковых и один фронтальный канал. Перед тем, как поступить в ячейку следующего слоя смесительного устройства, потоки сталкиваются друг с другом, образуя сложное вихревое движение, которое также характеризуется большими скоростями сдвига. Вихревое движение потоков усредняет их характеристики и усредненный поток поступает на вход ячейки следующего слоя ячеек смесительного устройства. Если напряжения сдвига вихревого движения потока превосходят силу поверхностного натяжения попавшей в этот вихрь капли, то эта капля дробится. Вихревое движение внутри ячейки характеризуется большими скоростями сдвига, которые позволяют существенно понизить эффективную вязкость в жидкости [4].

Форма ячейки приводит к разделению потоков на входе и выходе из нее на равные части, каждая из которых поступает в соседние ячейки следующего слоя ячеек смесительного устройства, тем самым достигается изотропность потоков по поперечному сечению аппарата (рис. 1). Отсутствие прямолинейных каналов вдоль оси всех ячеек смесительного устройства полностью исключает вероятность проскоков отдельных струй жидкости без их активного взаимодействия друг с другом. Поскольку сопротивление ячеек в пакете одинаково, то жидкая среда распределяется по всем ячейкам слоя равномерно.

Явления, которые происходят в одной ячейке, также характерны и для других соседних ячеек. Многократное дробление жидкостного потока, а также изменение направления движения потоков внутри смесительного устройства являются

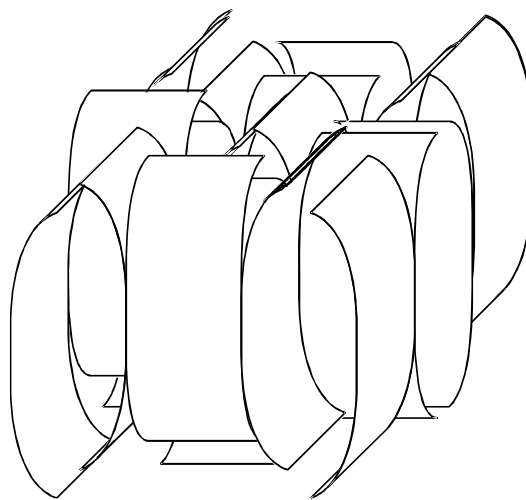


Рис. 1. Общий вид
контактного устройства

основными факторами, которые приводят к увеличению дисперсности смешиваемых сред.

В существующих теориях «разрушения капель» считается, что интенсивность дробления капель характеризуется значением критерия Вебера [5]. В данной работе рассчитывался приведенный критерий Вебера:

$$We^i = \frac{\rho \cdot b \cdot U^2}{\sigma}, \quad (1)$$

где ρ – плотность смеси; b – характеристический размер, равный поперечному размеру ячейки смесительного устройства; U – средняя скорость движения смеси по сечению ячейки; σ – коэффициент поверхностного натяжения.

При обработке экспериментальных данных методом наименьших квадратов была получена зависимость средних диаметров получаемых частиц капель масла в воде в зависимости от режима движения жидкой фазы и количества вихревых ячеек по длине аппарата. В данном уравнении используется приведенный критерий Вебера, как критерий разрушения капли:

$$\frac{\bar{d}}{b} = 3,33 We^{-0,35} Re^{-0,1} n^{-2,4}, \quad (2)$$

где $\bar{d}$ – средний диаметр получаемых частиц капель масла в воде, м; b – характеристический размер, равный поперечному размеру ячейки смесительного устройства, м; n – число ячеек смесительного устройства по длине аппарата; We^i – приведенный критерий Вебера; Re – критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{U b \rho}{\mu}, \quad (3)$$

где U – средняя скорость движения смеси по сечению ячейки, м/с; ρ – плотность смеси; μ – коэффициент динамической вязкости смеси, Па·с.

Критерий Re изменялся в пределах 5450–10400, критерий We^i изменялся в пределах 86,6–339,7, что соответствовало скорости потока жидкости по сечению ячейки смесительного элемента 0,51–1,01 м/с. Количество ячеек n смесительного устройства по длине аппарата менялось от 18 до 42. Среднее отклонение расчетных и экспериментальных данных составляет 12 %. Максимальное отклонение – 21 %.

Средний диаметр полученных капель масла в воде дает только общую усредненную оценку дисперсности, которой недостаточно для полной характеристики полидисперсной системы, поскольку при одном и том же среднем диаметре капли возможны различные варианты распределения диаметров капель по размерам в получаемой смеси. В связи с этим возникает также необходимость получения зависимости, по которой можно было бы прогнозировать распределение капель по размерам в смеси без постановки достаточно трудоемких экспериментов.

Для этой цели применяют среднеквадратичное отклонение или коэффициент вариации. Последний – более предпочтителен для процессов смешения, так как характеризует относительную меру среднеквадратичного отклонения измеренного значения от среднего значения.

При обработке полученных результатов экспериментальных исследований методом наименьших квадратов была получена зависимость качества смешения взаимно нерастворимых жидкостей в статическом смесителе в зависимости от режимов течения жидкой фазы и количества вихревых ячеек по длине аппарата:

$$V_{ва} = 3,26 Re^{-0,1} We^{-0,04}, \quad (4)$$

где $V_{вар}$ – коэффициент вариации; n – число ячеек смесительного устройства по длине аппарата; We – приведенный критерий Вебера; Re – критерий Рейнольдса.

Критерий Re изменялся в пределах 5450–10400. Количество ячеек n смесительного устройства по длине аппарата менялось от 18 до 42.

Среднее отклонение расчетных и экспериментальных данных составляет 14 %. Максимальное отклонение – 24 %.

Исследования процесса эмульгирования водно-масляной смеси в статическом смесителе с пакетно-вихревой насадкой в качестве смешивающего устройства показали, что даже при максимальной скорости течения жидкостей немногим большей 1 м/с возможно получить достаточно однородную по размерам капель эмульсию.

Показано также, что коэффициент вариации распределения капель по размерам уменьшается как с увеличением критерия Вебера, так и числа вихревых ячеек по длине насадки.

Предлагаем качество смешения жидкостей оценивать по значению коэффициента вариации размеров капель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бальмонт Д.С., Гуюмджан П.П., Бальмонт Т.М. Исследование механизмов процесса перемешивания жидких сред // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. Иваново. 2009. №3. С. 65-67.
2. Сиволоцкий М.О., Чагин О.В., Блиничев В.Н., Колобов М.Ю. Математическое описание процесса смешения в статистическом смесителе с использованием вихревого смешивающего устройства. Российский химический журнал. 2019. т. LXIII. № 3-4. С. 80-85. DOI: 10.6060/rcj.2019633.11
3. Блиничев В.Н., Лабутин А.Н., Зуева Г.А., Колобов М.Ю., Алексеев Е.А., Волкова Г.В., Воробьев С.В., Козлов А.М., Кокурина Г.Н., Лысова М.А., Миронов Е.В., Натарева С.В., Невиницын В.Ю., Пономарева Ю.Н., Постникова И.В., Сахаров С.Е., Чагин О.В. Проблемы разработки энерго- и ресурсосберегающих процессов, реакторных систем и оборудования интенсивного действия, моделирования и оптимального управления. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 185-202. DOI: 10.6060/ivkkt.20236607.6845j
4. Форст У., Моулден Т. Турбулентность, принципы и применение. Москва: Мир, 1980. 535 с.
5. Бойко В.М., Поплавский С.В. Физическая модель разрушения капли за ударной волной по срывным механизмам // Международная конференция «Современные проблемы прикладной математики и механики: теория, эксперимент и практика, посвященная 90-летию со дня рождения академика Н.Н.Яненко» (Россия,

Новосибирск, 30 мая – 4 июня 2011 г.): Тез.докл. Новосибирск: Академгородок, 2011. С. 114.

УДК 66(075.8)

В.М. Чухнин¹, А.А. Рябиков¹, С.В. Натарева^{1,2}

¹Ивановский государственный химико-технологический университет

^{1,2}Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАСЧЕТ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА КОЛОННОГО ТИПА

Аннотация: предложено математическое описание химической реакции в реакторе колонного типа. Разработанная модель позволяет рассчитать распределение концентрации получаемого продукта по высоте аппарата. Модель рекомендована для практического применения.

Ключевые слова: химическая реакция, аппарат колонного типа, математическая модель.

V.M. Chukhnin, A.A. Ryabikov, S.V. Natareev

CALCULATION OF A COLUMN-TYPE CHEMICAL REACTOR

Abstracts: a mathematical description of a chemical reaction in a column-type reactor has been proposed. The developed model allows for the calculation of the distribution of the product concentration along the height of the apparatus. The model is recommended for practical application.

Keywords: chemical reaction, column-type apparatus, mathematical model.

Химические реакторы в химической промышленности относятся к основному технологическому оборудованию для осуществления химических превращений исходного сырья в целевые продукты. При этом в данных аппаратах химические реакции могут сочетаться с массо- и теплопереносом [1].

Химические реакторы классифицируются по разным признакам [1]. В зависимости от организации процесса реакторы бывают периодического, непрерывного и полупериодического действия. По тепловому режиму реакторы делятся на адиабатические, изотермические, политропные и автотермические. В зависимости от способа организации теплообмена различают реакторы с внутренним, внешним и комбинированным теплообменом. По конструктивным особенностям различают емкостные и колонные реакторы, а также реакторы типа реакционной печи (трубчатые, шахтные, камерные и др.). По фазовому состоянию реакционной смеси реакторы предназначены для проведения гомогенных и гетерогенных процессов. Среди данных аппаратов обычно выделяют реакторы для проведения гетерогенно-каталитических процессов. Химические реакторы по режиму движения компонентов делятся на реакторы идеального вытеснения (РИВ), идеального смешения (РИС) и промежуточного типа (РПТ).

К современным промышленным реакторам предъявляются следующие требования: максимальная производительность и интенсивность работы; высокий выход продукта и наибольшая селективность процесса; минимальные энергетические

затраты на перемешивание и транспортировку материалов через реактор; легкая управляемость и безопасность работы, низкая стоимость изготовления и ремонта; устойчивость работы при значительных изменениях параметров технологического процесса [2].

Несмотря на все принимаемые меры по обеспечению безопасности, полностью исключить вероятность возникновения химических аварий невозможно. При проведении химических реакций могут быть использованы токсичные, горючие и агрессивные вещества. Также необходимо учитывать экстремальные условия проведения процесса, например, высокие температура и давление, сильные электрические или магнитные поля, сверхвысокий вакуум и др. [3]. При аварии на химически опасном объекте действуют такие поражающие факторы, как пожары, взрывы, химическое заражение воздуха, оборудования и ограждающих конструкций, а также за пределами объекта – заражение окружающей среды [4].

Одним из эффективных способов прогнозирования аварий при работе химически опасного оборудования является математическое моделирование, предполагающее замену исходного объекта его «образом» - математической моделью и дальнейшее изучение модели на компьютерах с помощью вычислительных алгоритмов [5]. К достоинствам метода математического моделирования можно отнести возможность исследования сложных систем, не проводя дорогостоящих экспериментов, абстрагирование от второстепенных факторов, явлений и выделение наиболее важных свойств объекта, получение новых знаний об объекте моделирования, взаимосвязях между его элементами и внешней (окружающей) средой [6].

В работе рассматривается математическое описание химической реакции, протекающей в реакторе колонного типа. Схема работы аппарата показана на рис. 1.

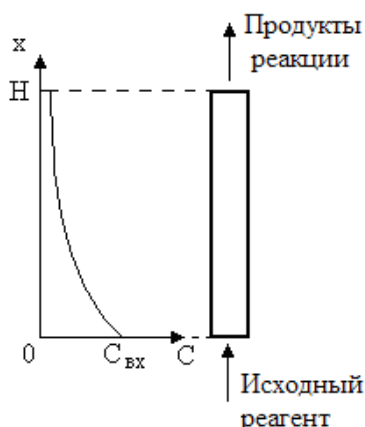


Рис. 1. Схема движения потока и профиль изменения концентрации реагента в реакторе колонного типа

Предполагаем, что в аппарате высотой H протекает химическая реакция первого порядка. Аппарат работает в стационарном неизменном во времени режиме. Структура движения потока раствора описывается однопараметрической диффузионной моделью, которая соответствует гидродинамической структуре поршневого потока с перемешиванием в продольном направлении. В аппарат поступает раствор с исходной концентрацией $C_{вх}$. Необходимо найти распределение концентрации реагента по высоте аппарата.

Примем, что направление движения потока в реакторе совпадает с направлением продольной координаты $0x$. Запишем уравнение, описывающее процесс изменения концентрации реагента по высоте аппарата:

$$-w \frac{dC}{dx} + D_x \frac{d^2 C}{dx^2} - kC = 0, \quad (1)$$

где C – концентрация раствора, k – константа скорости химической реакции; w – скорость потока; D_x – коэффициент продольного перемешивания; x – координата.

Для решения дифференциального уравнения (1) используем граничные условия:

$$C|_{x=0} = C_{\text{BX}}; \quad (2)$$

$$\left. \frac{dC}{dx} \right|_{x=H} = 0. \quad (3)$$

Введем безразмерные переменные:

$$N = \frac{C}{C_{\text{BX}}}; \quad z = \frac{x}{H}; \quad E = \frac{kHPe}{w}; \quad Pe = \frac{wH}{D_x}. \quad (4)$$

В новых переменных (4) система уравнений (1)-(3) запишется так:

$$\frac{d^2 N}{dz^2} - Pe \frac{dN}{dz} - EN = 0; \quad (5)$$

$$N|_{z=0} = 1; \quad (6)$$

$$\left. \frac{dN}{dz} \right|_{z=1} = 0. \quad (7)$$

Характеристическое уравнение для уравнения (5) имеет вид [7]:

$$r^2 - Pe r - E = 0. \quad (8)$$

Его решение есть:

$$r_{1,2} = \frac{Pe}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{Pe}{2}\right)^2 + E}. \quad (9)$$

Общее решение уравнения (5) имеет вид:

$$N = A_1 e^{r_1 z} + A_2 e^{r_2 z}. \quad (10)$$

Константы A_1 и A_2 найдем, используя граничные условия (6) и (7).
Подстановка $z=0$ и $N=1$ в уравнении (10) дает:

$$1 = A_1 + A_2. \quad (11)$$

Дифференцируем уравнение (10):

$$\frac{dN}{dz} = r_1 A_1 e^{r_1 z} + r_2 A_2 e^{r_2 z}. \quad (12)$$

Так как $\frac{dN}{dz} = 0$ при $z=1$, то:

$$r_1 A_1 e^{r_1} + r_2 A_2 e^{r_2} = 0. \quad (13)$$

Из уравнений (11) и (13) находим:

$$A_1 = -\frac{r_2 e^{r_2}}{r_1 e^{r_1} - r_2 e^{r_2}}; \quad (14)$$

$$A_2 = \frac{r_1 e^{r_1}}{r_1 e^{r_1} - r_2 e^{r_2}}. \quad (15)$$

Подставляя значения A_1 и A_2 в уравнение (10), получим искомое решение задачи, которое запишем в прежних переменных:

$$N(x) = \frac{C(x)}{C_{\text{вх}}} = \frac{1}{r_1 e^{r_1} - r_2 e^{r_2}} \left(r_1 e^{r_1 + r_2 \frac{x}{H}} - r_2 e^{r_2 + r_1 \frac{x}{H}} \right). \quad (16)$$

Уравнение (16) позволяет рассчитать кривую изменения безразмерной концентрации раствора по высоте аппарата. Расчет выполнен при следующих условиях проведения процесса: объемный расход раствора $Q = 10^{-4}$ м³/с; концентрация исходного раствора $C_{\text{вх}} = 1$ моль/м³; высота аппарата $H = 1$ м; диаметр аппарата $D_a = 0,3$ м; коэффициент продольного перемешивания $D_x = 0,02$ м²/с; константа скорости химической реакции $k = 0,5$ 1/с. Результаты расчета приведены на рис. 2.

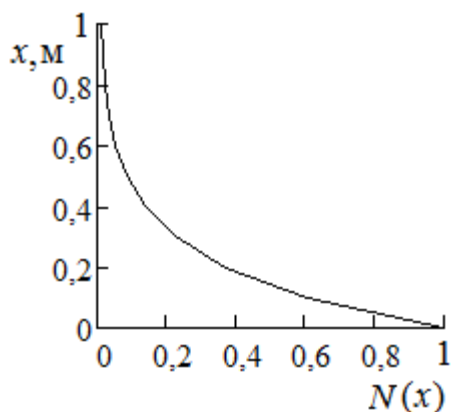


Рис. 2. Кривая изменения
безразмерной концентрации раствора
по высоте аппарата

Разработанная математическая модель позволяет рассчитать изменение концентрации раствора по высоте аппарата в зависимости от технологических и конструктивных параметров. Она также может быть применена для прогнозирования работы аппарата в экстремальных условиях, когда необходимо принять соответствующие меры по предотвращению аварийной ситуации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кoryтцева А.К., Петков В.И. Химические реакторы. Введение в теорию и практику. СПб.: Лань, 2022. 112 с.
2. Levenspiel O. Chemical reaction engineering. 3 rd edition. New York: John Wiley & Sons. 1998. 684 p.
3. Акинин Н.И., Маринина Л.К., Васин А.Я. и др. Безопасность жизнедеятельности в химической промышленности: учебник. Под общ. ред. Н.И. Акинина. СПб.: Лань, 2022. 448 с.
4. Фармазов С.А. Охрана труда при эксплуатации и ремонте оборудования химических и нефтехимических предприятий. М.: Химия, 1985. 224 с.
5. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. М.: Изд-во Юрайт, 2025. 400 с.
6. Гумеров А.М. Математическое моделирование химико-технологических процессов. СПб.: Лань, 2014. 176 с.
7. Степучев В.Г. Дифференциальные уравнения второго порядка: Учебное пособие для вузов. СПб: Лань, 2022. 180 с.

УДК 691.115

Т.В. Шмелева¹, Е.В. Зарубина², Д.С. Репин², О.Е. Земеров²

¹ Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

² Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

О ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СКОРОСТЯМИ ВЫХОДА МАТЕРИАЛА И ФОРМИРОВАНИЕМ НАСТИЛА

Аннотация: Выравнивание воздушного потока для равномерности распределения волокнисто-содержащей массы при изготовлении теплоизоляционного пожаробезопасного строительного материала из отходов деревообрабатывающей, сельскохозяйственной промышленности.

Ключевые слова: строительный материал, экологичность, теплоизоляционный материал, пожаробезопасный материал.

T.V. Shmeleva, E.V. Zarubina, D.S. Repin, O.E. Zemerov

ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE SPEEDS OF MATERIAL EMERGENCE AND PLANK FORMATION

Abstracts: Equalization of the air flow for uniform distribution of the fiber-containing mass in the manufacture of heat-insulating fireproof building material from waste from the woodworking and agricultural industries.

Keywords: building material, environmental friendliness, thermal insulation material, fireproof material.

В зоне съёмного механизма и выходом из бункерного питателя [1], происходит провисание материала под действием собственного веса. В процессе перемещения материала по определённой криволинейной траектории он подвергается воздействию сопротивления воздушной среды и центробежных сил, которые оказывают растягивающее воздействие, приводя к увеличению его первоначальной длины. По мере возрастания скорости движения материала наблюдается пропорциональное увеличение интенсивности действующих на него сил, что, в свою очередь, вызывает дополнительное удлинение материала.

Для обеспечения нормальной работы этой зоны устройству [1] необходимо чёткое согласование скорости рабочих органов на входе материала в зону и выходе из неё, как на рис. 1, учитывающее выборку из зоны действия механизмов 2, 3 [1] с увеличением длины, то есть необходимо найти аналитическое выражение, связывающее скорость движения материала с вытяжкой в зоне его вывода, при которой элемент материала будет прямолинейным. Для достижения данной цели в зону выхода устройства [1] будут интегрированы подвижные стенки, которые будут способствовать стабилизации движения [2] сыпучих элементов. Это позволит существенно оптимизировать процесс выхода материала [3], обеспечивая его более эффективное и предсказуемое функционирование.

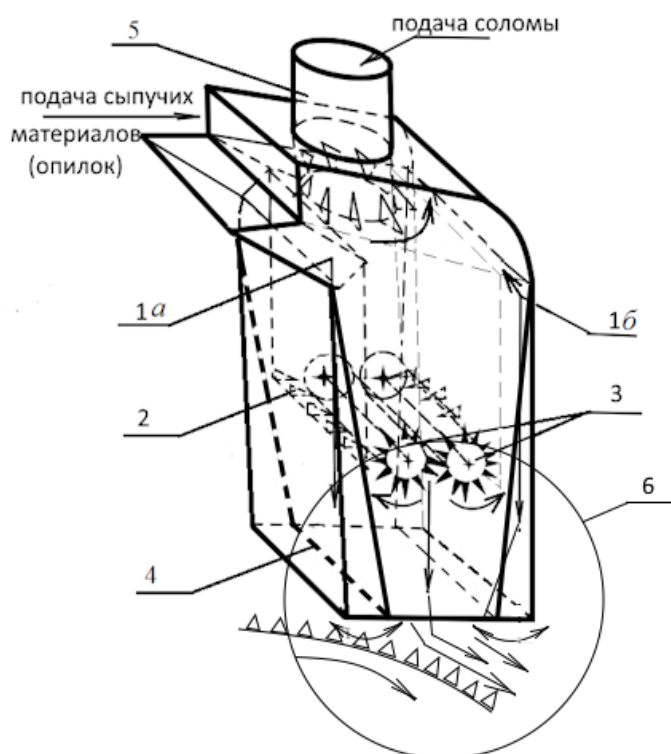


Рис. 1. Устройство формирования материала

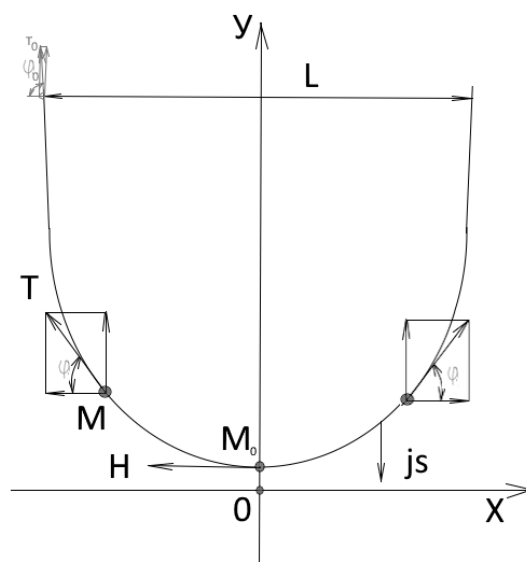


Рис. 2. Модель, описывающая движение материала, при выходе из устройства бункера в зоне 6

Определим форму провисания элемента плитного материала в статическом состоянии без его натяжения за счёт вытяжки [4-6], которая будет определяться лишь его собственным весом.

На рис. 2: Т - натяжение материала в точке М, действующее по касательной и составляющее с осью ОХ угол φ ; Н - натяжение в точке М₀, действующее горизонтально; js - вес материала, направленный вертикально вниз из центра дуги М₀М, где j - линейный удельный вес, s - длина дуги М₀М.

Из рис.2 видно, что $T \cdot \cos\varphi = H$, а $T \cdot \sin\varphi = js$. Поделив второе уравнение на первое, получим: $\operatorname{tg}\varphi = js/H$.

$\operatorname{tg}\varphi$ - тангенс угла наклона касательной в точке М к натянутому материалу, поэтому

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{dy}{dx}.$$

$$\text{Обозначим через } \alpha = H/j, \text{ получим } \frac{dy}{dx} = \frac{1}{\alpha} s \quad (1)$$

Продифференцируем (1) по Х:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{ds}{dx}.$$

Из математического анализа известно

$$\frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}. \quad (2)$$

С учётом (2) получим

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2}.$$

Сделаем подстановку

$$P = \frac{dy}{dx}, \quad \text{тогда} \quad \frac{dP}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2}.$$

Дифференциальное уравнение примет вид:

$$\frac{dP}{dx} = \frac{1}{\alpha} \sqrt{1 + P^2}. \quad (3)$$

Разделяя в последнем уравнении (3) переменные, получим:

$$\frac{dP}{\sqrt{1 + P^2}} = \frac{1}{\alpha} dx. \quad (4)$$

Проинтегрируем последнее уравнение (4), получим:

$$\int \frac{dP}{\sqrt{1 + P^2}} = \frac{1}{\alpha} \int dx; \quad \ln|P + \sqrt{1 + P^2}| = \frac{1}{\alpha} \cdot x;$$

После потенцирования и использования для простоты известные гиперболические функции, получим новое дифференциальное уравнение, после интегрирования которого найдём общее решение:

$$y = \alpha ch\left(\frac{x}{\alpha} + c_1\right) + c_2.$$

Пользуясь известной формулой для нахождения длины дуги кривой, заданной в явном виде, найдём выражение длины дуги s_1 элемента плитного материала от линии вывода из механизмов 2, 3 [1] до уплотняющего валика:

$$S_1 = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \sqrt{1 + (y')^2} dx = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \sqrt{1 + sh^2\left(\frac{x}{\alpha}\right)} dx = \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} ch \frac{x}{\alpha} dx = 2 \int_0^{\frac{L}{2}} ch \frac{x}{\alpha} dx = 2\alpha sh \frac{x}{\alpha} \Big|_0^{\frac{L}{2}} = 2\alpha sh \frac{L}{2\alpha}$$

Таким образом, длина дуги элемента плитного материала будет

$$S_1 = 2\alpha sh \frac{L}{2\alpha}. \quad (5)$$

Найдём центробежную силу ΔF_u , которая действует на элементарную массу Δm , сосредоточенную в окрестности точки M , в предположении, что этот элемент массы движется со скоростью транспортёров V_1 .

$$\Delta F_u = \frac{\Delta m V_1^2}{\rho},$$

где ρ - радиус кривизны кривой в точке M , который определяется по формуле:

$$\rho = \frac{[(y')^2 + 1]^{\frac{3}{2}}}{y''}$$

Элементарная масса Δm , приходящаяся на элементарную дугу Δs кривой, равна:

$$\Delta m = \gamma \Delta s = \gamma \sqrt{1 + (y')^2} \cdot \Delta x.$$

Найдём теперь суммарную силу F_u , действующую на элемент материала вдоль всей длины дуги

$$\Delta F_u = \frac{V_1^2 \gamma}{\alpha} \int_{-\frac{L}{2}}^{+\frac{L}{2}} \frac{dx}{ch\left(\frac{x}{\alpha}\right)} = \frac{2V_1^2 \gamma}{\alpha} \int_0^{\frac{L}{2}} \frac{dx}{ch\left(\frac{x}{\alpha}\right)} = \frac{2\alpha \cdot 2V_1^2 \gamma}{\alpha} \operatorname{artg}\left(e^{\frac{x}{\alpha}}\right) \Big|_0^{\frac{L}{2}} = 4V_1^2 \gamma \cdot \operatorname{artge}^{\frac{x}{\alpha}} \Big|_0^{\frac{L}{2}} = 4V_1^2 \gamma \cdot \operatorname{artge}^{\left(\frac{L}{2\alpha}\right)}.$$

Таким образом

$$\Delta F_y = 4V_1^2 \gamma \cdot \operatorname{artge}^{\left(\frac{L}{2\alpha}\right)} \quad (6)$$

Зависимость между вытяжкой E и скоростью транспортёра

$$E = 1 + \frac{2k\gamma \cdot \operatorname{artge}^{\left(\frac{L}{2\alpha}\right)}}{\alpha \operatorname{sh} \frac{L}{2\alpha}} \cdot V_1^2. \quad (7)$$

Переходя от гиперболических функций к показательным, получим:

$$E = 1 + \frac{4k\gamma \cdot \operatorname{artge}^{\left(\frac{L}{2\alpha}\right)}}{\alpha(e^{\left(\frac{L}{2\alpha}\right)} - e^{-\left(\frac{L}{2\alpha}\right)})} \cdot V_1^2. \quad (8)$$

В найденном выражении (8) растяжение E в явном виде зависит от скорости V_1 транспортёра [7]. Однако её величина при этом определяется и следующими параметрами: L - расстояние от линии вывода материала до транспортёра; k - коэффициент удлинения элемента материала в результате силового воздействия; $\alpha = H/\gamma$, где γ - линейная плотность элемента материала, H - натяжение подвешенного материала в низшей точке.

Формула (9) представляет собой эмпирическую формулу для определения вытяжки материала в зависимости от скорости съёмного механизма, которая имеет вид:

$$E = 1 + \lambda \cdot V_1^2, \quad (9)$$

где
$$\lambda = \frac{4k\gamma \cdot \operatorname{artge}^{\left(\frac{L}{2\alpha}\right)}}{\alpha(e^{\left(\frac{L}{2\alpha}\right)} - e^{-\left(\frac{L}{2\alpha}\right)})}.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Голубева Е.С., Макаров Е.В., Зарубина Е.В., Никифоров А.Л., Шмелева Т.В. *, Шмелев А.С. К вопросу о создании устройства для изготовления нового отделочного строительного материала // Сборник материалов XVI Всероссийская науч.-практ. конф. «Надежность и долговечность машин и механизмов», Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России - 2025.- С.164-167.

2. Томин Н.Г., Зарубин В.М., Полякова Е.В. О выравнивающей способности транспортирующе формирующего устройства бункерного питателя // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. - 1999.-№2-С.42-45.

3. Муратова А.А., Голубева Е.С., Зарубина Е.В., Никифоров А.Л., Шмелев* А.С.. Научно обоснованный подход к организации производства теплоизолирующего материала из промышленных отходов// Сборник материалов XVI Всероссийская науч.-практ. конф. «Надежность и долговечность машин и механизмов», Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России - 2025.- С.275-278.

4. Зарубина Е.В., Никифоров А.Л., Репин Д.С., Шабунин С.А., Шмелева Т.В. К вопросу о создании нового отделочного материала из отходов лёгкой и деревообрабатывающей промышленности // Сборник материалов научных мероприятий учебно-научного комплекса «Государственный надзор». 2024.- С. 33-36.

5. Полякова Е.В. Разработка и исследование модуля предварительного рыхления машины для регенерации отходов: Дис. канд.техн.наук. -Иваново. 2003.- 209 с.

6. Пат. на полезную модель 39602 РФ, МПК7 D 01 G 25/00, 15/46. Устройство для формирования волокнистого настила [Текст] / Зарубин В.М., Глинкин П.М., Шмелев С.А., Ульев Д.А., Шмелева Т.В., Полякова Е.В., Кочетков И.В.- № 2004110509/22; заявл. 07.04.2004; опубл. 10.08.2004, Бюл. №22.

7. Полякова, Е.В. Экспериментальное исследование аэродинамических режимов работы конденсора со вставками различных конструкций [Текст] / Е.В. Полякова, Т.В. Шмелева, В.М. Зарубин, С.А. Шмелев, Д.А. Ульев // Известия Ивановского отделения Петровской академии наук и искусств. Секция технических наук: сб. науч. статей / Ивановская государственная текстильная академия.- Иваново, 2005.- С. 41-68.

УДК 621.357

К.Д. Щербаков, А.В. Романов, А.М. Власов

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЖЕСТКОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ШЛИЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ

Аннотация: В статье показано применение программного комплекса при расчете шлицевых соединений, который позволит уточнить результаты и максимально повысить надежность узла в процессе эксплуатации.

Ключевые слова: расчет, метод конечных элементов, шлицевые соединения, нагружение, жесткость.

K.D. Shcherbakov, A.V. Romanov, A.M. Vlasov

APPLICATION OF A SOFTWARE PACKAGE TO DETERMINE THE RIGIDITY CHARACTERISTICS OF A SPLINED JOINT

Abstract: The article demonstrates the use of a software package for calculating splined connections, which will allow for more precise results and maximize the reliability of the unit during operation.

Keywords: calculation, finite element method, splined connections, loading, rigidity.

В конструкциях серийно выпускаемых и разрабатываемых коробках скоростей широко применяются шлицевые соединения (ШС) для передачи вращения от одного вала к другому. Особенностью шлицевых соединений является то, что величина нагрузки, условия работы изменяются в широких пределах, что в ряде случаев может приводить к значительному влиянию на показатели системы.

В связи с вышесказанным можно утверждать, что динамические процессы в шлицевых соединениях во многом определяют надежность и долговечность коробки передач в целом. В свою очередь для обеспечения требуемой надежности и долговечности коробки передач необходимо проводить исследование динамики валов с учетом шлицевых соединений. Однако несмотря на то, что шлицевые соединения относятся к числу наиболее ответственных элементов машин, выбор их параметров при разработке конструкции коробки передач в подавляющем большинстве случаев проводится на основании условного расчета. Практика эксплуатации машин и экспериментальные исследования показывают, что сложившийся метод расчета, не учитывающий реальных условий нагружения и конфигурацию соединений в эксплуатации, не может обеспечить необходимую надежность и долговечность соединения.

Такое несоответствие с современным уровнем расчета деталей машин объясняется сложностью описания реального динамического процесса рабочих поверхностей соединения. Метод конечных элементов (МКЭ) в прямой постановке, как основной метод исследования задач механики деформированного твердого тела, тяжело применить к задачам динамики шлицевых соединений. Поэтому рациональным является подход разработки редуцированной математической модели шлицевого соединения, учитывающей нелинейное поведение и обладающей значительно меньшей размерностью, а использование МКЭ в прямой постановке можно использовать как аппарат уточнения и/или верификации. С учётом вышеизложенного разработка математического аппарата для определения жёсткостных характеристик шлицевого соединения и его последующего влияния на систему является актуальной.

Шлицевые соединения рассчитывают на смятие и износ рабочих поверхностей. Расчеты бывают упрощенными (приближенными) и уточненными.

Расчет на износ выполняют только в тех случаях, когда на соединение, кроме крутящих моментов, действуют радиальные силы и изгибающие моменты. Соединения, нагруженные только крутящим моментом (муфты), на износ не рассчитываются. В случаях, когда износ не допускается, производится дополнительный расчет, учитывающий работу без износа при неограниченно большом числе циклов нагружения (расчет на безыносную работу).

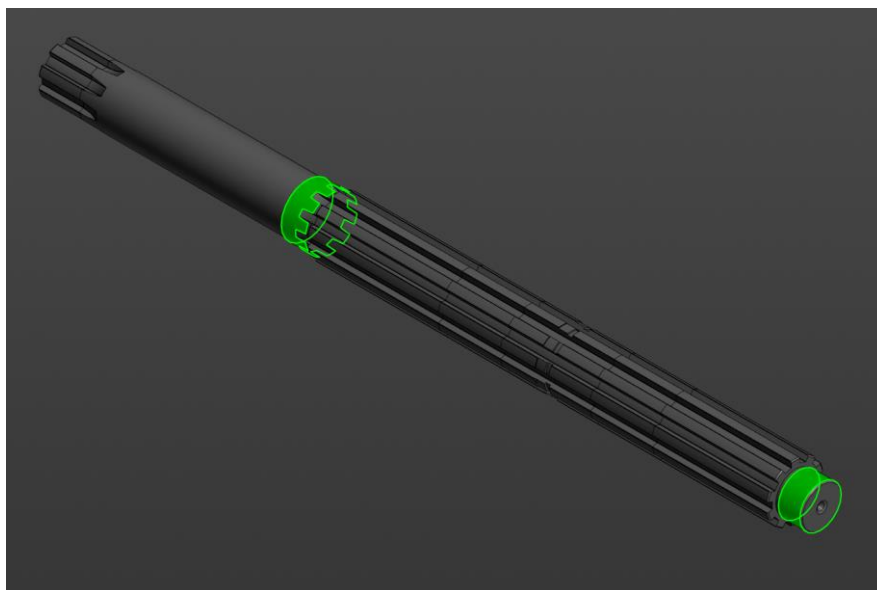


Рис. 1. Опорные шейки

В качестве поставленной задачи было необходимо выполнить проверочный расчёт прямобочного шлицевого соединения конического зубчатого колеса с валом. Номинальный размер шлицев 10x72x82 по ГОСТ 1139-80. Материал вала – сталь 40Х, термообработка – закалка HВ = 555–597, $\sigma_T = 1300$ МПа. Расчётный крутящий момент $T=11168$ Н·м. Режим работы переменный – большую часть времени передача работает с высокими нагрузками. Рабочая длина соединения $l = 90$ мм. Смещение середины зубчатого винца относительно середины шлицевого участка ступицы $e = 7$ мм. Средний диаметр колеса $d_{ср} = 77$ мм.

Вал опирается на шейки под подшипники (рис. 1, выделены зеленым).

Шлицевые пазы – подвижное или неподвижное соединение двух соосных деталей, имеющих равномерно расположенные пазы и выступы. Шлицевые соединения, как и шпоночные, предназначены для передачи крутящих моментов в соединениях шкивов, муфт, зубчатых колес и других деталей с валами. В отличие от шпоночных соединений, шлицевые соединения, кроме передачи крутящих моментов, осуществляют еще и центрирование сопрягаемых деталей. Шлицевые соединения могут передавать большие крутящие моменты, чем шпоночные, и имеют меньшие перекосы и смещения пазов и зубьев. В зависимости от профиля зубьев шлицевые соединения делят на соединения с прямобочным, эвольвентным и треугольным профилем зубьев.

Максимальный крутящий момент, действующий на исследуемый вал равен 11168 Н/м. Место приложения крутившего момента на вал показано на рис. 2.

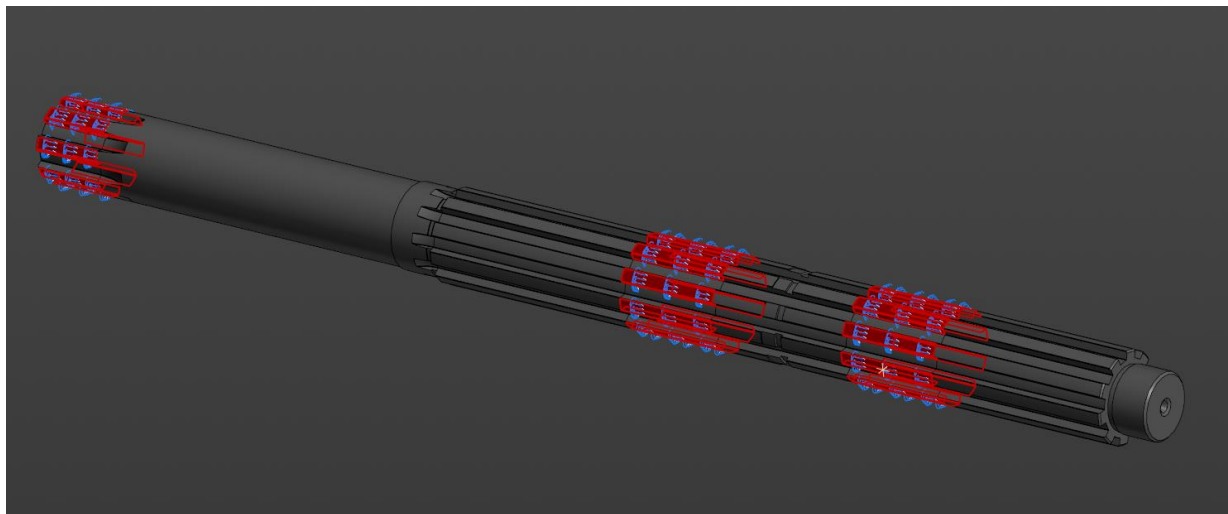


Рис. 2. Места приложения сил

При построении КЭ-сетки возможен выбор элементов (4- или 10-узловые тетраэдры). С учетом ограничений вычислительных ресурсов в работе принята 4-узловая схема дискретизации (рис. 3).

Установлено, что существующие методики расчета шлицевых соединений (в частности, по ГОСТ 21425-75) базируются на упрощенных моделях, рассматривающих преимущественно крутящий момент. Однако в реальных условиях эксплуатации валы коробок скоростей испытывают комбинированное нагружение, включающее собственный вес, реакции опор и динамические воздействия. Игнорирование этих факторов на этапе проектирования может приводить к неучтенным концентрациям напряжений и снижению надежности узла.

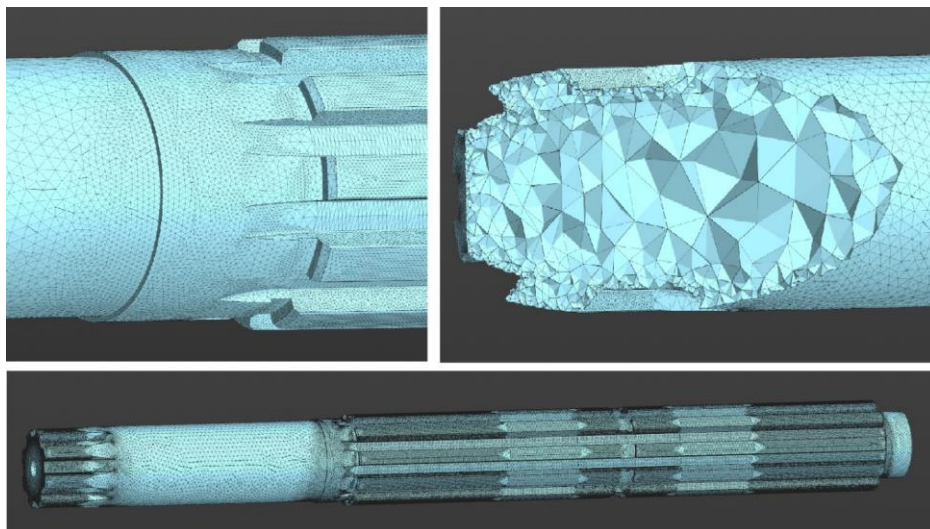


Рис. 3. КЭ сетка

Для достижения цели определены критерии оценки, по которым будет производиться сравнение аналитических и численных методов:

- Максимальные эквивалентные напряжения (σ): оценка прочности материала вала (сталь 40Х).
- Максимальные перемещения ($|U|_{\max}$): оценка жесткости системы и величины прогиба вала.
- Коэффициент запаса прочности (n): проверка условия $n > [n]$, где допустимый запас $[n]$ принимается равным 1,25–1,4.
- Локализация опасных зон: выявление мест концентрации напряжений (галтели, впадины шлицев, зоны посадки подшипников).

Разработана комплексная методика исследования, сочетающая нормативные расчеты и численное моделирование методом конечных элементов (МКЭ).

Применение программного комплекса АРМ FEM позволит уточнить результаты нормативного метода за счет учета деформации тела вала и взаимного влияния изгиба и кручения, что невозможно в полной мере реализовать в аналитических формулах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 21425-75. Соединения зубчатые (шлицевые) прямобоочные. Методы расчета нагрузочной способности.
2. ГОСТ 1139-80. Соединения шлицевые прямобоочные. Основные нормы взаимозаменяемости. Размеры и допуски.
3. АРМ FEM / АРМ WinMachine. Руководство пользователя (прочностной анализ методом конечных элементов).
4. КОМПАС-3D. Руководство пользователя. 3D-моделирование и подготовка расчётной геометрии

ПРОБЛЕМЫ ИЗНОСА В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

УДК 665.66; 620.193

А.А. Белова, В.В. Терентьев, Д.С. Андронов

Верхневолжский ГАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ КОРРОЗИОННОГО ВЛИЯНИЯ ОЧИЩЕННЫХ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ НА СТАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

Аннотация: представлены результаты экспериментальных исследований противокоррозионных характеристик трансмиссионного масла, очищенного химическим способом, с применением гидроксидов натрия и калия, а также канифоли. Отмечена эффективность применения гидроксида калия. После очистки отмечено снижение скорости коррозии в 1,7 раза при снижении глубинного показателя коррозии на 41 % по сравнению с загрязненным маслом. При использовании гидроксида натрия в качестве активного компонента очистки противокоррозионные свойства ухудшаются.

Ключевые слова: очистка, коррозия, питтинг, трансмиссионное масло, канифоль

A.A. Belova, V.V. Terentyev, D.S. Andronov

INVESTIGATION OF THE CORROSIVE EFFECT OF PURIFIED TRANSMISSION OILS ON STEEL SURFACES

Abstract: The results of experimental studies of the anticorrosive characteristics of chemically purified transmission oil using sodium and potassium hydroxides, as well as rosin, are presented. The effectiveness of the use of potassium hydroxide has been noted. After cleaning, the corrosion rate decreased by 1.7 times with a 41 % decrease in the depth corrosion index compared to contaminated oil. In case of use sodium hydroxide as an active component of purification, the anticorrosive properties deteriorate.

Key words: cleaning, corrosion, pitting, transmission oil, rosin

Одним из факторов, негативно влияющих на надежность машин, является коррозия. Ежегодные прямые мировые потери от коррозии оцениваются в триллионы долларов [1].

Авторами [2], отмечается, что половину коррозионных разрушений можно предотвратить.

Эксплуатация мобильной техники предусматривает использование масел – продуктов переработки нефти (моторных, трансмиссионных, специальных и т.д.). Трансмиссионные масла используют в коробках перемены передач, ведущих мостах, раздаточных коробках автомобилей и тракторов. Все эти агрегаты представляют собой зубчатые передачи: цилиндрические, конические, гипоидные и др. Основное назначение трансмиссионных масел: снижение износа трущихся сопряжений,

повышение механического КПД трансмиссии, охлаждение деталей и предохранение их от коррозии. Они также снижают действие ударных нагрузок, уменьшают шум и вибрацию шестерен, уплотняют зазоры в уплотнениях.

Условия эксплуатации трансмиссионных масел характеризуются высоким удельным давлением в зоне зацепления шестерен, а также высокой скоростью скольжения поверхностей зубьев. Это способствует повышению температуры в зоне трения, до величин, способствующих окислению и термическому разложению углеводородной основы масла. Химические превращения в масле значительно интенсифицируются при наличии в них металлических частиц, представляющих из себя продукты износа шестерен, которые являются катализаторами химических реакций.

Вследствие ухудшения вязкостно-температурных характеристик трансмиссионного масла, снижается эффективность смазывания поверхностей, наблюдается повышенный износ шестерен и снижение их долговечности. Эксплуатация автомобильной техники характеризуется периодами непосредственной работы (движение), а также периодами покоя (ночные стоянки с заглушенным двигателем, периоды простоев в ожидании работ и т.д.). При этом в периоды покоя температура элементов трансмиссии снижается, приводя к образованию влажного конденсата в картерах. Это способствует интенсификации коррозионных процессов, возникающих на поверхности деталей. Возникновение очагов коррозии приводит в дальнейшем к возникновению процессов коррозионно-механического изнашивания, негативно влияющих на надежность трансмиссии. В результате негативного воздействия среды на трансмиссионное масло происходит его деградация вследствие окисления, интенсивного загрязнения как продуктами износа, так и частицами сконденсированной влаги, образующими перекиси.

Наличие в пакете присадок антиокислительных компонентов в товарном трансмиссионном масле способствует значительному замедлению вышеуказанных процессов. Широкое применение в качестве антиокислителей-деактиваторов перекисей нашли фенолы и амины (например ионол), а в качестве деактиваторов металлов – органические соединения фосфора, цинка, серы (например диалкилдитиофосфат цинка-ZDDP, содержащий в качестве активных компонентов: серы 8,8–15 %, фосфора 4,4–7,8 %, цинка 5–9 %). Данная присадка, связывая свободные радикалы, которые образуются в процессе окисления, приводит к образованию на поверхности тонких пленок, способствующих снижению износа, коррозии, а также повышающих нагрузку задира.

Как показали исследования, применение жидкокристаллических присадок в смазочных материалах, в том числе и трансмиссионных маслах также является эффективным [3-6].

Однако по мере работы масла и срабатывания присадок коррозионные процессы значительно ускоряются.

Очистка отработанных трансмиссионных масел – является одним из эффективных путей решения экономических и экологических проблем, связанных с их утилизацией. В ранее опубликованных работах [7-11] отмечена эффективность химических и комбинированных методов, позволяющих проводить как очистку, так и осветление масел. Однако используемые в процессе очистки реагенты наряду с положительным действием могут также оказывать и негативное влияние на долговечность металлических деталей за счет ускорения коррозионных процессов.

Целью данной работы является определение коррозионного влияния на металлические поверхности очищенных трансмиссионных масел и выявление более эффективного щелочного компонента, позволяющего снижать коррозионное поражение поверхности.

Исследовалось загрязненное полусинтетическое трансмиссионное масло G-Vox expert GL-5 80W-90 после эксплуатации в коробке перемены передач автомобилей марки Niva Travel. Очистка масла осуществлялась в соответствии с методикой, представленной в работе [9]. В качестве активных компонента при очистке применялись канифоль, а также гидроксиды натрия и калия. Температура и время основных этапов очистки определялись экспериментально, исходя из условий наиболее качественной очистки загрязненного масла. Коррозионные исследования проводились путем погружения металлических образцов в очищенное масло. В качестве образцов использовались стальные пластины размером 20x18x1,5 мм, которые подвешивались и полностью погружались в колбы с очищенным, и загрязненным маслом. Объем жидкости в каждой колбе составлял 200 мл.

Исследования проводились на протяжении шести месяцев. Периодически образцы извлекались и взвешивались на аналитических весах ВЛР-200. На основе данных об изменении массы образцов была рассчитана скорость коррозии согласно формуле:

$$\vartheta_{\text{кор}} = \frac{\Delta m}{S * \tau},$$

где $\vartheta_{\text{кор}}$ – скорость коррозии, г/м²*ч; S – площадь поверхности образца, м²; Δm – изменение массы образца, г; τ – время нахождения образца в коррозионной среде, ч.

Далее определялся глубинный показатель коррозии, по формуле:

$$\Pi = \frac{8,76 * \vartheta_{\text{кор}}}{\rho}$$

где 8,76 – коэффициент для перехода от изменения весового показателя скорости коррозии в расчете на 1 ч к глубинному показателю в расчете на 1 год; $\vartheta_{\text{кор}}$ – скорость коррозии, г/м²*ч; ρ – плотность металла, г/см³.

Результаты определения скорости коррозии представлены на рис. 1.

Полученные данные свидетельствуют о снижении скорости коррозии металлических поверхностей при взаимодействии с очищенным маслом. Более эффективным компонентом при этом является использование при очистке гидроксида калия. В процессе взаимодействия гидроксида калия и канифоли в загрязненном трансмиссионном масле происходит реакция нейтрализации карбоксильной группы (омыления) абиетиновой кислоты с образованием соли - резината калия. Трансмиссионное масло, являясь дисперсионной инертной средой, способствует снижению вязкости расплава канифоли, облегчению диффузии щелочи, а также стабилизации полученного резината калия. Образующийся резинат калия, характеризующийся высокими адгезионными свойствами, гидрофобностью является активным компонентом, обладающим ингибирующим противокоррозионным эффектом. Снижение скорости коррозии очищенного (с КОН) масла по сравнению с неочищенным за все время исследования составило в 1,7 раза.



▣ загрязненное неочищенное масло; ▨ очищенное с применением NaOH;
 ■ очищенное с применением KOH.

Рис. 1. Результаты определения скорости коррозии трансмиссионного масла до и после очистки

В случае использования гидроксида натрия происходит частичное омыление канифоли с образованием канифольного мыла, растворение его в спирте и разделение фаз на водную (с мылом) и масляную. Водная фаза, активно взаимодействуя с поверхностью металла ускоряет коррозионный процесс (поэтому масло очищенное с применением NaOH имеет более высокую скорость коррозии). За все время исследования 4002 часа скорость коррозии очищенного (с NaOH) масла оказалась выше на 22,3 %. При этом с увеличением времени коррозионного воздействия динамика скорости коррозии для всех вариантов имеет тенденцию к снижению, что обусловлено образованием на поверхности пленок, препятствующих диффузии кислорода к поверхности.

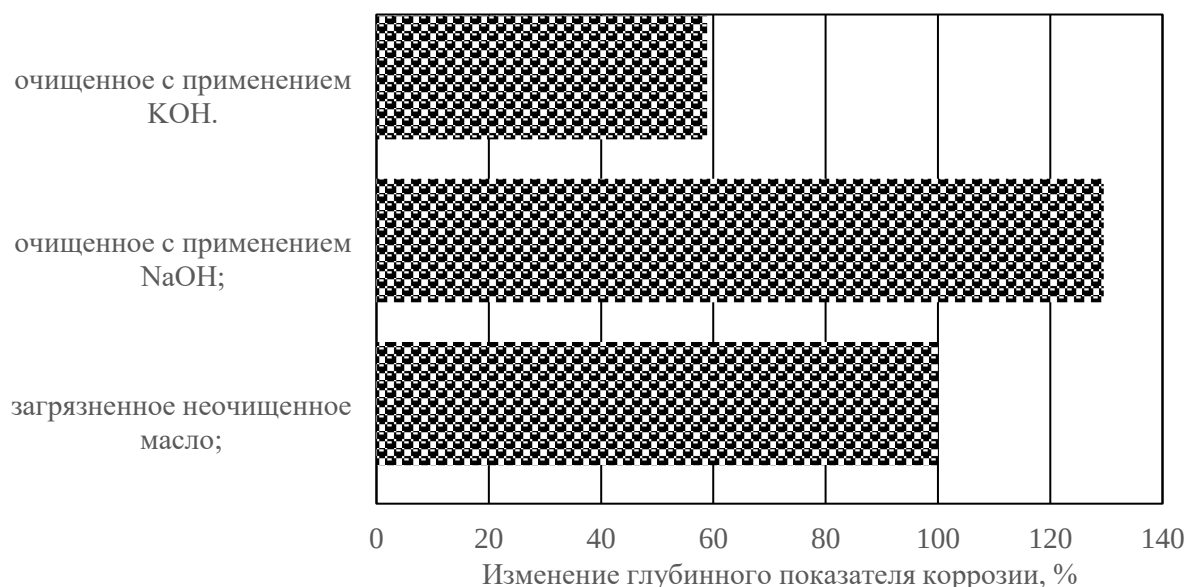


Рис. 2. Результаты определения степени изменения глубинного показателя коррозии образцов

Одним из наиболее опасных видов коррозионных поражений металлических изделий является питтинговая коррозия. Глубина питтинговых поражений во многом определяет прочность и долговечность изделий.

На рис. 2 представлены результаты определения степени изменения глубинного показателя коррозии для исследованных образцов (время выдержки в коррозионной среде составило 4002 ч.). За 100 % принят глубинный показатель коррозии для загрязненного неочищенного трансмиссионного масла.

Результаты исследования показали рост глубинного показателя коррозии для очищенного масла с применением гидроксида натрия в 1,3 раза по сравнению с неочищенным маслом, при использовании гидроксида калия снижение глубинного показателя образцов по сравнению с неочищенным маслом составило 41%.

Полученные данные свидетельствуют об эффективности применения при очистке трансмиссионного масла гидроксида калия, способствующего повышать противокоррозионные характеристики трансмиссионного масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А. О коррозионных проблемах в сельскохозяйственном производстве // Наука в Центральной России. 2021. № 5 (53). С. 79-90.
2. Loto C.A., Popoola A.P.I. Environmental surface degradation of galvanized and mild steel in cattle and poultry wastes and urea solution// Int. Journal of the Physical sciences. 2011. Issue 6(3). Pp. 3051-3074.
3. Терентьев В.В., Акопова О.Б., Телегин И.А., Ельникова Л.В., Парунова Ю.М. Спектральные свойства карбоксилатов меди и опыт их применения в узлах трения сельскохозяйственной техники // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 1 (26). С. 79-84.
4. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С. Повышение ресурса узлов трения почвообрабатывающей техники // Научное обозрение, №6, 2011. С.27-31.
5. Терентьев В.В., Акопова О.Б., Лапшин В.Б., Субботин К.В. Влияние строения дискотических мезогенных присадок - карбоксилатов меди - на свойства синтетических кальциевых смазок //Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. №4. С. 31-33.
6. Терентьев В.В., Телегин И.А., Рябинин В.В. Повышение износостойкости трибосопряжений сельскохозяйственной и автотракторной техники путем совершенствования смазочных материалов //Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 35. С. 151-157.
7. Терентьев В.В., Хохлов Е.Н. Комплексная технология очистки отработанных масел от загрязнений //Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию академика Д.К. Беляева. Том 3. Современные тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2017.- С.187-191.
8. Терентьев В.В., Баусов А.М., Каплаков Д.В. Существующие способы очистки загрязненных масел и рабочих жидкостей//Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Всероссийская научно-практическая

конференция с международным участием посвященная 90-летию ФГБОУ ВО «Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева». Том II: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2020. С.164-167.

9. Тупотилов Н.Н., Остриков В.В., Зимин А.Г., Бусин И.В. Регенерация отработанного синтетического моторного масла // Техника в сельском хозяйстве. 2011. №4. С.22-24.

10. Остриков В.В., Бусин И.В. Удаление продуктов старения из масел //Сельский механизатор. 2012. №1. С.36-37.

11. Остриков В.В. Использование карбамида для очистки моторных масел // Техника в сельском хозяйстве. 2011. №5. С.26-27.

УДК 621.81

Н.И. Гигальчий, А.С. Белов

Дальневосточная пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России - филиал Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Аннотация: В статье рассматриваются актуальные проблемы ранней диагностики износа элементов машин и механизмов, что крайне важно для обеспечения их надежности и долговечности. Проведен анализ современных методов неразрушающего контроля, включая вибрационную диагностику, трибодиагностику, акустическую эмиссию и метод вихревых токов. Особое внимание уделено сравнению эффективности этих методов по критериям чувствительности, оперативности и возможности интеграции в автоматизированные системы мониторинга. Обосновывается переход от плавно-предупредительного ремонта к прогнозируемому обслуживанию на основе данных диагностики.

Ключевые слова: диагностика износа, неразрушающий контроль, вибрационный анализ, трибодиагностика, профилактическое обслуживание, надежность машин.

N.I Gigalchiy, A.S. Belov

MODERN METHODS OF DIAGNOSTIC OF WEAR OF MACHINE PARTS AND THEIR EFFECTIVENESS

Abstracts: The article discusses the urgent problems of early diagnosis of wear of machine elements and mechanisms, which is extremely important to ensure their reliability and durability. Analysis of modern methods of non-destructive testing was carried out, including vibration diagnostics, tribodiagnostics, acoustic emission and eddy current method. Particular attention is paid to comparing the effectiveness of these methods in terms of sensitivity, efficiency and the possibility of integration into automated monitoring systems. The transition from smooth preventive maintenance to predictive maintenance based on diagnostic data is justified.

Keywords: wear diagnostics, non-destructive testing, vibration analysis, tribodiagnostics, preventive maintenance, machine reliability.

Надежность и долговечность машин и механизмов являются краеугольными камнями современного промышленного производства, особенно в таких критически важных сферах, как пожарная безопасность и спасательные операции, которым посвящена данная конференция. Выход из строя ключевых узлов оборудования из-за неучтенного износа может привести не только к значительным экономическим потерям, но и к угрозе жизни людей [8]. Традиционные методы обслуживания, основанные на фиксированных интервалах замены деталей (плавно-предупредительный ремонт), часто неэффективны: либо замена производится раньше времени (что приводит к неоправданным расходам), либо износ превышает допустимые пределы, что приводит к поломке [5].

В связи с этим переход к техническому обслуживанию по фактическому состоянию (Condition-Based Maintenance, CBM) и прогнозируемому обслуживанию (Predictive Maintenance, PdM) становятся необходимостью. Основой этих подходов является своевременная и точная диагностика текущего состояния трущихся пар, подшипников, редукторов и других нагруженных элементов [13].

Целью данной статьи является обзор наиболее перспективных и достоверных современных методов диагностики износа, а также оценка их практической эффективности в условиях реальной эксплуатации.

Износ – это постепенное разрушение поверхности твердого тела, вызванное механическим взаимодействием с другой поверхностью. К основным видам износа относятся абразивный, адгезионный, коррозионный, усталостный и эрозионный. Каждый вид износа генерирует уникальный физический сигнал (изменение геометрических параметров, выделение тепла, изменение вибрационного спектра или химического состава смазки) [12]. Задача диагностики – обнаружить эти сигналы на ранней стадии, когда изменение состояния еще не перешло в критическую фазу. Ключевыми понятиями PdM являются «критический отказ» и «остаточный ресурс». Современные методы диагностики направлены на определение момента, когда износ достигает порогового значения, после которого вероятность отказа экспоненциально возрастает.

Современная диагностика опирается на несколько взаимодополняющих групп методов:

1. Вибрационная диагностика остается «золотым стандартом» в диагностике вращающихся машин (насосов, компрессоров, редукторов). Износ подшипников качения, дисбаланс, несоосность (вал в валу) и люфты изменяют динамические характеристики машины.

Методология: Измерение общего уровня вибрации (среднеквадратическое значение) дает лишь базовую информацию о наличии проблемы. Истинная эффективность достигается при спектральном анализе (преобразовании Фурье). Признаками износа подшипников являются пики на характерных дефектоскопических частотах (BPFO, BPFI, BSF, FTF), которые зависят от геометрии дефектного элемента. Современные анализаторы позволяют проводить анализ во временной и частотной областях, а также анализировать огибающую сигнала для выявления высокочастотных ударных импульсов, характерных для начальной стадии разрушения [7].

Эффективность: Высокая чувствительность к механическим дефектам (до 80-90% случаев выхода из строя вращающегося оборудования). Обеспечивает раннее предупреждение о развитии дефектов подшипников. Требует квалифицированного персонала и тщательного монтажа датчиков [10].

2. Трибодиагностика (анализ смазочных материалов): износ любой детали сопровождается образованием продуктов износа, которые попадают в циркулирующую смазку. Анализ масла позволяет оценить состояние сразу нескольких узлов, контактирующих с этим маслом [14].

Методология [11]:

1. Химический анализ: Определение концентрации металлов (Fe, Cu, Cr, Al, Sn и др.) с помощью спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-ОЭС). Повышение концентрации железа указывает на износ стальных деталей (валов, шестерен), меди – на износ бронзовых/латунных элементов (вкладышей, упорных подшипников).

2. Физико-химический анализ: оценка вязкости, кислотного/щелочного числа, содержания воды и продуктов окисления. Эти параметры указывают на ухудшение качества самого масла, что ускоряет износ.

3. Микроскопический анализ и феррография: позволяют визуально определить форму, размер и концентрацию частиц износа, что помогает классифицировать тип износа (например, округлые частицы свидетельствуют о нормальном усталостном износе, а вытянутые и острые – об абразивном катастрофическом износе).

Эффективность: Метод является неинтрузивным (не требует остановки машины) и экономичным. Позволяет оценить общее состояние силовой передачи и гидравлических систем. Недостаток – запаздывание реакции: для появления заметного количества продуктов износа требуется определенный период работы [14].

3. Акустическая эмиссия (АЭ) – это регистрация кратковременных упругих волн, возникающих в результате быстрых микроизменений внутренней структуры материала, вызванных пластической деформацией, образованием микротрещин или разрушением [4].

Методология: используются высокочувствительные пьезоэлектрические датчики, регистрирующие акустические сигналы в диапазоне от 100 кГц до 1 МГц. Это позволяет обнаруживать процессы, происходящие на микроуровне, которые не улавливаются традиционными вибрационными методами [1].

Эффективность: исключительная чувствительность к начальным стадиям усталостного разрушения, образованию трещин в сварных швах, а также к кавитации в гидравлических системах. Акустическая эмиссия может использоваться для мониторинга нагруженных элементов в режиме реального времени (онлайн) [4].

Ограничение: высокая чувствительность к фоновым шумам, что требует специального акустического экранирования и грамотной интерпретации данных [3].

4. Метод вихревых токов (Eddy Current Testing, ECT): используется преимущественно для диагностики поверхностного и подповерхностного износа (трещины, коррозия, изменение магнитной проницаемости) токопроводящих материалов без удаления защитных покрытий [2].

Методология: Катушка с переменным током создает вихревые токи в исследуемом объекте. Дефекты изменяют распределение этих токов, что фиксируется изменением импеданса катушки [2].

Эффективность: Идеально подходит для контроля турбин, валов, осей, также для контроля толщины изоляции и покрытий. Высокая скорость сканирования. Не подходит для ферромагнитных материалов (если не используются специализированные высокочастотные зонды) и нечувствителен к объемным дефектам [2].

Эффективность диагностики в современных условиях определяется не использованием какого-то одного метода, а комплексным подходом. Ни один метод сам по себе не дает полной картины: вибрация фиксирует последствия (размер дефекта), трибодиагностика показывает историю процесса (накопленные продукты износа), а акустическая эмиссия фиксирует текущий момент зарождения нового разрушения.

В таблице наглядно представлены преимущества и недостатки каждого рассматриваемого метода.

Таблица. Сравнительная оценка методов

Метод	Обнаруживаемый дефект	Типичный предел обнаружения	Преимущества	Недостатки
Вибрационная диагностика	Дисбаланс, несоосность, износ подшипников	Дефект размером 0,1-0,5 мм (нагруженный узел)	Высокая оперативность, стандартизация	Не видит химических изменений, требует доступа к механизму
Трибодиагностика	Износ стальных и медных сплавов, загрязнение маслом	Rpm (частиц на миллион)	Неинвазивность, комплексная оценка состояния	Замедленная реакция не позволяет локализовать узел
Акустическая эмиссия (АЭ)	Микротрещины, усталостное разрушение	Начало образования трещин (в микрометрах)	Самая ранняя регистрация процесса разрушения	Сложность отделения сигнала от шума, высокая стоимость оборудования
Вихревые токи (ВЧТ)	Поверхностные трещины, коррозия	Глубина до нескольких мм	Высокая скорость сканирования, бесконтактный режим	Ограничения по материалам (электропроводность)

Наибольшая эффективность достигается при объединении данных в единую систему управления состоянием. Современные тенденции включают использование машинного обучения для анализа временных рядов данных о вибрации и спектральных паттернов. Нейронные сети, обученные на больших массивах данных о нормальной работе и отказах оборудования, способны выявлять аномалии, которые не видны человеку при ручном анализе. Это позволяет создавать точные модели остаточного срока службы, что и является конечной целью профилактического обслуживания.

Для техники, работающей в экстремальных условиях (пожарные насосные установки, подъемные механизмы, мобильные системы пожаротушения), критерии надежности ужесточаются:

1. Мониторинг гидравлических систем: В гидравлических насосах и приводах критичны такие факторы, как кавитация и износ уплотнений. Ключевыми факторами являются акустическая эмиссия и анализ давления/расхода [9].

2. Контроль редукторов: Редукторы часто выходят из строя. Комплексное применение трибодиагностики (анализ масла после работы в условиях высокой запыленности или перегрева) и вибрационного контроля позволяет исключать внезапный выход из строя шестерен [14].

3. Внедрение беспроводных датчиков: Для оперативного контроля техники, находящейся на дежурстве, используются автономные беспроводные датчики вибрации с низким энергопотреблением, передающие данные через IoT-сети. Это обеспечивает непрерывный контроль без необходимости приезда специалиста по диагностике [6].

Таким образом, современная диагностика перешла от постоянного выявления уже имеющегося дефекта к прогнозированию его развития. Вибрационная и трибодиагностика остаются основными рабочими инструментами, но их эффективность многократно возрастает при дополнении методами раннего обнаружения, такими как акустическая эмиссия, и при интеграции результатов в системы искусственного интеллекта для прогнозирования остаточного ресурса. Только комплексный многопараметрический подход гарантирует максимальную надежность и долговечность машин и механизмов в условиях эксплуатации, требующих стопроцентной готовности

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52727–2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 октября 2007 г. № 279-ст. — Москва: Стандартинформ, 2007. — 12 с. — URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293841/4293841530.pdf> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
2. Eddy Current Testing (ECT) – NDT Inspection. — 2023. — URL: <https://weldingofwelders.com/eddy-current-testing-ect-ndt-inspection/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
3. Акустико-эмиссионный контроль (АЭ): особенности метода, этапы проведения, требования к специалистам. — 2025. — URL: <https://ont-lab.ru/blog/akustiko-emissionnyy-kontrol> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
4. Акустическая эмиссия: технология раннего обнаружения зарождения трещин. — 2025. — URL: <https://inner.su/articles/akusticheskaya-emissiya-tehnologiya-rannego-obnaruzheniya-zarozhdeniya-treshchin/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
5. Алтаев, Е. К. Оптимизация интервалов технического обслуживания на основе факторов эксплуатации оборудования / Е. К. Алтаев. — 2025. — URL: <https://apni.ru/article/13336-optimizaciya-intervalov-tehnicheskogo-obsluzhivaniya-na-osnove-faktorov-ekspluatacii-oborudovaniya> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
6. Беспроводные промышленные датчики // Auton: [сайт]. — URL: <https://www.auton.ru/wirelessensors/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.

7. Журавлев, А. О. Методы вибродиагностики: от способов получения данных до их обработки современными средствами / А. О. Журавлев. — 2024. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-vibrodiagnostiki-ot-sposobov-polucheniya-dannyh-do-ih-obrabotki-sovremennymi-sredstvami> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
8. Износ основных средств: определение, причины, методы расчета и влияние на финансы. — 2025. — URL: <https://investfuture.ru/articles/iznos-osnovny-kh-sredstv> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
9. Кавитация в насосах: причины, последствия, борьба. — 2025. — URL: <https://inner.su/articles/kavitatsiya-v-nasosakh/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
10. Контроль вибраций оборудования. — 2025. — URL: <https://inner.su/articles/kontrol-vibratsiy-eto/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
11. Митюхина, А. Д. Определение коррозионно-активных элементов в нефти методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) / А. Д. Митюхина. — Красноярск: СФУ, [б. г.]. — URL: <http://elib.sfu-kras.ru/bitstream/handle/2311/12197/s071-008.pdf?sequence=1> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
12. Полная классификация видов износа. — 2025. — URL: <https://inner.su/articles/tablitsa-vidov-iznosa-klassifikatsiya-abrazivnogo-adgezionnogo-ustalostnogo/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
13. Разница между обслуживанием по фактическому состоянию (Condition-Based Maintenance) и предиктивным техническим обслуживанием (Predictive Maintenance). — 2024. — URL: <https://blog.vibray.ru/post/16/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.
14. Трибодиагностика и анализ частиц износа в масле: методы и технологии. — 2025. — URL: <https://inner.su/articles/tribodiagnostika-i-analiz-chastits-iznosa-v-masle-metody-i-tekhnologii/> (дата обращения: 07.03.2026). — Текст: электронный.

УДК 620.178.162.2

Б.Ю. Грабовенко, С.А. Егоров

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

СНИЖЕНИЕ РИСКА ВОЗГОРАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ ЗАМЕНОЙ СМАЗКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ

Аннотация: Результаты работы направлены на выработку рекомендаций по замене турбинного масла на турбинное огнестойкое. Для этого проведен расчет долговечности подшипников, который представляет собой сложную инженерную задачу, направленную на прогнозирование срока их службы в условиях эксплуатационных нагрузок. Эта задача критически важна для минимизации риска внезапных отказов, оптимизации технического обслуживания и экономических потерь.

Ключевые слова: электрическая станция, долговечность, подшипник качения, смазывание,

расчетная модель.

B.Y. Grabonenko, S.A. Egorov

REDUCING THE RISK OF FIRE IN PIPELINE THERMAL INSULATION BY REPLACING THE BEARING OIL

Abstract: The results of the work are aimed at developing recommendations for replacing turbine oil with turbine fire-resistant oil. To do this, the calculation of the durability of bearings was carried out, which is a complex engineering task aimed at predicting their service life under operational loads. This task is critical for minimizing the risk of sudden failures, optimizing maintenance, and reducing economic losses.

Keywords: power plant, durability, rolling bearing, lubrication, computational model.

Оборудование электрических станций работает в тяжелых производственных условиях в пожароопасной среде. Насосные агрегаты критически важны для работы системы охлаждения реактора и турбин. Применение турбинных масел в системе смазывания подшипниковых узлов насосов вызывает разбрызгивание. Капли масла, попадая на разогретые поверхности теплоизоляции, могут вспыхивать и вызвать возгорание. Для снижения риска пожара предлагается провести замену турбинного масла на масло огнестойкое ОМТИ в подшипниковых узлах насосных агрегатов.

Температура масла ОМТИ при эксплуатации не должна превышать 100°C. При более долгом воздействии высоких температур начинается частичный распад масла с образованием продуктов полимеризации. Продукты полимеризации – это твердые частицы, попадание которых в систему регулирования может вызвать явление нечувствительности. Поэтому маслопроводы с ОМТИ располагаются в отдалении 100 мм от теплоизоляции горячих поверхностей.

Плотность ОМТИ приблизительно на 30-35% больше, чем минерального масла. Поэтому давления, развиваемые центробежными маслонасосами в случае применения ОМТИ, также должны быть выше.

Динамическая вязкость ОМТИ на 30 % выше, чем минерального масла, поэтому при необходимости сохранения тех же условий гидродинамики подшипников, работающих в масле ОМТИ, что и при работе на минеральном масле, температуру ОМТИ в маслосистеме следует поддерживать на 5 °C выше предписанной для минерального масла.

ОМТИ требует применения стойких по отношению к нему прокладочных и изоляционных материалов и лаков. На конструкционные материалы (сталь, бронза, латунь) ОМТИ воздействия не оказывает.

Отказ подшипников может привести к остановке насоса, нарушению циркуляции теплоносителя и, как следствие, к аварийным ситуациям. Расчет долговечности позволяет прогнозировать и предотвращать отказы, минимизируя риски для безопасности. [1, 2]

Цель работы снизить риск возгорания теплоизоляции трубопроводов заменой смазки подшипниковых узлов.

Для этого необходимо произвести расчет долговечности подшипника при замене масла на огнестойкое. Для повышения огнестойкости используются присадки сложных эфиров фосфорной кислоты.

Расчет долговечности производился по основам теории гидродинамической смазки [3]. В качестве объекта расчета принят радиальный сегментный подшипник с баббитовым вкладышем с параметрами: диаметр цапфы $d = 240$ мм, длина подшипника $L = 200$ мм, относительный зазор $\psi = 0,0013$, радиальная нагрузка $F = 80$ кН, частота вращения $n = 3000$ об/мин.

Основным критерием режима работы подшипника скольжения является число Зоммерфельда. Оно определяется по формуле:

$$S_0 = \frac{F \cdot \psi^2}{\eta \cdot \omega \cdot d \cdot L}, \quad (1)$$

где $\eta = 0.018$ Па·с – динамическая вязкость масла ОМТИ; $\omega = 314$ рад/с – угловая скорость; $d = 0.24$ м – диаметр цапфы; $L = 0.2$ м – длина подшипника; $F = 80000$ Н – радиальная нагрузка; $\psi = 0.0013$ – относительный зазор. Для предлагаемого смазочного материала число $S_0 \approx 0,5$

Для подшипника с отношением $L/d = 0,83$ используем табличные зависимости характеристик от числа Зоммерфельда [3]:

При $S_0 = 0,5$ находим: • относительный эксцентриситет $\chi \approx 0,72$

• безразмерный коэффициент трения $[\bar{\mu} \cdot (d/\Delta)] \approx 6$

Расчет основных рабочих параметров:

• Абсолютный зазор: $\Delta = \psi \cdot d = 0,0013 \cdot 240 = 0,312$ мм (2)

• Минимальная толщина масляного слоя: $h_{min} = \bar{h}_{min} \cdot \Delta = (1 - 0,72) \cdot 0,312 \approx 87$ (мкм) (3)

• Коэффициент трения в подшипнике: $\bar{\mu} = \frac{[\bar{\mu} \cdot (d/\Delta)]}{(d/\Delta)} = \frac{6}{800} = 7,8 \cdot 10^{-3}$ (4)

• Мощность трения: $N_{тр.} = \bar{\mu} \cdot F \cdot v = \bar{\mu} \cdot F \cdot \omega \cdot d/2 =$
 $= 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 80000 \cdot 314 \cdot 0,12 = 23525$ (Вт) (5)

Проверка условия надежности гидродинамического режима:

Суммарная шероховатость (для шлифованной стали и расточенного баббита: $Rz\Sigma = Rz_v + Rz_{п} = 3,2 + 6,3 = 9,5$ (мкм)

Критерий надежности: $h_{min} \geq 3 \cdot Rz\Sigma = 28,5$ (мкм)

Фактическое значение: $h_{min} = 87$ мкм $> 28,5$ мкм

Расчет показал, что при использовании масла ОМТИ в заданных условиях ($S_0 = 0,5$) подшипник скольжения работает в надежном гидродинамическом режиме. Минимальная толщина масляного слоя (87 мкм) существенно превышает критическое значение, необходимое для разделения поверхностей. Коэффициент трения составляет $\bar{\mu} \approx 0,0078$

Срок службы подшипника скольжения определяется допустимым износом антифрикционного слоя вкладыша. Для расчета используем упрощенную модель абразивно-гидродинамического износа [3].

Исходные данные:

- Допустимый износ баббитового слоя, $[\delta] = 0,3$ мм (по техническим условиям на ремонт подшипников энергетического оборудования).
- Среднее контактное давление: $p = F/(d \cdot L) = 80\,000/(0,24 \cdot 0,2) = 1,67$ МПа.
- Относительный зазор после приработки: $\psi' = 0,0015$.
- Коэффициент, учитывающий условия смазки для масла ОМТИ: $K_c = 0,8$ (для синтетических огнестойких масел).

Расчет приведенной скорости износа по формуле:

$$U_{\text{и}} = K_c \cdot p \cdot v \cdot HB \cdot \sigma_{\text{см}} \approx 0,0335 \text{ мкм/ч} \quad (6)$$

- где:
- $v = \omega \cdot d/2 = 314 \cdot 0,12 = 37,7$ м/с – окружная скорость
 - $HB = 25$ кгс/мм² – твердость баббита Б83
 - $\sigma_{\text{см}} = 60$ МПа – предел текучести баббита при сжатии.

Расчетный срок службы до предельного износа:

$$T = \frac{[\delta]}{U_{\text{и}}} = \frac{300 \text{ мкм}}{0,0335 \text{ мкм/ч}} \approx 8955 \text{ ч} \quad (7)$$

Если учесть коэффициент режима работы для насосов АЭС, работающих в непрерывном режиме, $K_p = 1,3$, то окончательно получим:

$$T \cdot K_p = 8955 \cdot 1,3 \approx 11640 \text{ (ч)} \quad (8)$$

Таким образом расчет долговечности для подшипника скольжения смазываемого маслом ОМТИ составляет 11640 ч., что составляет 1 год и 4 месяца эксплуатации в непрерывном режиме. Этот показатель удовлетворяет необходимым требованиям и позволяет применять масло ОМТИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смазочные материалы. Производство, применение, свойства: справочник/ Т.Манн, У. Дрезель. – СПб.: Профессия, 2010. – 944 с.
2. ГОСТ 9972-2020. Масла нефтяные турбинные с присадками. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2021. – 18 с.
3. ГОСТ ИСО 7902-1-2001. Гидродинамические радиальные подшипники скольжения, работающие в стационарном режиме. Круглоцилиндрические подшипники. Ч. 1. Метод расчета. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2002. – 28 с.
4. Расчет долговечности подшипника насосного агрегата/ В.К. Соловьев, С.А. Егоров// Электромеханотроника и управление// XX Всероссийская (XII

международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия -2025». Мат конф. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ИГЭУ, 2025. – с. 56.

УДК 621.941.01

Д.Р. Гулин, С.А. Егоров

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ И СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ТОЧЕНИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация: В данной работе представлены результаты экспериментального исследования процесса точения. Изучено влияние режимов резания на температуру в зоне резания, усадку стружки и составляющие силы резания. Выполнена обработка экспериментальных данных с использованием методов регрессионного анализа.

Ключевые слова: резание металлов, температура резания, усадка стружки, сила резания, корреляционный анализ, стойкость инструмента.

D.R. Gulin, S.A. Egorov

ANALYSIS OF TEMPERATURE AND FORCE DEPENDENCIES IN THE PROCESS OF TURNING STRUCTURAL MATERIALS

Abstracts: This paper presents the results of an experimental study of the turning process. The influence of cutting conditions on cutting zone temperature, chip shrinkage, and cutting force components is examined. The experimental data are processed using regression analysis methods.

Keywords: metal cutting, cutting temperature, chip shrinkage, cutting force, correlation analysis, tool life.

Процесс механообработки детали при точении состоит из сложных физических явлений: из пластической деформации обрабатываемого металла, из трения резца, и теплообразованием. Для оптимального выбора режимов резания и стойкости инструмента, необходимо понимать как влияют следующие параметры на процессы резания: скорость, подача и частота вращения шпинделя.

Целью данной работы является экспериментальное определение влияния этих зависимостей и их математическое описание.

Обработка данных производилась на основе двух серий опытов при точении. Серия 1 - "Воздух", где обрабатываемый металл точился в воздушной среде без дополнительного охлаждения; и Серия 2 - "Ивнетикс", где металл точился с дополнительным охлаждением ивнетиксом.

Испытания проводились на токарно – винторезном станке 1К62. В качестве обрабатываемого материала использовалась сталь 40Х диаметром 50 мм с твёрдостью HRC41. Режимы резания варьировались в следующих диапазонах; частота вращения шпинделя “n”: 200, 400, 630 об/мин; подача “s”: 0.089 мм/об ; глубина резания “t”: 1 мм.

В ходе эксперимента фиксировались: экспериментальная толщина стружки “а” и ширина “b”; температура методом естественной термопары (U, мВ) с последующим переводом в градусы.

Усадка стружки (Кут) является важным показателем, характеризующим пластическую деформацию. Она рассчитывалась как отношение экспериментальной толщины стружки к теоретической толщине. По результатам замеров для Серии 1 были получены следующие значения Кут, которые представлены в табл. 1. Для Серии 2, данные представлены в табл. 2.

Измеренные значения силы резания приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Резание без охлаждения

Подача, мм/об	Глубина резания, мм	Скорость резания, м/мин	Сила резания, Н	a ср, мм	b ср, мм	a0, мм	b0, мм	T, °C	Кут
0,089	1,00	31,40	70	0,29	1,32	0,08	1,18	600,00	3,83
		62,80	62	0,20	1,22			800,00	2,60
		98,91	47	0,12	0,52			667,00	1,58

Таблица 2. Резание с охлаждением

Подача, мм/об	Глубина резания, мм	v, м/мин	Сила резания, Н	a ср, мм	b ср, мм	a0, мм	b0, мм	T, °C	Кут
0,09	1,00	31,40	90	0,28	1,45	0,08	1,18	600,00	3,65
		62,80	92	0,31	0,75			600,00	4,14
		98,91	80	0,22	1,15			730,00	2,91

Зависимость коэффициента утолщения от изменения скорости двух экспериментов, наглядно представлена на рис. 1.

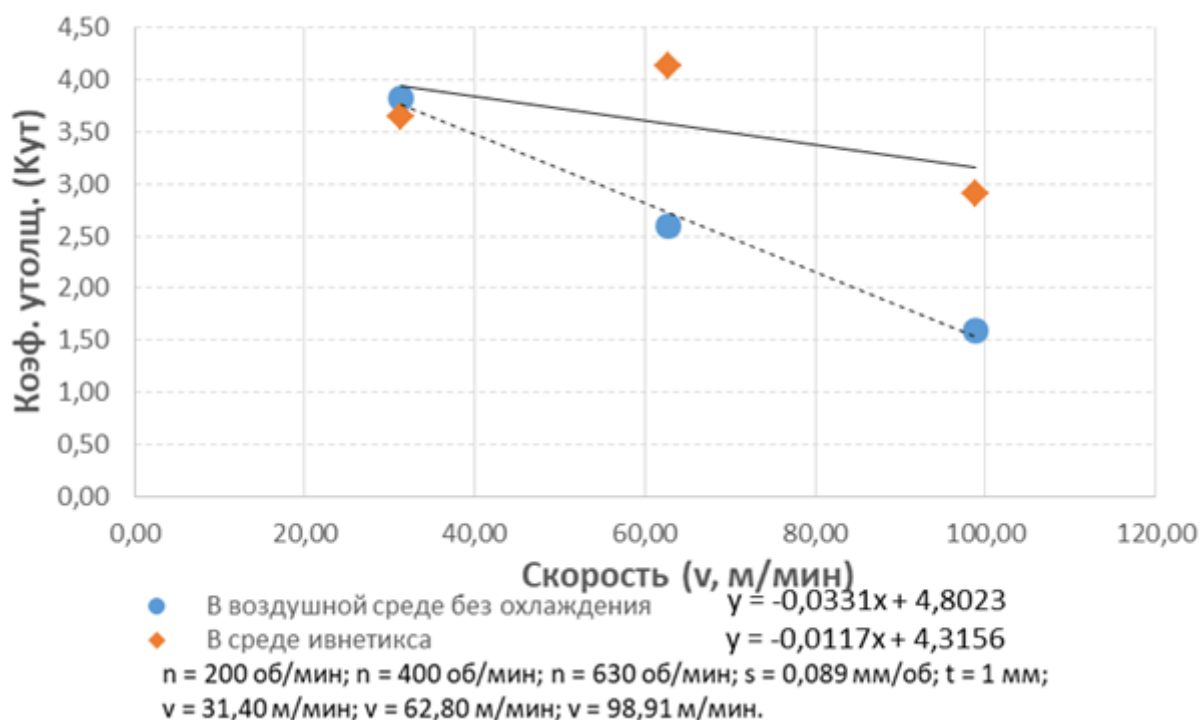


Рис. 1. График зависимости усадки стружки от скорости резания

На графике видна четкая тенденция: в среде без охлаждения с увеличением скорости резания (и, соответственно, частоты n) коэффициент усадки стружки Кут уменьшается. При скорости 31,4 м/мин усадка максимальна (3,83), а при скорости 98,91 м/мин падает до 1,58.

Это объясняется тем, что с ростом температуры в зоне резания, материал в зоне стружкообразования разупрочняется, что облегчает его пластическое деформирование и уменьшает коэффициент усадки.

Данные по резанию с охлаждением показывают аналогичный характер, однако абсолютные значения Кут несколько ниже (от 2,91 до 4,14), что может быть связано со свойствами смазочно-охлаждающей среды.

Температура является одним из важных факторов, определяющих интенсивность износа инструмента. В эксперименте температура фиксировалась методом естественной термопары. Зависимость температуры от скорости резания Серии 1 и Серии 2 представлена на рис. 2.

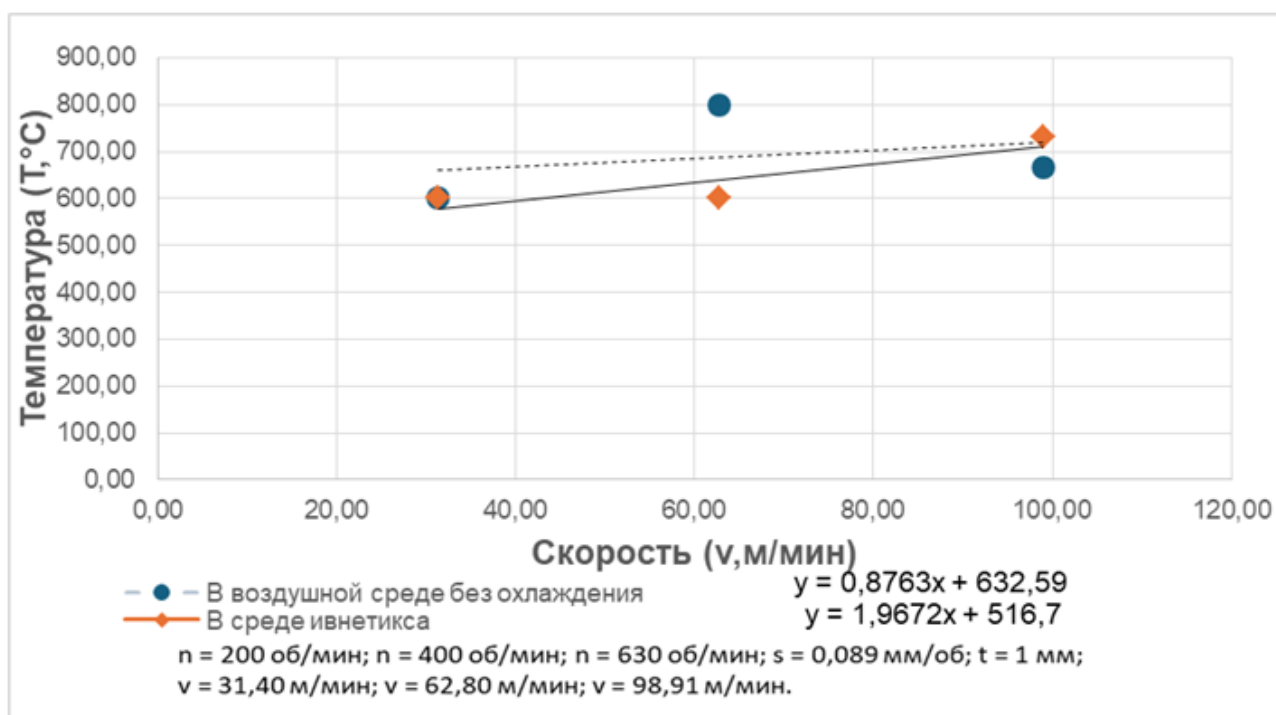


Рис. 2. График зависимости температуры от скорости резания

Для точения в среде без охлаждения зависимость имеет ярко выраженный характер: при увеличении скорости с 31,4 до 62,8 м/мин температура растет с 600 °C до 800 °C. Однако при дальнейшем росте скорости до 98,91 м/мин температура не растет, а снижается до 667 °C. Такой температурный скачок может свидетельствовать о изменении условий теплоотвода или переходе в зону "скоростного резания", где часть тепла уносится со стружкой, не успевая нагреть инструмент.

Данные резания с охлаждением показывают более монотонный рост температуры при изменении подачи и скорости, что лучше согласуется с теорией резания металла.

Далее проводилась обработка данных для получения эмпирической зависимости температуры в зоне резания от параметров резания. Прологарифмировав формулу [1] получим следующее:

$$\lg T = \lg(C^m \cdot v^x \cdot s^y \cdot t^z) \quad (1)$$

где $s = \text{const}$; $t = \text{const}$;

$$\lg T = \text{const} + \lg v^x \quad (2)$$

$$\lg T = K + x \cdot \lg v \quad (3)$$

Получаем уравнение прямой линии вида $y = kx + b$. Если построить график зависимости T от v в логарифмических координатах, экспериментальные точки лягут на прямую линию: Наклон линии будет равен показателю степени x ; Смещение линии (пересечение с осями) позволит вычислить коэффициент K .

Логарифмическая зависимость температуры “ T ” от скорости “ v ” представлены на рис. 3.

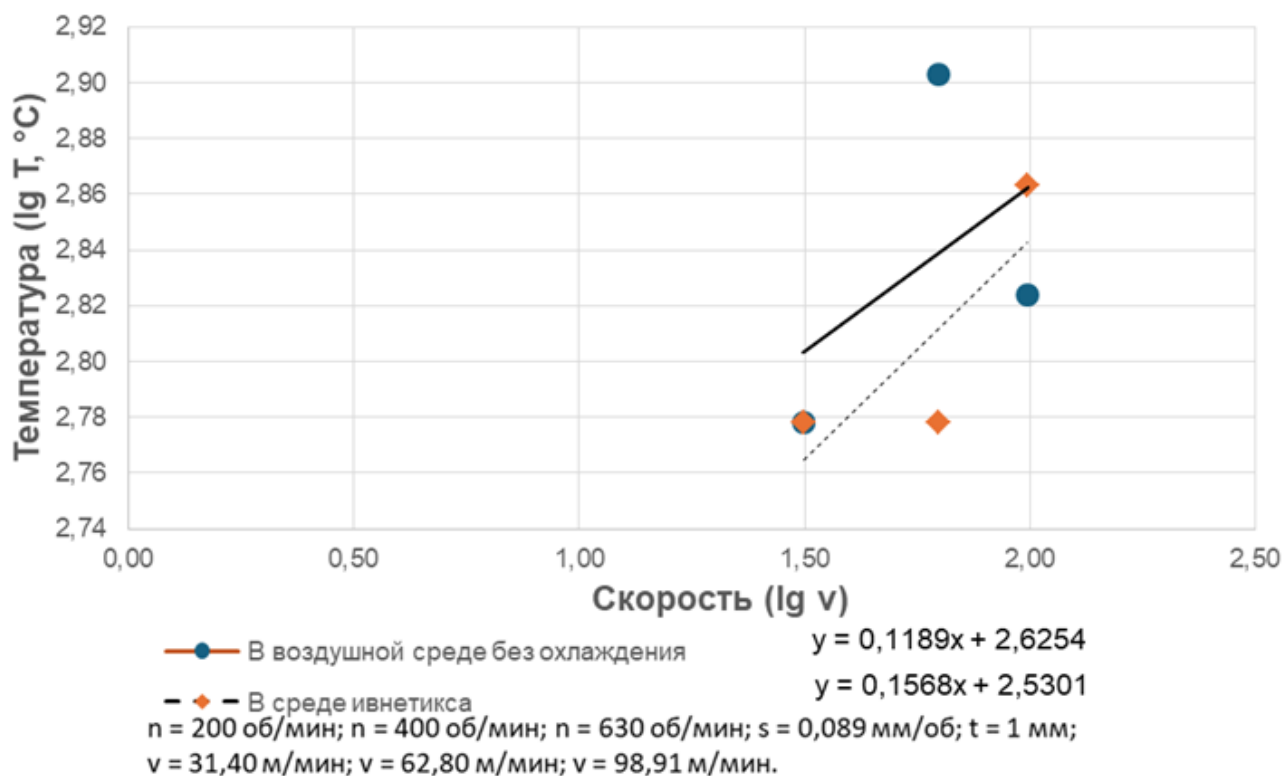


Рис. 3. График зависимости температура-скорость

Угол наклона этой прямой дает показатель степени, который позволяет судить о степени влияния скорости на температуру.

Таким образом, были выявлены следующие закономерности:

1. Коэффициент усадки стружки выступает в роли точного индикатора режимов резания и уменьшается с ростом скорости режимов обработки.

2. Тепловые процессы в области контакта инструмента с деталью определяются совокупностью воздействия скорости резания и величины подачи. Полученные данные позволяют построить математическую модель для прогнозирования температурных значений.

3. Обнаруженные расхождения в данных (например, спад температуры на высоких скоростях в Серии 1) требуют дополнительной проверки, однако могут быть объяснены особенностями перераспределения тепловой энергии при точении.

Полученные результаты могут быть использованы для назначения оптимальных режимов резания, обеспечивающих баланс между производительностью обработки и стойкостью режущего инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аршинов В.А. Резание металлов и режущий инструмент // Машиностроение. 1975. №3. С. 68-73.
2. Оптимизация режимов чистовой лезвийной обработки/ С.А. Егоров, М.С. Обронов, Е.Э. Самсонов//Вестник Поволжского государственного политехнического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. - №2.- 2018. – С. 92-97.
3. Артамонов, Е.В. Влияние температуры на усадку стружки при точении / Е.В. Артамонов, Д.В. Васильев // Прогрессивные технологии в машиностроении: сб. науч. тр. – Тюмень, 2012. – С. 23–28.

УДК 621.91.01

С.А. Егоров, Д.Р. Гулин, А.М. Филатов

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ОТ СКОРОСТИ ПРИ ТОЧЕНИИ

Аннотация: представлены исследования измерения температуры твердосплавного режущего инструмента при наружном точении стали 40Х с различной степенью твердости. Измерения проводили методом естественной термопары. Удалось установить зависимость температуры резца от режимов резания с охлаждением и без него. Наблюдается зона скоростей пластического деформирования, при которых происходит понижение прочности срезаемого слоя.

Ключевые слова: тепловые явления, резание, точение, твердосплавной инструмент, сталь.

S.A. Egorov, D.R. Gulin, A.M. Filatov

RESEARCH OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF CUTTING TOOL ON SPEED IN TURNING

Abstract: the research of measurement of temperature of carbide cutting tool in external turning of steel 40X with different degree of hardness is presented. Measurements were carried out by the method of natural thermocouple. It was possible to establish the dependence of the cutter temperature on the cutting modes with and without cooling. There is a zone of plastic deformation rates at which the strength of the cut layer decreases.

Keywords: thermal phenomena, cutting, turning, carbide tool, steel.

Процессы механической обработки происходят с выделением тепла в зоне резания. Температура зоны резания является одним из ограничивающих факторов для выбора режимов резания, так как эффективность процесса определяется теплостойкостью режущего инструмента. Изучение вопросов теплофизики резания является основой для проектирования процессов механической обработки [1, 2, 3].

При трении и стружкоотделении работа сил переходит в тепло в соответствии с формулой:

$$Q = P_{рез} \cdot V, \quad (1)$$

где $P_{рез}$ – сила резания, V – скорость резания. Теплота расходуется на нагрев стружки, заготовки и инструмента. Некоторое количество тепла в виде радиации по закону Стефана-Больцмана уходит в окружающую среду. Наиболее важным является нагрев заготовки и инструмента. По данным разных исследователей на нагрев заготовки может расходоваться от 30 до 60 % выделяемого тепла и от 5 до 15 % расходуется на нагрев инструмента.

Если рассматривать контакт инструмента в начальный момент работы, то заготовка инструмент и стружка будут иметь одинаковую температуру, которая пропорциональна теплу, рассчитываемому по формуле 1. Тепло, отводимое в стружку, уходит вместе со стружкой. Затем, по мере работы инструмента, температура инструмента будет расти и наступит баланс между подводом тепла и его диссипацией.

Нагрев заготовки будет проходить таким образом, что обработанная поверхность будет остывать со временем, а необработанная подвергаться тепловому воздействию со стороны обрабатываемой. Соотношение скорости движения инструмента по поверхности обрабатываемой заготовки и распространение тепла в заготовку могут приводить к разогреву заготовки до температур, при которых происходит снижение прочности заготовки в момент резания. Следовательно, в некотором интервале температур будет сохраняться прочность инструментального материала и режущие свойства инструмента, и заготовка будет иметь меньшую прочность и лучшую обрабатываемость.

Для проверки этой гипотезы был поставлен эксперимент по обработке цилиндрических заготовок на операции наружного точения твердосплавным резцом.

Цель работы, выявить влияние режимов резания на температуру в зоне резания.

Замеры температуры проводились методом естественной термопары. В цепи между инструментом и заготовкой возникает термоЭДС, которая фиксируется милливольтметром.

Были проведены испытания по резанию стали 40X с различной твердостью 20 HRC и 40 HRC твердосплавным резцом с механическим креплением твердосплавной пластины T5K8. Геометрические параметры инструмента: $\gamma=11^\circ$, $\alpha=4^\circ$, $\alpha_1=11^\circ$, $\phi=60^\circ$, $\phi'=30^\circ$, $\varepsilon=90^\circ$.

Резание проводили с охлаждением и без него. В качестве смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) использовали полусинтетическую жидкость Ивнетикс 2 % по объему поливом и в виде пара.

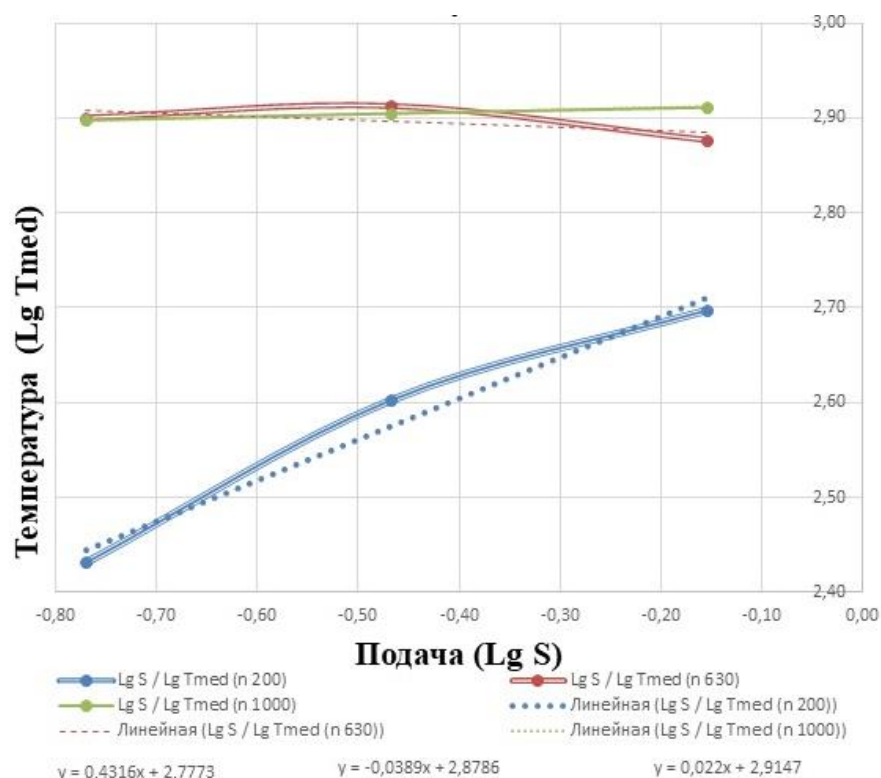


Рис. 1. Зависимость логарифма температуры от логарифма подачи без охлаждения

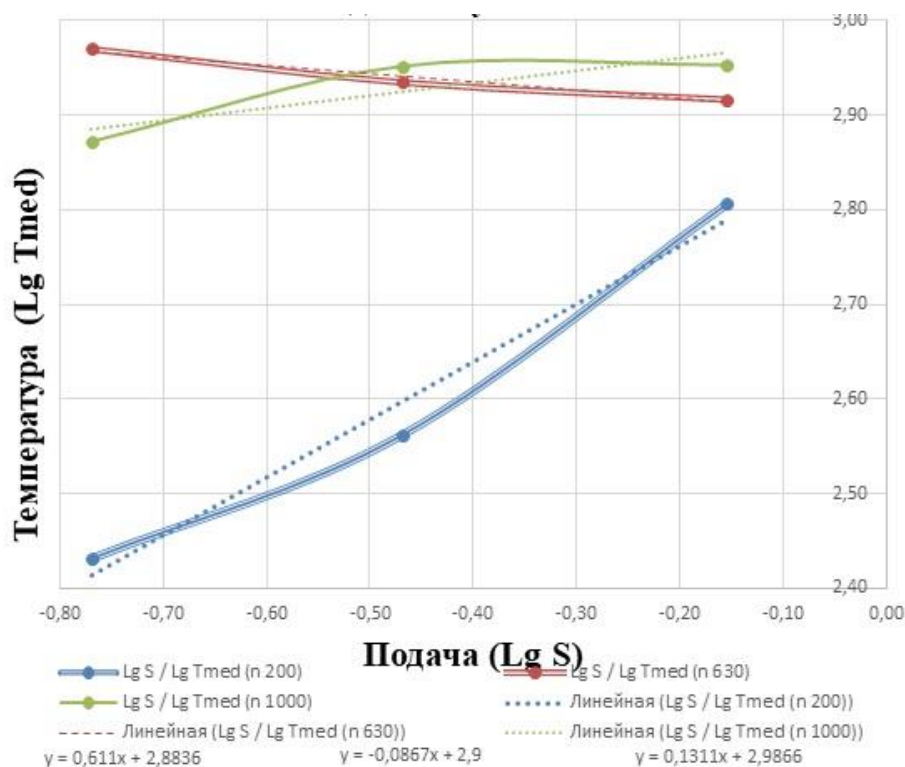


Рис. 2. Зависимость логарифма температуры от логарифма подачи с охлаждением поливом

Результаты представлены на рис. 1 и 2. Приведены зависимости логарифмов температуры инструмента от логарифмов подачи для различных скоростей без охлаждения (рис. 1) и с охлаждением поливом (рис. 2).

При скоростях резания выше 60 м/мин наблюдается значительный разогрев заготовки в сторону обрабатываемой поверхности, что приводит к разупрочнению и снижению силы резания. Полив зоны резания при скоростях резания больше 60 м/мин не успевает снижать температуру заготовки. Наблюдается потеря прочности обрабатываемого материала, выражающаяся в снижении силы резания и, следовательно, температура инструмента не растет.

Таким образом, установлено, при резании стали 40Х на скоростях выше 60 м/мин происходит значительный разогрев обрабатываемой поверхности, что приводит к потере прочности материала заготовки и снижению силы резания, что проявляется в снижении температуры режущего инструмента при увеличении мощности резания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Силин С.С. Метод подобия при резании материалов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.
2. Измерение температуры в зоне резания/ Егоров С.А., Марков И.С.// Электромеханотроника и управление// Шестнадцатая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2021»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2021. - С.65.
3. Исследование влияния скорости резания на стружкообразование/ Егоров С.А., Мухин А.А.// Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении. Сб. статей 4-й Всеросс. науч.-техн. конф. с межд. уч. 18-19 февраля 2019 г. – Курск: Университетская книга, 2019. – С. 175-177.

УДК 66.088; 620.178.162.4

З.А. Жовниренко, В.В. Терентьев
Верхневолжский ГАУ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИТА

Аннотация: представлены результаты экспериментальных исследований триботехнических характеристик полимерного композиционного материала, компоненты которого обработаны низкотемпературной плазмой тлеющего разряда. Отмечена эффективность плазмохимического модифицирования медной соли серной кислоты и фторопласта, являющимися наполнителями полимерной композиции, при дальнейшей эксплуатации детали без смазочного материала. Интенсивность изнашивания снижается при обработке: медной соли в 1,16-4,8 раза, фторопласта в 2,5-7 раз. Отмечено, что в случае режима трения в воде плазмохимическая обработка компонентов не способствует улучшению триботехнических свойств исследованного композита.

Ключевые слова: износ, коэффициент трения, плазма, тлеющий разряд, полимер

Z.A. Zhovnirenko, V.V. Terentyev

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PLASMA CHEMICAL TREATMENT ON THE TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF A POLYMER COMPOSITE

Abstract: the results of experimental studies of tribotechnical characteristics of a polymer composite material with components treated with low-temperature glow discharge plasma are presented. Was noted the effectiveness of plasmochemical modification of copper salt of sulfuric acid and fluoroplast, which are fillers of the polymer composition, during further operation of the part without lubricant. The wear rate decreases during processing: copper salt by 1,16-4,8 times, fluoroplast by 2,5-7 times. It is noted that in the case of friction in water, plasma chemical treatment of the components does not contribute to improving the tribotechnical properties of the studied composite.

Keywords: wear, coefficient of friction, plasma, glow discharge, polymer

Эффективность работы любой машины во многом определяется ее надежностью. Одним из единичных показателей надежности является долговечность. Повышение долговечности элементов трибосопряжений один из путей повышения ресурса всей машины. Повышение долговечности подшипников скольжения можно обеспечить различными путями: упрочнением поверхности, совершенствованием смазочных материалов, а также применением новых конструкционных материалов самого подшипника.

В современных условиях для упрочнения металлических поверхностей наиболее перспективны методы применения концентрированных источников энергии, например, метод электроискровой обработки, позволяющий получать поверхностный слой повышенной твердости [1].

Совершенствование смазочных материалов путем введения в них трибоактивных компонентов широко применяется в настоящее время. Для обеспечения снижения трения и изнашивания поверхностного слоя элементов трибосопряжений широко применяют как неорганические [2], так и органические соединения. Эффективными трибологическими присадками являются жидкокристаллические соединения [3-5].

Наиболее важным методом повышения долговечности является применение в качестве конструкционного материала, подшипника скольжения композиционных материалов с улучшенными антифрикционными и противоизносными характеристиками.

Перспективными материалами для изготовления подшипников скольжения являются композиционные материалы на основе полимеров [5].

Эффективными конструкционными полимерными материалами, применяемыми в конструкциях подшипников скольжения, являются полиамиды и фторопласты. Как показали ранее проведенные исследования, применение композиционных материалов на основе полиамидной матрицы с наполнителями, модифицированными плазмохимическим методом (путем обработки низкотемпературной плазмой), является одним из перспективных методов повышения надежности машин различного назначения [6-9]. При этом полученные полимерные композиты обладают улучшенными антифрикционными и противоизносными характеристиками. Для расширения сферы применения полимерных композитов в них дополнительно вводятся различные металлические наполнители, позволяющие в процессе трения

создавать на трущихся поверхностях смазочный слой из продуктов деструкции полимера и наполнителя, эффективно разделяющий элементы трибосопряжения.

В качестве наполнителей полимерных композиций применяются медь, сера, цинк, фосфор и ряд других.

Целью работы являлось определение эффективности модифицирования элементов полимерной композиции плазмой тлеющего разряда высокого напряжения, с целью получения композиционного триботехнического материала, обладающего повышенными прочностными, антифрикционными и противоизносными характеристиками.

В качестве матрицы полимерного композита использовался полиамид литевой 610 ГОСТ 10589-2016, в качестве наполнителей исследовались фторопласт Ф-4 ГОСТ 10007-80, а также медная соль серной кислоты.

Для плазмохимической активации компонентов применялась плазма тлеющего разряда высокого напряжения. Компоненты подвергались плазмохимической активации, после которой методом горячего прессования изготавливались образцы для триботехнических испытаний, представляющие из себя частичный вкладыш, размерами 10x10 мм.

Исследование антифрикционных и противоизносных характеристик осуществлялось на машине трения 2070СМТ-1 по схеме «подвижный ролик-неподвижный частичный вкладыш». Исследовались образцы в условиях трения как без смазочного материала, так и трении в воде. Материал ролика – сталь 45 ГОСТ 1050-2013. Ширина 10 мм, диаметр 40 мм.

В процессе исследований контролировался момент трения, который в дальнейшем пересчитывался в коэффициент трения, температура ролика и воды, весовой износ, который в дальнейшем пересчитывался в интенсивность изнашивания.

Результаты определения коэффициента трения представлены на рис. 1–2.

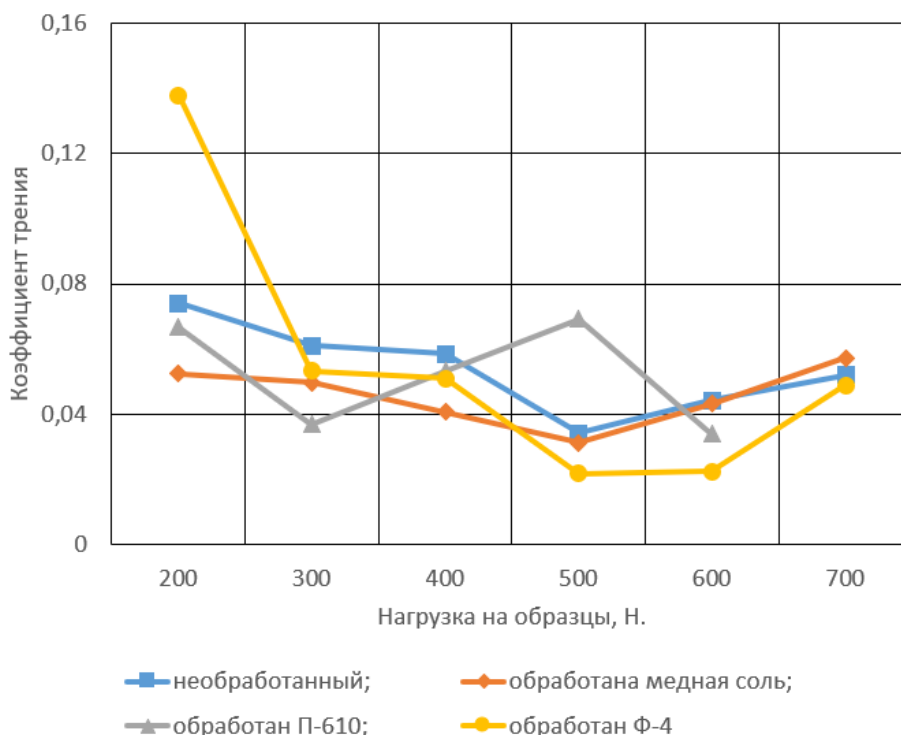


Рис. 1. Результаты определения коэффициента трения образцов (при трении без смазочного материала)

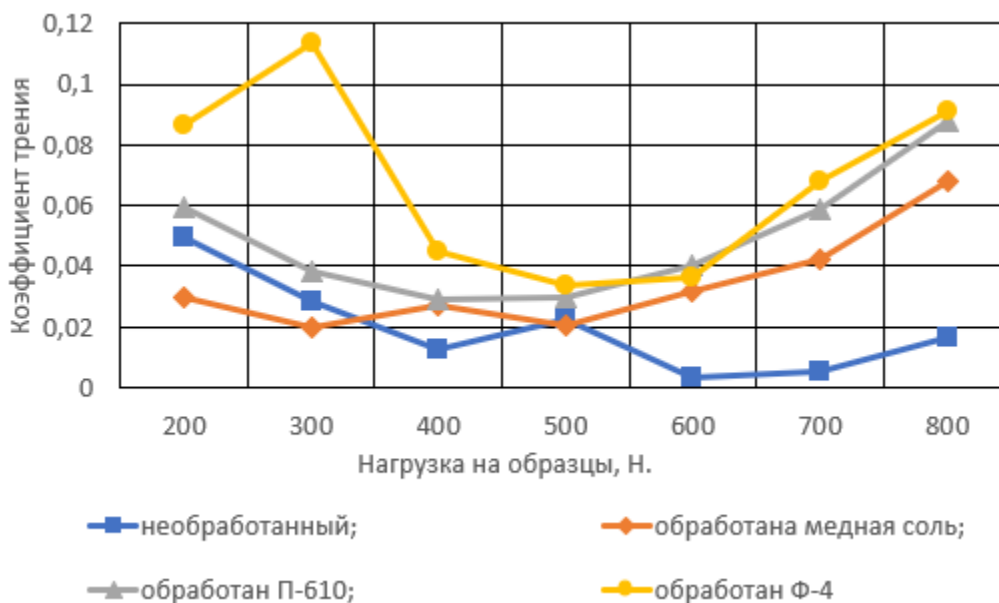


Рис. 2. Результаты определения коэффициента трения образцов (при трении в воде)

Анализируя полученные данные, можно отметить, что введение медной соли в композит благоприятно сказывается на антифрикционных характеристиках композиционного материала. Дополнительная модификация компонентов плазмой также способствует улучшению его антифрикционных характеристик. Видно, что плазмохимическая обработка полиамида (матрицы композита) приводит к улучшению антифрикционных характеристик в условиях невысоких нагрузок на образцы (200-300Н) и трении без дополнительной смазки. Однако при повышении нагрузки разница нивелируется. Более эффективно оказалось плазмохимическое модифицирование наполнителей композиции в виде медной соли и фторопласта. Для композиций с обработанным фторопластом в условиях трения без смазочного материала снижение коэффициента трения по сравнению с необработанной композицией составило от 12,5 до 48 % в зависимости от нагрузки на образцы. При обработке медной соли снижение составило до 30 %. Это подтверждает ранее полученные данные [6-7], свидетельствующие о большей эффективности модифицирования наполнителей в полимерных триботехнических композициях.

Как показали проведенные исследования, в случае режима трения в воде плазмохимическая обработка компонентов не способствует улучшению антифрикционных свойств рассмотренного композиционного материала.

Это обусловлено активным взаимодействием воды с медной солью, образованием сульфат-аниона и интенсификации окислительных процессов на стальной поверхности.

Окислительные процессы, приводят к образованию оксидных плёнок, препятствующих адгезионному схватыванию микронеровностей, характерному для высоких нагрузок на образцы.

В случае применения композиций с плазмообработанными компонентами в водной среде данный процесс протекает менее интенсивно.

Так как долговечность деталей машин в основном определяется противоизносными характеристиками применяемых конструкционных материалов, то важнейшей триботехнической характеристикой любой детали является интенсивность ее изнашивания в эксплуатационных условиях.

На рис. 3, 4 представлены экспериментальные результаты определения интенсивности массового изнашивания образцов.

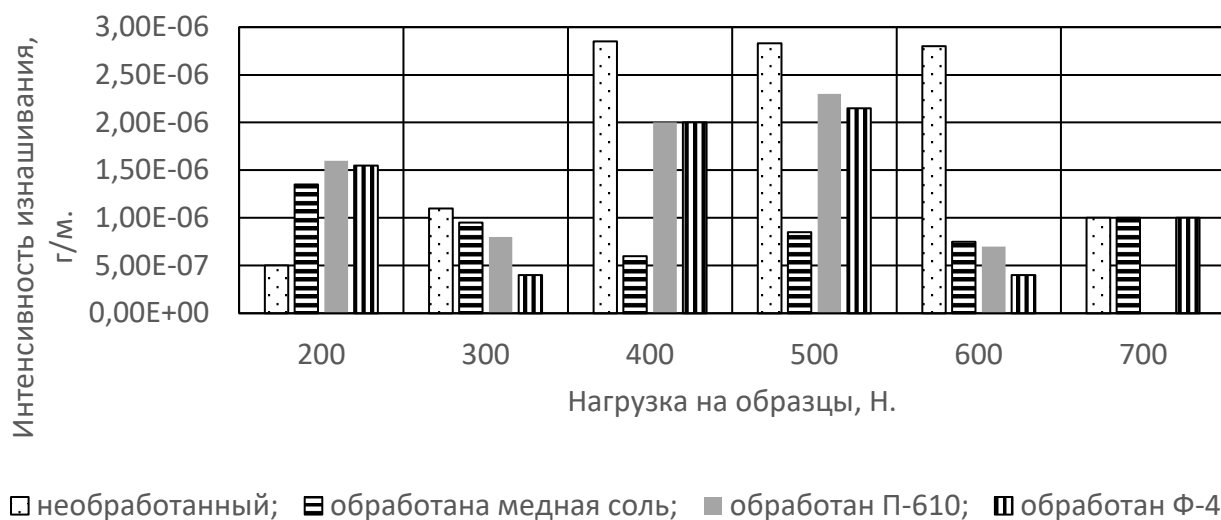


Рис. 3. Результаты определения интенсивности массового изнашивания образцов (при трении без смазочного материала)

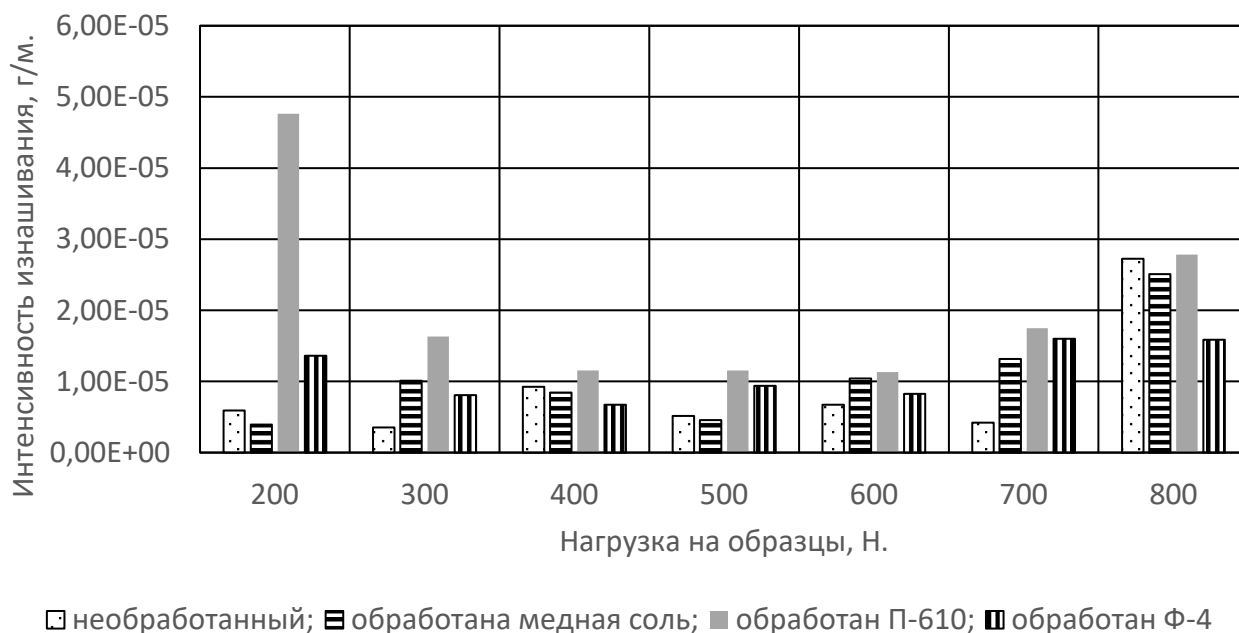


Рис. 4. Результаты определения интенсивности массового изнашивания образцов (при трении в дистиллированной воде)

Результаты исследований свидетельствуют об эффективности плазмохимической модификации компонентов триботехнической композиции при условии дальнейшей эксплуатации детали без смазочного материала. Интенсивность изнашивания снижается при обработке: медной соли в 1,16-4,8 раза, фторопласта в 2,5-7 раз. Это способствует повышению дальнейшей долговечности деталей, изготовленных из разработанного композиционного материала.

В случае дальнейшей эксплуатации деталей из данного материала в воде, плазмохимическая обработка приводит к увеличению интенсивности изнашивания, что неблагоприятно скажется на надежности деталей.

При этом обработка полиамидной матрицы приводит к снижению также нагрузочной способности композиционного материала на 15 %.

Таким образом, плазмохимическая модификация элементов полимерного композиционного материала является эффективным методом повышения долговечности подшипников скольжения автомобильной техники. Однако при выборе данного метода модифицирования необходимо учитывать условия дальнейшего использования детали.

Разработанный композиционный материал по своим нагрузочно-скоростным характеристикам и условиям эксплуатации можно рекомендовать в качестве конструкционного материала для изготовления втулок стартеров СТ-142; СТ-142Б1; СТ-142Б2 автомобилей КАМАЗ, УРАЛ, ЗИЛ, ЛИАЗ, а также втулок башмаков балансира автомобилей КАМАЗ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев В. В., Краев Д. Е. Исследование влияния режимов электроискровой обработки на твердость поверхности нержавеющей стали//Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 г. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 244-247.
2. Мельников В.Г., Терентьев В.В., Зарубин В.П. Исследование влияния на микротвердость поверхности пар трения смазочных композиций, наполненных порошками силикатов. // Изв.вузов. Химия и химическая технология, 2007, т.50, вып.1. С.110-111.
3. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С. Повышение ресурса узлов трения почвообрабатывающей техники // Научное обозрение, №6, 2011. С.27-31.
4. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А., Ельникова Л.В., Парунова Ю.М. Спектральные свойства карбоксилатов меди и опыт их применения в узлах трения сельскохозяйственной техники // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 1 (26). С. 79-84.
5. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Наумова И.К., Титов В.А. Влияние плазмохимической обработки металломезогенных дискотических соединений на их физико-химические характеристики //Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2021. Т. 21. № 1. С. 61-71.
6. Терентьев В.В., Баусов А.М., Крупин А.В., Твердов А.В., Галкин И.М. Разработка и исследование антифрикционных свойств материала для узлов трения

тракторов и автомобилей//Известия Международной академии аграрного образования. 2013. № 16-4. С. 267-270.

7. Терентьев В.В. Механизм трения и изнашивания плазмобработанных триботехнических композиций на основе полимеров // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. №2. С.31-34.

8. Терентьев В.В., Боброва Н.В., Крупин А.В., Боброва Т.С. Влияние плазмохимической обработки на прочностные свойства полимерной антифрикционной композиции// Ремонт, восстановление, модернизация, №3, 2011.С.33-35.

9. Пат. 2293092С1 Российская Федерация, МПК C08J 5/16 (2006.01); C09D 177/00 (2006.01); C10M 161/00 (2006.01) Композиционный триботехнический материал [Текст]/ Мельников Вячеслав Георгиевич, Терентьев Владимир Викторович; патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Ивановский государственный химико-технологический университет" (ИГХТУ) (RU) ; заявл. 2005.12.28; опубл. Бюл. изобр. № 4. 10.02.2007.

УДК 004.8

Д.В. Каковкин^{1,2}, Т.В. Ананьева¹

^{1,2} Институт машиностроения и транспорта

¹ Липецкий государственный технический университет

ФИЗИЧЕСКИ-ИНФОРМИРОВАННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ (PINNS) В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ: ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Аннотация: В статье рассматривается применение физически-информированных нейронных сетей (Physics-Informed Neural Networks, PINNs) для моделирования процессов деградации механических систем. Актуальность исследования обусловлена ограничениями классических методов прочностных расчётов, требующих точного знания свойств материалов и граничных условий, тогда как в реальных условиях всегда присутствуют дефекты и неопределённости.

Ключевые слова: физически-информированные нейронные сети, PINNs, механика разрушения, усталостная долговечность, остаточный ресурс, идентификация повреждений, оценка неопределённости, гибридные методы моделирования.

D.V. Kakovkin^{1,2}, T. V. Ananyeva¹

^{1,2}Institute of Mechanical Engineering and Transport

¹Lipetsk State Technical University

PHYSICALLY INFORMED NEURAL NETWORKS (PINNS) IN MECHANICAL SYSTEM DEGRADATION MODELING: DAMAGE IDENTIFICATION AND RESIDUAL RESOURCE PREDICTION

Abstract: The article discusses the application of physics-informed neural networks (Physics-Informed Neural Networks, PINNs) for modeling the degradation processes of mechanical systems. The relevance of the research is due to the limitations of classical methods of strength calculations, which require precise knowledge of material properties and boundary conditions, while in real conditions there are always defects and uncertainties.

Keywords: physically-informed neural networks, PINNs, fracture mechanics, fatigue durability, residual resource, damage identification, uncertainty assessment, and hybrid modeling methods.

Современное развитие техники предъявляет всё более высокие требования к точности прогнозирования остаточного ресурса ответственных механических систем. Отказ элементов несущих конструкций, деталей авиационной техники или узлов ветрогенераторов может привести к катастрофическим последствиям, что обуславливает необходимость разработки надёжных методов оценки их технического состояния. Традиционные подходы к решению этой задачи разделяются на два основных направления: физические (детерминистические) модели, основанные на уравнениях механики деформируемого твёрдого тела и механики разрушения, и статистические методы, опирающиеся на обработку экспериментальных данных.

Каждый из этих подходов имеет принципиальные ограничения. Физические модели требуют точного знания свойств материала, характеристик нагружения, геометрии дефектов и граничных условий, что в реальных условиях эксплуатации практически недостижимо. Статистические методы, напротив, могут эффективно работать с данными измерений, но лишены интерпретируемости и не гарантируют соблюдения фундаментальных законов физики. Кроме того, они требуют больших объёмов обучающих выборок, получение которых для уникальных или дорогостоящих объектов часто невозможно.

В последние годы активно развивается новое направление — гибридные методы моделирования, сочетающие достоинства обоих подходов. Физически-информированные нейронные сети (PINNs) представляют собой класс алгоритмов машинного обучения, в которых функция потерь включает не только ошибку аппроксимации данных, но и невязку дифференциальных уравнений, описывающих физические процессы. Как отмечают М. Е. Ладонкина, Е. А. Неклюдова и В. Ф. Тишкин, применение PINNs позволяет «объединить в рамках единой вычислительной схемы как экспериментальные данные, так и фундаментальные законы механики сплошных сред, что особенно важно при решении обратных задач и задач идентификации параметров» [1, с. 5].

Цель настоящей работы — исследование возможностей применения PINNs для моделирования процессов деградации механических систем, идентификации повреждений и прогнозирования остаточного ресурса. В статье рассматриваются архитектурные решения, методы учёта физических закономерностей, подходы к оценке неопределённости, а также примеры реализации для типовых объектов.

Традиционные методы прогнозирования остаточного ресурса базируются на моделях механики разрушения, среди которых наибольшее распространение получили:

- Модели накопления усталостных повреждений (линейного суммирования повреждений Пальмгрена—Майнера), основанные на гипотезе о независимом вкладе каждого цикла нагружения в общее повреждение.

- Модели роста усталостных трещин (Париса, Формана, Уокера), описывающие зависимость скорости роста трещины от размаха коэффициента интенсивности напряжений.

- Модели на основе механики повреждённости (CDM — Continuum Damage Mechanics), вводящие скалярный или тензорный параметр повреждённости, эволюция которого описывается кинетическими уравнениями.

Фундаментальные основы этих моделей подробно изложены в работах В. З. Партона и Е. М. Морозова [2], а также в монографии Н. А. Махутова, посвящённой прочности и ресурсу элементов конструкций в условиях малоциклового усталости [3]. Прикладные аспекты расчёта деталей машин на прочность и долговечность рассмотрены в классическом труде В. П. Когаева, Н. А. Махутова и А. П. Гусенкова [4].

Достоинством этих моделей является их строгое физическое обоснование и возможность экстраполяции за пределы области экспериментальных данных. Однако их практическое применение сталкивается с рядом трудностей: необходимость априорного знания параметров материала (часто требующих дорогостоящих экспериментов), чувствительность к начальным условиям (форме и размерам дефектов), не учёт случайного характера нагружения и разброса свойств материала.

Альтернативный подход основан на использовании методов машинного обучения для выявления зависимостей между измеряемыми параметрами (вибрации, акустическая эмиссия, температура) и остаточным ресурсом. Здесь применяются:

- регрессионные модели (линейная, гребневая регрессия, LASSO);
- методы ансамблей (случайный лес, градиентный бустинг);
- нейронные сети различных архитектур (многослойные перцептроны, свёрточные сети, LSTM).

Как отмечают В. В. Стружанов и С. В. Соколов, «методы машинного обучения позволяют выявлять скрытые зависимости в экспериментальных данных без априорного задания структуры модели, однако их применение для прогнозирования ресурса ограничено необходимостью больших обучающих выборок и отсутствием интерпретируемости результатов» [5, с. 36]. Действительно, пользователь не может объяснить полученную нейросетевую модель, следствием чего является недоверие к результатам, особенно в ответственных приложениях.

Таким образом, возникает потребность в методологии, объединяющей достоинства обоих направлений: физическую обоснованность, интерпретируемость и экстраполяционные способности моделей механики разрушения с гибкостью, способностью к обучению на данных и учётом неопределённостей, присущими статистическим методам. А. И. Белоусов и И. Г. Горячева подчёркивают, что «гибридные модели, сочетающие машинное обучение и фундаментальные физические законы, открывают новые возможности для механики контактного взаимодействия и могут быть распространены на задачи прогнозирования усталостной долговечности» [6, с. 440].

Физически-информированная нейронная сеть представляет собой многослойный перцептрон, который аппроксимирует решение системы дифференциальных уравнений в частных производных. Входными переменными обычно являются пространственные координаты и время x, t , а выходом — искомые полевые переменные $u(x, t)$ (например, перемещения, напряжения, параметр повреждённости).

Ключевая особенность PINNs заключается в формировании функции потерь, которая включает два принципиально различных слагаемых:

$$L = L_{\text{data}} + \lambda L_{\text{PDE}},$$

где L_{data} — ошибка на экспериментальных данных (например, среднеквадратичное отклонение предсказанных значений от измеренных в точках с известными решениями), L_{PDE} — невязка дифференциальных уравнений, вычисляемая в случайно выбираемых точках коллокации внутри расчётной области, а λ — весовой коэффициент, регулирующий вклад физической составляющей.

Невязка L_{PDE} вычисляется с использованием автоматического дифференцирования, встроенного в современные библиотеки глубокого обучения. Это позволяет точно вычислять производные выходных переменных по входным и подставлять их в дифференциальные уравнения без необходимости численного дифференцирования. Подробное описание архитектуры и алгоритмов обучения PINNs применительно к задачам механики сплошных сред представлено в работе А. В. Звягина и В. М. Рябова [7].

Применительно к задачам прогнозирования остаточного ресурса механических систем базовый подход PINNs требует адаптации. А. А. Калинин и А. С. Лапшин исследовали применение PINNs для моделирования процессов деформирования и разрушения и показали, что «введение в функцию потерь дополнительных слагаемых, соответствующих уравнениям эволюции повреждённости, позволяет существенно повысить точность прогноза остаточного ресурса по сравнению с чисто data-driven подходами» [8, с. 52].

Особый интерес представляет решение обратных задач, когда параметры материала или характеристики дефектов неизвестны и должны быть определены в процессе обучения сети. В этом случае они включаются в число обучаемых переменных, и сеть одновременно аппроксимирует поля и идентифицирует параметры.

Одним из наиболее перспективных применений PINNs в рассматриваемой области является решение обратных задач — идентификация параметров повреждений по данным измерений. В отличие от прямых задач, где по известным свойствам материала и условиям нагружения определяется напряжённо-деформированное состояние, в обратных задачах требуется по измеренным полям (перемещений, деформаций, температур) восстановить характеристики дефектов (размер, форму, ориентацию, местоположение).

Фундаментальные аспекты обратных задач в механике деформируемого твёрдого тела изложены в монографии А. О. Ватульяна [9]. PINNs естественным образом подходят для решения таких задач, поскольку параметры, подлежащие идентификации, могут быть включены в число обучаемых переменных сети.

Для задач мониторинга состояния конструкций (Structural Health Monitoring, SHM) особый интерес представляет возможность интеграции PINNs с данными непрерывных измерений. В. А. Ломакин и Ю. А. Окопный исследовали применение методов вибродиагностики для идентификации повреждений и показали, что «использование физических моделей совместно с обработкой экспериментальных данных позволяет существенно повысить достоверность локализации дефектов» [10, с. 50]. Развитие этого подхода на основе PINNs даёт возможность в реальном времени уточнять модели повреждённости по данным с датчиков.

В области неразрушающего контроля важную роль играют методы, основанные на анализе волновых полей. Как отмечено в справочнике под редакцией В. В. Ключева [11], акустико-эмиссионный и ультразвуковой контроль позволяют получать информацию о развивающихся дефектах. PINNs могут быть использованы для интерпретации этих данных и количественной оценки параметров повреждений.

Задача прогнозирования остаточного ресурса (Remaining Useful Life, RUL) может быть сформулирована следующим образом: по известной предыстории нагружения и данным мониторинга до текущего момента времени t_{current} требуется определить время $t_{\text{failure}} - t_{\text{current}}$, по истечении которого параметр повреждённости достигнет критического значения.

В рамках PINNs-подхода эта задача решается путём построения суррогатной модели, аппроксимирующей зависимость $RUL = f(\text{история нагружения, текущее состояние})$. При этом в функцию потерь включаются как данные о реальных наработках до отказа (если они доступны), так и физические уравнения эволюции повреждённости.

Реальные процессы деградации всегда сопровождаются неопределённостями различной природы: случайный характер нагружения, разброс свойств материала, погрешности измерений, неточность моделей. Поэтому важнейшим требованием к современным методам прогнозирования RUL является количественная оценка неопределённости.

В работах В. В. Болотина [12] заложены основы вероятностного подхода к расчёту ресурса машин и конструкций. Р. В. Гольдштейн и Н. М. Осипенко развили вероятностные модели разрушения, учитывающие случайный характер дефектов [13]. PINNs предоставляют несколько возможностей для учёта неопределённостей: использование байесовских нейронных сетей с вероятностными весами, ансамблевые методы, применение dropout во время инференса для оценки неопределённости.

В прикладных исследованиях, выполненных в Самарском университете, рассматривалось применение гибридных моделей для оценки остаточного ресурса авиационных конструкций с учётом реальных условий эксплуатации [14]. Показано, что учёт физических закономерностей накопления усталости позволяет сократить объём требуемых экспериментальных данных и повысить точность прогноза.

Для ветроэнергетических установок А. Ф. Селихов и В. П. Тихомиров разработали методику мониторинга состояния лопастей на основе виброакустических измерений [15]. Дальнейшее развитие этого подхода с использованием PINNs может обеспечить непрерывное уточнение моделей повреждённости в процессе эксплуатации.

Для несущих конструкций (строительные и мостовые конструкции, элементы каркасов зданий) характерны длительные сроки эксплуатации, накопление усталостных повреждений под действием циклических нагрузок и коррозионные процессы. Применение PINNs в этой области позволяет:

- идентифицировать зарождающиеся повреждения по данным вибродиагностики;
- прогнозировать развитие трещин с учётом реальной истории нагружения;
- оценивать остаточный ресурс после превышения проектного срока службы.

Авиационная отрасль предъявляет наиболее жёсткие требования к достоверности прогнозов ресурса. Детали планера, диски и лопатки турбин, элементы шасси работают в условиях сложного термомеханического нагружения и требуют

учёта множества факторов. Как отмечается в работах ЦАГИ, применение методов машинного обучения, интегрированных с физическими моделями, открывает новые возможности для продления ресурса и обеспечения безопасности полётов [14].

Ветроэнергетические установки подвержены сложным циклическим нагрузкам, варьирующимся в широких пределах в зависимости от погодных условий. Наиболее критичными элементами являются лопасти, главный вал, зубчатые передачи и фундамент. Применение PINNs позволяет учитывать реальные спектры нагружения при расчёте накопления усталости и интегрировать данные систем мониторинга для уточнения моделей [15].

Одним из главных препятствий для широкого внедрения методов машинного обучения в ответственных инженерных приложениях является их низкая интерпретируемость. Инженеры и регулирующие органы обоснованно требуют понимания того, почему модель даёт тот или иной прогноз, особенно когда речь идёт о безопасности.

PINNs предоставляют принципиальную возможность повышения интерпретируемости за счёт того, что их поведение частично детерминировано известными физическими законами. Если прогноз модели согласуется с фундаментальными уравнениями механики, это служит дополнительным подтверждением его достоверности.

Вопросы верификации математических моделей в механике деформируемого твёрдого тела подробно рассмотрены в работе С. А. Лурье и В. А. Левина [16]. Авторы подчёркивают необходимость многоступенчатой проверки моделей, включая сравнение с аналитическими решениями, экспериментальными данными и результатами расчётов по независимым методикам. Для PINNs такая верификация особенно важна и должна включать анализ чувствительности к выбору весовых коэффициентов в функции потерь и к объёму обучающих данных.

Несмотря на впечатляющие результаты, применение PINNs к сложным трёхмерным задачам механики разрушения остаётся вычислительно затратным. Исследования гибридных методов ускорения, таких как separable PINNs и использование предобученных моделей, показывают возможность существенного сокращения времени обучения. Перспективным направлением является применение нейрооператоров, способных обучаться на параметризованных семействах задач и мгновенно давать решение для новых значений параметров.

Известной проблемой PINNs является сложность обучения для задач с жёсткими уравнениями и многошкальной динамикой. Как отмечают М. Е. Ладонкина с соавторами, «для успешного обучения PINNs необходим тщательный подбор весовых коэффициентов в функции потерь и использование методов адаптивного перераспределения точек коллокации» [1, с. 18].

Для широкого промышленного внедрения PINNs необходима разработка стандартов верификации и валидации, а также процедур сертификации для ответственных применений. В авиационной и атомной отраслях, где требования к безопасности максимальны, эта проблема стоит особенно остро.

Физически-информированные нейронные сети представляют собой новое перспективное направление в моделировании процессов деградации механических систем и прогнозировании остаточного ресурса. Гибридный подход, сочетающий фундаментальные законы механики сплошных сред с гибкостью методов машинного обучения, позволяет преодолеть ограничения классических методов и обеспечить

необходимую для практических приложений точность, интерпретируемость и количественную оценку неопределённостей.

В статье рассмотрены основные архитектурные решения PINNs применительно к задачам идентификации повреждений и прогнозирования RUL, проанализированы подходы к учёту физических закономерностей и оценке неопределённостей, представлены примеры реализации для несущих конструкций, элементов авиационной техники и узлов ветрогенераторов.

Дальнейшее развитие данного направления связано с повышением вычислительной эффективности, улучшением стабильности обучения, развитием методов интерпретируемости и разработкой процедур сертификации для ответственных применений. Внедрение PINNs в практику расчётов на прочность и прогнозирования ресурса позволит существенно повысить безопасность и экономическую эффективность эксплуатации сложных технических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ладонкина М.Е., Неклюдова Е.А., Тишкин В.Ф. Применение физически-информированных нейронных сетей для решения задач механики сплошных сред // Математическое моделирование. — 2021. — Т. 33, № 8. — С. 3–24.
2. Партон В.З., Морозов Е.М. Механика упругопластического разрушения. — М.: Наука, 1985. — 504 с.
3. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Прочность и ресурс элементов конструкций в условиях малоциклового усталости. — М.: Наука, 2013. — 382 с.
4. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин на прочность и долговечность. — М.: Машиностроение, 1985. — 224 с.
5. Стружанов В.В., Соколов С.В. Применение нейронных сетей для прогнозирования усталостной долговечности материалов // Проблемы машиностроения и надежности машин. — 2020. — № 4. — С. 34–42.
6. Белоусов А.И., Горячева И.Г. Гибридные модели в механике контактного взаимодействия // Трение и износ. — 2022. — Т. 43, № 5. — С. 437–446.
7. Звягин А.В., Рябов В.М. Об использовании нейронных сетей для решения задач гидродинамики // Вычислительная механика сплошных сред. — 2022. — Т. 15, № 2. — С. 123–135.
8. Калинин А.А., Лапшин А.С. Физически-информированные нейронные сети в механике деформируемого твердого тела // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. — 2023. — № 1. — С. 45–58.
9. Ватульян А.О. Обратные задачи в механике деформируемого твердого тела. — М.: Физматлит, 2007. — 224 с.
10. Ломакин В.А., Окопный Ю.А. Идентификация повреждений в конструкциях по данным вибродиагностики // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. — 2018. — № 3. — С. 45–58.
11. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник. — М.: Машиностроение, 2003. — 656 с.
12. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций. — М.: Машиностроение, 1990. — 448 с.

13. Гольдштейн Р.В., Осипенко Н.М. О вероятностных моделях разрушения // Известия РАН. Механика твердого тела. — 2019. — № 2. — С. 56–68.
14. Шлянников В.Н., Ильин А.В. Оценка остаточного ресурса авиационных конструкций с учетом реальных условий эксплуатации // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника. — 2021. — № 2. — С. 112–123.
15. Селихов А.Ф., Тихомиров В.П. Мониторинг состояния лопастей ветрогенераторов на основе виброакустических измерений // Альтернативная энергетика и экология. — 2020. — № 4. — С. 23–31.
16. Лурье С.А., Левин В.А. Верификация математических моделей в механике деформируемого твердого тела // Известия РАН. Механика твердого тела. — 2018. — № 6. — С. 3–16.

УДК: 614.84: 621.431

В.Е. Минлигалин¹, А.Г. Бубнов², А.Д. Семенов²

¹ ГУ МЧС России по Красноярскому краю

² Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕОБХОДИМОЙ ВЯЗКОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ, ЭКСПЛУАТИРУЕМОГО В РАЙОНАХ С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Аннотация: в статье приведен анализ износов двигателя пожарного автомобиля, возникающих при его эксплуатации в районах Крайнего Севера, местностях, приравненных к районам Крайнего Севера и в Арктической зоне Российской Федерации (далее – АЗРФ). Обозначена проблема возникающего износа двигателей автомобиля. Рассмотрены действующие решения сохранения тепла двигателя в подкапотном пространстве пожарных автомобилей. Предложен инновационный способ теплоизоляции двигателя пожарного автомобиля.

Ключевые слова: Арктическая зона, пожарный автомобиль, износ, моторное масло, тепловой чехол, автоодеяло, короб.

V.E. Minligalin, A.G. Bubnov, A.D. Semenov

PROVIDING THE NECESSARY VISCOSITY OF ENGINE OIL FOR A FIRE TRUCK ENGINE OPERATED IN AREAS WITH LOW AMBIENT TEMPERATURES

Abstracts: the article provides an analysis of the engine wear of fire trucks that occurs during their operation in the Far North, areas equivalent to the Far North, and the Arctic zone of the Russian Federation. The problem of the emerging wear of car engines is indicated. The article discusses existing solutions for preserving engine heat in the engine compartment of fire trucks. An innovative method for insulating the engine of a fire truck is proposed.

Keywords: Arctic zone, fire truck, wear and tear, engine oil, thermal cover, car blanket, box.

Районы Крайнего Севера, местности, приравненные к районам Крайнего Севера и АЗРФ, занимают примерно 70 % территории России, что составляет около 12 млн. км² [1]. Эксплуатация пожарных автомобилей (ПА) в регионах, где преобладают низкие температуры, требует особого внимания к надёжности их основного силового агрегата. Это связано с тем, что отрицательные температуры ускоряют процесс износа, снижая ресурс и работоспособность технических узлов с повышением количества отказов системы [2], [3]. Цель данной работы заключается в выявлении возможности увеличения эксплуатационной надёжности основного силового агрегата ПА в условиях низких температур с учётом обеспечения оптимальной вязкости моторного масла для двигателей ПА, эксплуатируемых в районах Крайнего Севера, местностях, приравненных к районам Крайнего Севера и в АЗРФ.

Основной задачей пожарно-спасательных подразделений (ПСП) при поддержании ПА в постоянной готовности к реагированию на возникающие чрезвычайные происшествия и ситуации, является обеспечение её безотказной работы. Исправность двигателя ПА напрямую влияет на возможность оперативного реагирования [4], [5]. Актуальность проблем надёжности работы двигателя ПА возрастает в регионах, входящих в состав районов Крайнего Севера, местностях, приравненных к районам Крайнего Севера и АЗРФ, где низкие температуры оказывают негативное влияние на работоспособность всех систем двигателя ПА.

При эксплуатации двигателя ПА в условиях низких температур происходят процессы, влияющие на его дальнейшую работоспособность, а именно при его запуске, в следствии чрезмерной вязкости моторного масла уменьшается его смазывающая способность и возрастает текучесть, затрудняя его прокачку. Возникают ударные нагрузки на двигатель при запуске, увеличивается расход топлива, ухудшаются параметры экологической безопасности. Совокупность негативных факторов приводит к приведённым ниже видам износа [6].

1. Абразивный износ.

Данный вид износа связан с тем, что, в момент запуска двигателя пожарного автомобиля при низких температурах, высокая вязкость моторного масла приводит к недостаточной смазке. Это увеличивает прямой контакт металлических поверхностей внутри силового агрегата и ускоряет их абразивное разрушение органическими и неорганическими частицами загрязнений, которые попадают в масляную систему.

2. Адгезионный износ.

Недостаточная смазка узлов двигателя влияет на толщину масляной пленки (она становится слишком тонкой), в условиях холодного пуска это приводит к адгезии поверхностей, что при последующем поступательном движении приводит к отрыву микрочастиц металла.

3. Питтинг.

Повторяющиеся ударные нагрузки во время холодного пуска двигателя, когда масло ещё не достигло необходимой вязкости и не обеспечило полного смазывания поверхностей, способствуют образованию трещин и последующему питтингу (выкрашиванию) материала.

4. Коррозионный износ.

При адгезионном износе, происходит отрыв микрочастиц металла, что приводит к увеличению зазоров и нарушению герметичности. В данных зазорах скапливаются продукты сгорания и конденсат, что приводит к дальнейшему разрушению металла.

Также низкие температуры оказывают воздействие на резиновые уплотнители, которые теряют эластичность, что приводит к их разрушению, вследствие чего происходит утечка масел, а также охлаждающей жидкости [7], [8].

С целью уменьшения теплопотерь и таким образом поддержания оптимальной вязкости масла в двигателе ПА, необходимо решить проблему с его быстрым остыванием. В настоящее время при эксплуатации ПА в условиях низких температур, с целью сохранения тепла в подкапотном пространстве, используются следующие решения:

1. Тепловой чехол (далее – Чехол).

Использование чехла – самый распространенный метод (рис. 1). Однако, несмотря на кажущуюся простоту и эффективность, этот метод защиты двигателя ПА, от воздействия холодного окружающего воздуха, имеет ряд недостатков. Чехол защищает только ту зону, которую закрывает. Незакрытые участки подвержены перемерзанию, особенно чувствительны к этому процессу элементы системы охлаждения двигателя. Чехол препятствует естественной вентиляции в подкапотном пространстве, особенно при различных режимах эксплуатации, таких как движение пожарного автомобиля на низких скоростях и работе в стационарном режиме при включенном пожарном насосе во время подачи огнетушащих веществ на нужды пожаротушения. Данные режимы эксплуатации приводят к накоплению избыточного тепла двигателя, что повлечет за собой перегрев масла в двигателе и может привести к серьёзным последствиям: разрушение базового масла, окислению масла, потеря защитных свойства масла, повреждение вкладышей и коленчатого вала, повреждение поршневой группы, поломка турбокомпрессора.



Рис. 1. Применение теплового чехла на пожарном автомобиле

Отсутствуют устройства (принудительные, автоматические) регулировки подачи притока окружающего воздуха в подкапотное пространство во избежание перегрева двигателя.

2. Утеплитель для двигателя автомобиля (далее – Автоодеяло).

Автоодеяло – это современный пассивный утеплитель, позволяющий уменьшать тепловые потери и позволяющий двигателю быстрее нагреваться и дольше остывать (рис. 2).



Рис. 2. Применение автоодеяла для двигателя автомобиля

Плюсов во время эксплуатации достаточно, но и минусы тоже есть, о них-то и молчат производители. Отрицательной стороной использования автоодеяла является риск возникновения пожара. Сами по себе они довольно устойчивые к возгоранию, но условия эксплуатации под капотом ПА могут нивелировать этот плюс. К ещё одному минусу утеплителя для двигателя относится усложнение обслуживания автомобиля. По регламенту, при проведении ЕТО, водитель пожарного автомобиля должен проверить уровень технических жидкостей. Чтобы добраться до нужных узлов, придётся постоянно убирать одеяло и укладывать его обратно. Данная процедура становится трудозатратной по времени, что может сказаться на своевременности реагирования ПСП по назначению. У современных ПА подкапотное пространство открыто, в нем находятся достаточное количество движущихся узлов, например, вентиляторов или ремней. Если неправильно уложить одеяло, его может затянуть в приводные ремни и вывести двигатель из строя. Также отсутствуют условия регулировки по недопущению перегрева двигателя.

Анализируя представленные способы сохранения тепла в подкапотном пространстве двигателя пожарного автомобиля, можно сделать вывод, что их применение – это эффективное решение по увеличению времени остывания моторного масла, но в то же время данные способы не совершенны. Для решения проблемы быстрого остывания моторного масла, с учётом возникающих вызовов, при использовании теплового чехла и автоодеяла, предлагается внедрение инновационного способа – установка защитного «короба».

В настоящее время одним из перспективных и экономически эффективных способом сохранения тепла, аналогов которого не существует, является создание специального «короба», защищающего двигатель от повышенной теплопотери при запуске и эксплуатации пожарного автомобиля в климатических условиях районов Крайнего Севера, местностях, приравненных к районам Крайнего Севера и АЗРФ.

Этот короб, выполненный из теплоизолирующих материалов, будет выполнять несколько, приведённых ниже, функций.

1. Сохранение тепла.

Герметичность короба будет минимизировать теплопотери от двигателя. Даже после его остановки тепло внутри будет сохраняться, что благоприятно будет влиять на увеличение времени остывания моторного масла.

2. Ветрозащита.

Герметичность также будет препятствовать прямому воздействию холодного ветра на элементы двигателя, снижая скорость его остывания.

3. Снижение конденсата.

Создание стабильного температурного режима в подкапотном пространстве может снизить интенсивность образования конденсата, что, в свою очередь, уменьшит риск коррозионного износа.

4. Уменьшение влияния тепла на другие технические узлы.

5. Возможность регулировки притока окружающего воздуха.

За счет установки короба вокруг двигателя, тепло, исходящее от него, не будет перегревать другие механизмы, находящиеся в подкапотном пространстве.

Перспективность исследования в данном направлении будет направлена на поиск подходящих материалов для защитного «короба», оптимизацию его конструкции с учётом обеспечения доступа к ключевым узлам для технического обслуживания, а также соблюдения требований пожарной безопасности и вентиляции; моделирование влияния различных метеоусловий и температурных режимов работы двигателя.

В результате проведённого исследования установлено, что внедрение защитного «короба» в подкапотное пространство ПА может позволить повысить, наряду с другими мероприятиями [9], эксплуатационную надёжность основного силового агрегата в условиях низких температур. Данное инновационное приспособление может обеспечить необходимую вязкость моторного масла за счёт увеличения времени его остывания, а также увеличить готовность ПСП к выполнению задач в экстремальных отрицательных температурных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арктика: перспективы, инновации и развитие регионов: IX Международный Арктический саммит: сборник материалов, Москва - Санкт-Петербург, 22–25 апреля 2025 года. – М.: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, 2025. – 352 с. – EDN XQUKRM.

2. Логинов, И. А. Особенности эксплуатации автомобильной техники в зимних условиях / И. А. Логинов, О. А. Алешков // Современные аспекты развития и безаварийной эксплуатации автомобильной техники (бронетанкового вооружения и техники): Сборник научных статей межвузовской научно-технической конференции, Новосибирск, 25 мая 2022 года. – Новосибирск: Новосибирский военный институт имени генерала армии И.К. Яковлева войск национальной гвардии Российской Федерации, 2022. – С. 84-89. – EDN WAGKDI.

3. Годлевский, В. А. Трибологические проблемы пожарной техники / В. А. Годлевский, Ю. Н. Моисеев // Пожарная и аварийная безопасность. – 2016. – № 2(2). – С. 31-38. – EDN POWQZH.

4. Опарин, Д. Е. Особенности эксплуатации пожарных автомобилей на пожаре в условиях низких температур / Д. Е. Опарин // Экология и безопасность

жизнедеятельности: Сборник статей XXIII Международной научно-практической конференции, Пенза, 11–12 декабря 2023 года. – Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. – С. 311-314. – EDN DBGTYE.

5. Губанов, А. П. Восстановление боеготовности пожарно-спасательных подразделений: пути сокращения времени / А. П. Губанов, А. Г. Бубнов // Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 23 мая 2025 года. – Железногорск: Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. – С. 221-226. – EDN DMMQXM.

6. Анализ и методы повышения надежности двигателя внутреннего сгорания / Р. М. Галиев, А. Ю. Барыкин, Р. Ф. Илдарханов [и др.] // Научно-технический вестник Поволжья. – 2022. – № 4. – С. 54-56. – EDN ARJHIJ.

7. Рациональный выбор и периодичность замены моторных масел при эксплуатации автомобилей в условиях низких температур / А. П. Жигадло, С. В. Корнеев, В. А. Лисин [и др.] // Информационные технологии и инновации на транспорте: Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции, Орёл, 22–23 мая 2019 года / Под общей редакцией А.Н. Новикова. – Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. – С. 241-248. – EDN YTBVXY.

8. Сараев, И. В. Алгоритм боевых действий по тушению пожара на автомобильном транспорте / И. В. Сараев, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов // Технологии техносферной безопасности. – 2025. – № 3(109). – С. 59-73. – DOI 10.25257/TTS.2025.3.109.59-73. – EDN DKLCXQ.

9. Анализ конструктивных особенностей и способов заполнения пенобака пожарного автомобиля / А. П. Губанов, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов, И. В. Сараев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2025. – № 2(55). – С. 40-47. – EDN MFBOBP.

УДК 621.4252.32

С.Л. Панченко, Я.Г. Сушков

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова

СНИЖЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ МАСЛА В АВИАЦИОННОМ ГАЗОТУРБИННОМ ДВИГАТЕЛЕ ЗА СЧЕТ ОХЛАЖДЕНИЯ ВОЗДУХОМ

Аннотация: В статье обоснована необходимость снижения температуры масла в авиационных газотурбинных двигателях и соответственно интенсификации его охлаждения. С ростом температуры газов перед турбиной возрастает температура элементов двигателя и смазывающего их масла, поэтому интенсификация процесса охлаждения масла, позволяющая снизить его температуру, является основным способом сохранения смазочных свойств. С данной целью предлагается охлаждение масла воздухом, для чего вместо топливомасляного теплообменника предлагается установка воздухомасляного.

Ключевые слова: авиационный газотурбинный двигатель, охлаждение масла, топливомасляной теплообменник, воздухомасляной теплообменник, интенсификация процесса теплообмена.

S.L. Panchenko, Ya.G. Sushkov

OIL TEMPERATURE REDUCING IN AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINES BY AIR COOLING

Abstract: The article substantiates the need to reduce the oil temperature in aircraft gas turbine engines and, accordingly, intensify its cooling. As the gases before the turbine temperature increases, the temperature of the engine elements and the oil lubricating them increases, therefore, the oil cooling process intensify, which allows reducing its temperature, is the main way to maintain lubricating properties. For this purpose, it is proposed to cool the oil with air, for which an air-to-oil exchanger is proposed instead of a fuel-to-oil heat exchanger.

Keywords: aircraft gas turbine engine, oil cooling, fuel-to-oil heat exchanger, air-to-oil heat exchanger, heat process exchange intensify.

Совершенствование конструкций летательных аппаратов как гражданской, так и военной авиации шло в XX веке, происходит оно и в настоящее время. Задачи, решаемые авиацией, постоянно усложняются, а это значит, что необходимо постоянное совершенствование самолётов и вертолётов. Важнейшим элементом любого летательного аппарата, без которого полёт был бы невозможен, является авиационный двигатель. Именно двигателестроение определяет вектор развития, совершенствование всей авиации. Поэтому конструкция авиационных двигателей постоянно совершенствуется, причём главной задачей в зависимости от назначения самолёта является или рост удельной тяги, или, при одной и той же тяге, – снижение габаритных размеров и массы двигателя.

Современные летательные аппараты оснащены газотурбинными двигателями, в которых вышеперечисленные задачи прежде всего решаются достижением более высоких термодинамических параметров цикла работы двигателя (цикла Брайтона-Стечкина). Основным параметром данного цикла является температура газов после камеры сгорания, перед газовой турбиной, и она является наивысшей в цикле Брайтона-Стечкина, а значит и во всём двигателе. Именно увеличение данной температуры способствует росту КПД двигателя и его удельной тяги, поэтому с каждым поколением авиационных газотурбинных двигателей температура газов перед турбиной становится всё больше и больше. За последние более чем полвека она возросла на величину 300...400 К, а направление её увеличения является генеральным в авиационном двигателестроении [1]. У двигателей пятого поколения, которые конструируются сейчас, она превысит 2000 К [2].

Однако увеличение данного параметра приводит к росту тепловой нагрузки на газовую турбину, вал ротора турбокомпрессора, его опоры и т.д., что отрицательно сказывается на надёжности данных элементов и двигателя в целом, увеличивает вероятность выхода из строя и досрочного съёма двигателя. В связи с этим необходимо решать проблемы охлаждения элементов авиационного двигателя. Совершенствованием охлаждения газовых турбин и изготовлением высокотемпературных материалов для них занимаются по всему миру не одно десятилетие, и это является одним из острых вопросов авиационного двигателестроения [2]. Но сильно нагреваются не только элементы турбин, этому подвержена вся горячая часть двигателя, а кроме неё – вал ротора турбокомпрессора, который, как известно, соединяет газовую турбину с компрессором. Данный вал вращается в опорах, подшипники которых смазываются маслом. При увеличении

температуры газа перед турбиной детали самой турбины, вал ротора и его опоры, а значит и смазывающее их масло, будут нагреваться сильнее. Однако сейчас, на более теплонагруженных двигателях, с более высокой температурой газов перед турбиной, для смазки их элементов используются те же самые масла, что и в 70-х годах прошлого века [3]. Данные масла разрабатывались для двигателей предыдущих поколений, в которых максимальные температуры газов были заметно меньше, соответственно были меньше и максимальные температуры масла (не более 200 °С). Однако с совершенствованием двигателей и увеличением максимальных температур газов в цикле их работы температуры масла могут возрасти и выше, при этом смазывающие свойства за счёт сильного снижения вязкости могут быть потеряны, поэтому появляется вероятность недостаточной смазки, и как следствие увеличение вероятности выхода из строя элементов двигателя, снижения их надёжности и долговечности. Таким образом, в авиационных газотурбинных двигателях, при использовании старых типов масел, основным способом снижения температуры масла является интенсификация процесса его охлаждения в теплообменниках масляных систем [4].

Все газотурбинные двигатели современных летательных аппаратов оснащены масляными системами, в которых масло из специального бака нагнетающими насосами подаётся во все узлы, смазка которых необходима, а далее откачивающими насосами отводится или обратно в бак, или снова в нагнетательные трубопроводы, таким образом циркулируя по замкнутому контуру. Масляные системы оснащены теплообменниками, через которые проходит горячее масло после смазки опор ротора турбокомпрессора и других узлов. Данные теплообменники представляют собой кожухотрубчатые аппараты, в которых масло циркулирует внутри кожуха в межтрубном пространстве, а внутрь труб аппарата топливным насосом подаётся менее вязкое авиационное топливо, которое отбирает теплоту от масла. Таким образом, осуществляется процесс теплопередачи от горячего теплоносителя (масла) через стенки теплообменных труб холодному теплоносителю (топливу).

Как известно из теории теплопередачи, тепловой поток, передаваемый от горячего теплоносителя к холодному через разделяющую их твёрдую стенку, пропорционален площади поверхности данной стенки, средней разности температур и коэффициенту теплопередачи [5]. На нём остановимся подробнее, поскольку данный коэффициент является одним из важных показателей интенсивности протекания теплообменного процесса, и его увеличение играет одну из ключевых ролей в интенсификации процесса теплопередачи через стенку, а значит и лучшего охлаждения горячего теплоносителя, в данном случае масла. Коэффициент теплопередачи от одного теплоносителя другому через стенку определяется в соответствии с формулой:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + R_{cm} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1)$$

где k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·К);

α_1, α_2 – коэффициенты теплоотдачи, Вт/(м²·К);

R – термическое сопротивление стенки, (м²·К)/Вт.

Согласно (1), для увеличения коэффициента теплопередачи необходимо увеличивать коэффициенты теплоотдачи (α_1 в данном случае – от горячего теплоносителя (масла) стенке и α_2 – от стенки холодному теплоносителю, в роли которого выступает топливо), либо увеличивать меньший из них.

Как известно, из-за наличия множества факторов, от которых зависит коэффициент теплоотдачи от теплоносителя стенке (или наоборот) обычные математические формулы для расчёта данного коэффициента применить невозможно, поэтому используется теория подобия, где определяется критерий подобия Нуссельта (безразмерный коэффициент теплоотдачи).

При использовании теории подобия критерий Нуссельта определяют с помощью критериальных уравнений, полученных экспериментальным путём для различных размеров труб, скоростей и режимов теплоносителей и т.п. В общем случае критериальное уравнение выглядит следующим образом:

$$Nu = A Re^m Pr^n, \quad (2)$$

где A , m , n – полученные эмпирическим путём константы, зависят от режима движения теплоносителей, формы и конфигурации труб и т.д.;

Re , Pr – критерии Рейнольдса и Прандтля, характеризующие соответственно соотношение между силами инерции и вязкостными силами и теплофизические свойства теплоносителя.

Таким образом, согласно уравнению (2), для увеличения критерия Нуссельта а соответственно и коэффициента теплоотдачи, необходимо увеличения критерия Рейнольдса. Влияние критерия Прандтля можно не учитывать, поскольку он представляет собой безразмерный комплекс теплофизических свойств теплоносителя (теплоёмкости, коэффициентов теплопроводности и вязкости) и при одном и том же среднем температурном напоре в двух способах охлаждения фактически не изменится. Критерий Рейнольдса зависит от скорости теплоносителя, определяющего размера трубы и вязкости теплоносителя. Влияние вязкости не рассматриваем по той же причине, что и критерия Прандтля, а на изменении скорости теплоносителя остановимся подробнее, поскольку она напрямую влияет на критерий Рейнольдса и соответственно, критерий Нуссельта и коэффициент теплоотдачи. Иначе говоря, заметно увеличив скорость холодного теплоносителя, можно также увеличить критерий Нуссельта, коэффициент теплоотдачи и интенсифицировать процесс охлаждения горячего теплоносителя (масла).

Скорость теплоносителя в трубе круглого сечения, как известно, зависит от его расхода и площади данного сечения. Расход горячего теплоносителя, т.е. масла, примерно равный производительности нагнетающего масляного насоса, под которую также рассчитано множество трубопроводов масляной системы, изменить не представляется возможным. Однако можно увеличить скорость масла, изменив площадь сечения канала, по которому оно циркулирует в теплообменнике, о чём будет сказано ниже. В то же время скорость холодного теплоносителя можно существенно увеличить, отказавшись от охлаждения масла топливом в топливомасляном теплообменнике. Вместо него предлагается использовать воздухомасляный теплообменник, установленный на входе в двигатель. Данный теплообменник представляет собой трубу, изготовленную в виде змеевика и установленную в начале корпуса компрессора двигателя, а в двухконтурных двигателях – в начале второго

контура, после компрессора низкого давления, что наиболее выгодно, поскольку в основном контуре нагрев входящего воздуха может снизить КПД компрессора, а значит и всего двигателя. Вместо топливомасляного теплообменника, от использования которого отказываемся, масло будет подаваться в данную змеевиковую трубу, охлаждаться в ней за счёт обдува воздухом, подаваемым в двигатель и, охладившись, возвращаться в масляную систему. Использование воздуха, а не топлива, как холодного теплоносителя, даст заметное увеличение критерия Рейнольдса, а значит, в соответствии с (2), – критерия Нуссельта и коэффициента теплоотдачи от стенки холодному теплоносителю (воздуху), интенсифицирует процесс теплообмена. Это происходит потому, что в двигателе расход воздуха (который и будет обдувать воздухо-воздушный теплообменник) намного больше расхода топлива в трубах топливомасляного теплообменника. Так, массовый расход воздуха через двигатель АЛ-31Ф, которым оснащены большинство самолётов военного назначения семейства Сухого, при крейсерском режиме равен 112 кг/с, в то время как значение массового расхода топлива в топливомасляном теплообменнике, установленном после основного топливного насоса, равно производительности данного насоса и на этом же режиме составляет 0,75 кг/с [4]. И даже при установке воздухомасляного теплообменника во второй контур, где, поскольку степень двухконтурности данного двигателя равна 0,56, значение данного расхода будет составлять 40 кг/с, что больше расхода топлива более чем в 50 раз. Поэтому скорость холодного теплоносителя увеличится. С другой стороны, если, для уменьшения площади сечения и соответственно увеличения скорости, подобрать внутренний диаметр змеевика воздухомасляного теплообменника (внутри которого будет проходить масло), примерно в 10 раз меньше чем диаметр обечайки топливомасляного теплообменника (размеры последнего это позволяют), то при одном и том же расходе, равном производительности масляного насоса, скорость масла увеличится более чем в 50 раз. Это даст увеличение критерия Рейнольдса, а значит и критерия Нуссельта, коэффициента теплоотдачи для обоих теплоносителей и в итоге – увеличение коэффициента теплопередачи. Теоретические расчёты, проведённые на примере двигателя АЛ-31Ф, показали, что в случае установки воздухомасляного теплообменника в виде змеевика во второй контур, значение коэффициента теплопередачи увеличивается более чем в 5 раз [4].

Таким образом, применение воздухомасляного теплообменника в современных теплонагруженных авиационных двигателях позволяет интенсифицировать процесс охлаждения масла, а значит, в итоге, снизить его температуру, соответственно, снизить вероятность потери маслом смазочных свойств при увеличении температурных нагрузок в двигателе, что положительно скажется на его надёжности и снизит вероятность выхода из строя смазываемых узлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даниленко, Н. В., Теория авиационных двигателей. Часть 1 / Н. В. Даниленко, П. М. Кривель. – Иркутск: ИВВАИУ, 2006. – 294 с.
2. Панченко, С. Л. Системы охлаждения камер сгорания и турбин двигателей летательных аппаратов и газотурбинных установок: учебное пособие / С. Л. Панченко, С. А. Толстов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2024. – 296 с.

3. Трянов, А. Е. О тепловой защите масляных полостей опор создаваемых ГТД / А. Е. Трянов, О. А. Гришанов, А. С. Виноградов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. – 2009. – № 3 (19). – С. 318-328.

4. Панченко, С. Л. Интенсификация охлаждения масла при установке воздухомасляного теплообменника во втором контуре двухконтурного турбореактивного двигателя / С. Л. Панченко // Вестник УГАТУ. – 2023. – № 2 (100). – С. 3-14.

5. Михеев, М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, А. М. Михеева. – 2-е изд., стереотип. – М.: «Энергия», 1977. – 344 с.

УДК 621.9.079

Д.С. Репин, С.А. Шабунин, В.Б. Бубнов, Е.В. Зарубина
Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

СНИЖЕНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ТРУДНООБРАБАТЫВАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ АКТИВАЦИИ СОТС КОРОННЫМ РАЗРЯДОМ

Аннотация: Исследовано влияние активации коронным разрядом полимерсодержащих смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) на параметр шероховатости Ra обработанной поверхности при сверлении титанового сплава VT5-1. Эксперименты проводились с использованием сверл из быстрорежущей стали Р6М5К5. В качестве базового состава применялся Эфтол с присадкой поливинилового спирта (ПВС). Активация осуществлялась коронным разрядом с положительной и отрицательной полярностью электрода ($U=\pm 6$ кВ). Установлено, что применение состава Эфтол + ПВС с отрицательной активацией обеспечивает снижение относительно базового неактивированного состава.

Ключевые слова: титановый сплав VT5-1, сверление, СОТС, коронный разряд, активация, поливиниловый спирт, шероховатость поверхности.

D.S. Repin, S.A. Shabunin, V.B. Bubnov, E.V. Zarubina
Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia

REDUCTION OF SURFACE ROUGHNESS WHEN DRILLING DIFFICULT-TO-CUT MATERIALS DUE TO ACTIVATION OF METALWORKING FLUIDS BY CORONA DISCHARGE

Abstracts: The effect of corona discharge activation of polymer-containing lubricating and cooling technological means (CTS) on the roughness parameter Ra of the treated surface during drilling of titanium alloy VT5-1 is investigated. The experiments were carried out using drills made of high-speed steel R6M5K5. Ephthol with an additive of polyvinyl alcohol (PVA) was used as the base composition. Activation was carried out by a corona discharge with positive and negative electrode polarity ($U= \pm 6$ kV). It was found that the use of the composition of Eftol + PVA with negative activation provides a reduction relative to the basic inactive composition.

Keywords: VT5-1 titanium alloy, drilling, CTS, corona discharge, activation, polyvinyl alcohol, surface roughness

Развитие науки и техники связано с необходимостью применения новых материалов со специфическими свойствами, такими как высокая механическая прочность, устойчивость к агрессивным средам, тугоплавкость, вязкость и др. Обработка резанием новых металлов и сплавов оказалась весьма затруднительной, несмотря на значительные успехи, достигнутые в технологии резания, в изготовлении режущего инструмента, а также несмотря на появление новых высококачественных инструментальных материалов.

В связи с этим особое значение приобрела проблема разработки новых эффективных СОТС, применение которых позволяет повысить стойкость режущих инструментов, уменьшить шероховатость поверхности обрабатываемых деталей, повысить производительность процесса резания.

Процесс резания накладывает специфические особенности на механизм действия внешней среды, что определяется высокими давлениями, значительным температурным полем, наличием ювенильных поверхностей, протеканием разного рода химических реакций, диффузией компонентов смазочной среды, обрабатываемого и инструментального материалов.

Используемые при обработке металлов резанием СОТС должны обладать высокой проникающей способностью, образовывать с большой скоростью химические и физические адсорбционные пленки достаточно эффективно разделяющие контактные поверхности и выдерживающие высокие удельные давления в широком диапазоне температур, быть химически активными по отношению к обрабатываемому материалу и достаточно инертными к инструментальному, не вызывать коррозии оборудования, легко удаляться с обработанной поверхности, быть не токсичными и, по возможности, не обладать неприятным запахом, не терять весь комплекс своих свойств в течение продолжительного времени.

Так, например, титановые сплавы, в частности ВТ5-1, широко применяются в авиационной, ракетно-космической и медицинской промышленности благодаря высокой удельной прочности, коррозионной стойкости и биосовместимости. Однако обработка этих материалов резанием сопряжена со значительными трудностями, обусловленными низкой теплопроводностью, высокой химической активностью к инструментальному материалу и склонностью к адгезионному схватыванию [1, 2].

Применение СОТС является одним из наиболее доступных и эффективных способов повышения качества обработки заготовок из титановых сплавов.

Традиционные СОТС не всегда обеспечивают требуемые показатели шероховатости поверхности и стойкости инструмента. Также перспективным направлением является внешнее энергетическое воздействие на СОТС, в частности, активация коронным разрядом, которая способствует генерации активных радикалов и образованию вторичных защитных структур на контактных поверхностях [3, 4].

Введение полимерных кислородсодержащих присадок, таких как поливиниловый спирт (ПВС), усиливает данный эффект за счет термомеханодеструкции макромолекул и образования металлополимерных комплексов, снижающих трение и адгезию [5].

В данной работе было изучено влияние активированных коронным разрядом полимерсодержащих СОТС на высоту микронеровностей R_a полученных отверстий обработанной поверхности. Исследования проводились при сверлении титанового сплава ВТ5-1 сверлами, изготовленными из быстрорежущей стали Р6М5К5. Резание

осуществлялось без СОТС и с применением СОТС. Измерения проводились на профилографе-профилометре «Абрис ПМ7».

В условиях стабильности геометрических характеристик режущего инструмента, режимов резания и прочих параметров эксперимента шероховатость обработанной поверхности является интегральным показателем, чувствительным к изменению внешней среды и действию СОТС. Это позволяет использовать её в качестве критерия для сравнительной оценки эффективности различных смазочно-охлаждающих технологических средств.

Результаты эксперимента представлены на рис. 1 и в таблице. Профили поверхностей ВТ5-1 приведены на рис. 2. Установлено, что применение всех исследуемых составов СОТС способствует снижению шероховатости по сравнению с обработкой без СОТС. Базовый неактивированный состав Эфтол + ПВС обеспечивает снижение R_a на 18 % относительно обработки без СОТС.

Наилучший эффект достигнут при использовании состава Эфтол + ПВС, активированного отрицательным коронным разрядом: снижение R_a относительно базового неактивированного состава составило 37 %, а относительно обработки без СОТС — 48 %.

При положительной активации того же состава снижение R_a относительно неактивированного состава достигло 29 %, что подтверждает определяющую роль полярности разряда в эффективности модификации СОТС.

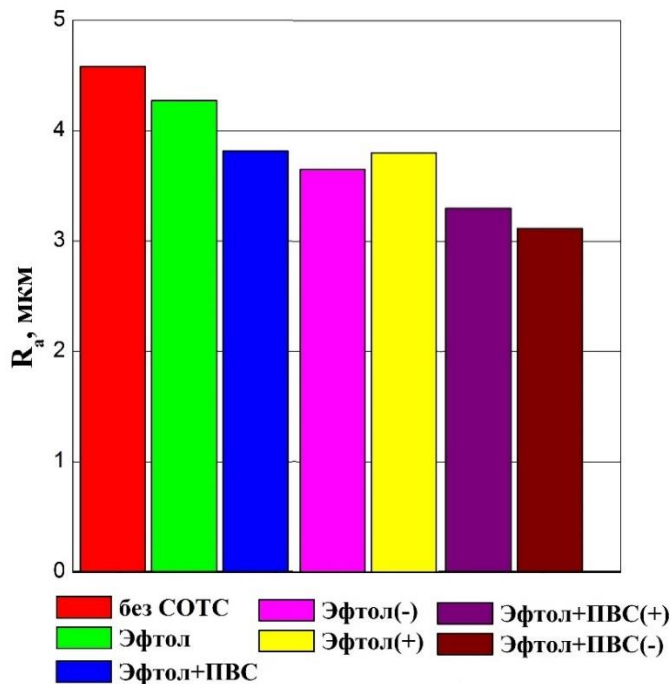


Рис. 1. Шероховатость поверхности при сверлении ВТ5-1 с использованием активированных и неактивированных коронным разрядом полимерсодержащих СОТС ($V = 26$ м/мин, $t = 3,35$ мм, $S = 0,1$ мм/об)

Таблица. Параметр шероховатости R_a при сверлении титанового сплава ВТ5-1

СОТС	R_a , мкм	Снижение относительно без СОТС, %	Снижение относительно неакт. Эфтол+ПВС, %
Без СОТС	4,82	—	—
Эфтол + ПВС	3,95	18	—
Эфтол + ПВС (+)	2,80	42	29
Эфтол + ПВС (-)	2,49	48	37

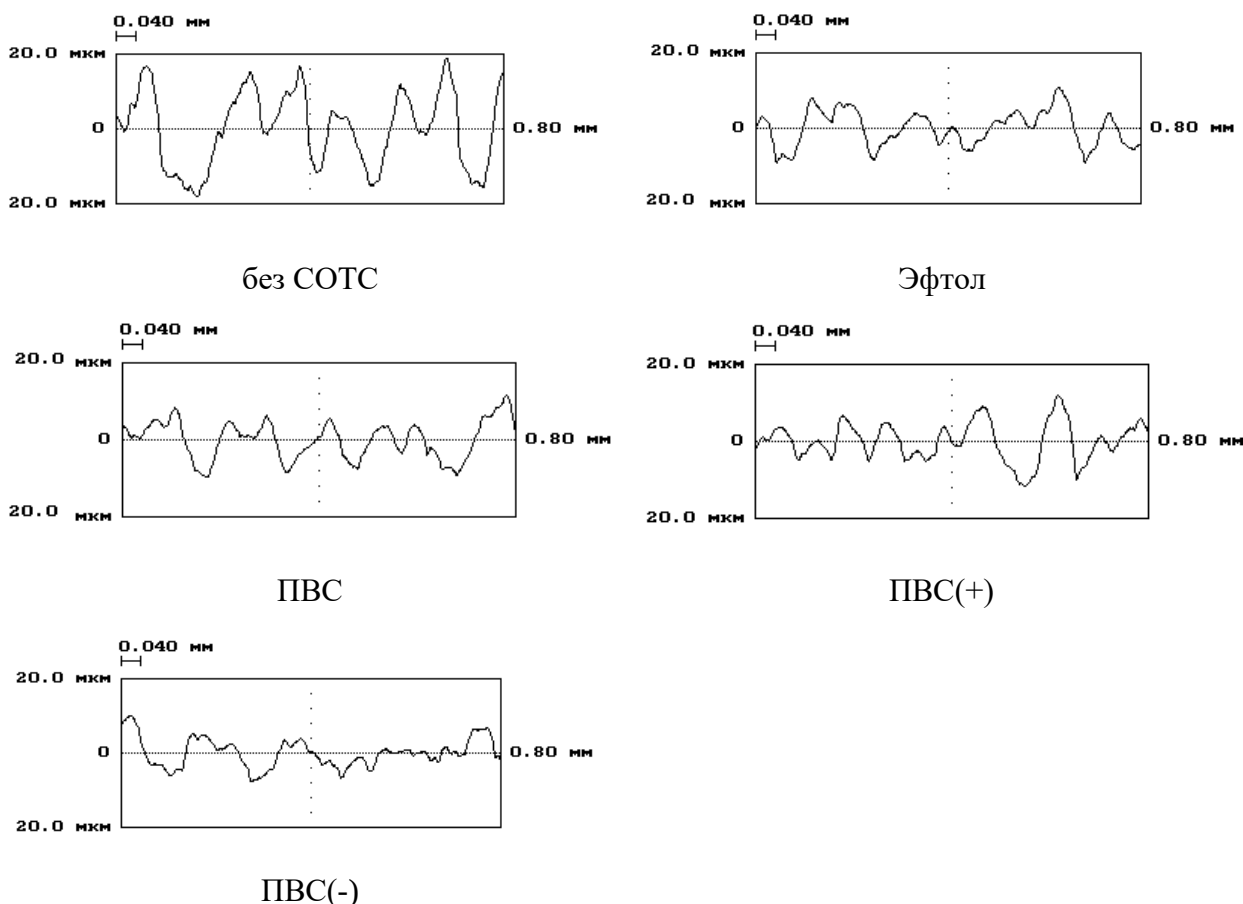


Рис. 2. Профилограммы обработанных поверхностей
($V = 26$ м/мин, $t = 3,35$ мм, $S = 0,1$ мм/об)

Полученные результаты хорошо согласуются с представлениями о радикально-цепном механизме смазочного действия активированных СОТС [3, 4]. Под действием коронного разряда происходит деструкция макромолекул ПВС с образованием активных макрорадикалов.

Отрицательный знак коронирующего электрода обеспечивает более высокую энергию электронов, что интенсифицирует процесс генерации радикалов.

Образовавшиеся макрорадикалы взаимодействуют с ювенильными поверхностями титана, формируя вторичные защитные структуры — металлополимерные комплексы и оксидные плёнки (TiO_2 , Ti_2O_3) [5].

Эти плёнки выполняют следующие функции:

- снижают коэффициент трения на контактных площадках;
- предотвращают адгезионное схватывание инструментального и обрабатываемого материалов;
- способствуют более равномерному стружкообразованию;
- уменьшают тепловыделение в зоне резания.

Снижение трения и температуры, в свою очередь, приводит к уменьшению пластических деформаций поверхностного слоя и, как следствие, к улучшению микрогеометрии обработанной поверхности.

Более высокая эффективность отрицательной активации по сравнению с положительной объясняется:

1. Большей энергией электронов, участвующих в деструкции полимерных цепей.
2. Более интенсивным образованием озона, являющегося дополнительным инициатором окислительных процессов.
3. Оптимальными условиями для адсорбции заряженных частиц на поверхности титана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латышев В.Н. Трибология резания. Кн. 1: Фрикционные процессы при резании металлов. – Иваново: ИвГУ, 2009. – 108 с.
2. Репин Д.С., Наумов А.Г. Об эффективности активации полимерсодержащих смазочно-охлаждающих технологических средств при механической обработке металлов резанием // Вестник УГАТУ. – 2020. – Т. 24, № 2(88). – С. 36-42.
3. Мигранов, М.Ш. О механизме действия кислородсодержащих полимерных присадок, активированных коронным разрядом, при резании металлов / М.Ш. Мигранов, Д.С. Репин, С.А. Сырбу, [и др.] // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2023. № 8. С. 381-384.
4. Репин Д.С., Шабунин С.А., Бубнов В.Б. Изучение взаимодействия кислородсодержащих полимерных присадок к СОТС с поверхностью металлов // Пожарная и аварийная безопасность. – 2024. – № 3(34). – С. 113-121.
5. Metel A.S., Migranov A.M., Repin D.S. et al. Application of Electrostatic Activation of Coolants with Oxygen-Containing Polymer Additives for Cutting Processing // Proceedings of ICIE 2025. – Springer, 2025. – P. 180-190.

УДК 621.9.025.7

А.В. Романов, И.И. Ведерникова

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

МЕТОДЫ МИНИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ, ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ И ОТХОДОВ

Аннотация: в статье рассматриваются подходы к снижению негативного влияния процессов резания на окружающую среду. Анализируются три основные составляющие экологического следа: использование смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), энергопотребление и отходы (стружка, износ инструмента). На основе экспериментальных исследований фрезерования и точения стали, алюминиевых и титановых сплавов показана возможность применения сухого резания, минимального количества смазки (MQL) и криогенного охлаждения жидким азотом. Обоснован комплексный подход к выбору экологически чистой технологии, учитывающий материал, тип обработки и требования к качеству поверхности. Сделан вывод, что внедрение «зеленых» технологий обработки не только

снижает экологическую нагрузку, но и дает экономический эффект за счет сокращения затрат на утилизацию смазочно-охлаждающих жидкостей и повышения производительности.

Ключевые слова: устойчивое производство, сухое резание, MQL, криогенная обработка, энергоэффективность, экологический след.

A.V. Romanov, I.I. Vedernikova

METHODS FOR MINIMIZING THE USE OF COOLING LUBRICANTS, ENERGY CONSUMPTION AND WASTE

Abstracts: this article examines approaches to reducing the negative environmental impact of cutting processes. Three main components of the environmental footprint are analyzed: the use of cutting fluids (CFLs), energy consumption, and waste (chips, tool wear). Experimental studies of milling and turning steel, aluminum, and titanium alloys demonstrate the feasibility of using dry cutting, minimum quantity lubrication (MQL), and cryogenic cooling with liquid nitrogen. A comprehensive approach to selecting environmentally friendly technology is substantiated, taking into account the material, processing type, and surface quality requirements. It is concluded that the implementation of "green" processing technologies not only reduces the environmental impact but also provides economic benefits by reducing the cost of cutting fluid disposal and increasing productivity.

Keywords: sustainable manufacturing, dry cutting, MQL, cryogenic machining, energy efficiency, environmental footprint.

В последнее десятилетие экологические требования к промышленному производству ужесточаются во всем мире. Нормативные акты (в том числе директивы ЕС и национальные стандарты) ограничивают использование токсичных смазочно-охлаждающих жидкостей, предъявляют требования к утилизации отходов и контролю выбросов. Машиностроительные предприятия вынуждены искать способы снижения негативного воздействия на окружающую среду, сохраняя при этом производительность и качество продукции.

Процессы механической обработки резанием традиционно связаны с использованием большого количества смазочно-охлаждающих жидкостей (до нескольких литров в минуту на станок), значительным энергопотреблением (электроприводы главного движения и подачи, насосы СОЖ) и образованием большого количества стружки, загрязненной остатками СОЖ. В последние годы активно развиваются направления «экологичной» обработки: сухое резание, технология минимального количества смазки (MQL), криогенное охлаждение, а также оптимизация режимов для снижения энергопотребления [1–3].

Для оценки экологического следа процесса резания обычно рассматривают три категории:

- Использование СОЖ. Традиционные эмульсии и масла содержат химические вещества, токсичные для человека и окружающей среды (биоциды, ингибиторы коррозии, эмульгаторы). Затраты на приобретение, обслуживание СОЖ (контроль концентрации, фильтрация, удаление бактерий) и утилизацию могут составлять до 15–20 % себестоимости операции. Кроме того, аэрозоли СОЖ ухудшают условия труда и могут вызывать респираторные заболевания [4].

- Энергопотребление. Станки с ЧПУ потребляют много электроэнергии. При этом часть энергии расходуется неэффективно (холостой ход, работа насосов охлаждения, неоптимальные режимы резания). Снижение энергопотребления напрямую сокращает выбросы CO₂, если энергия вырабатывается из ископаемого

топлива. По оценкам, на этапе эксплуатации станка на долю энергии приходится до 90 % углеродного следа [5].

- Отходы. Металлическая стружка подлежит переработке, но наличие остатков смазочно-охлаждающей жидкости, смешанных со стружкой, усложняет процесс переработки и увеличивает затраты. Кроме того, изношенный инструмент содержит карбиды вольфрама, кобальта и другие элементы, которые при неправильной утилизации могут попадать в окружающую среду.

При сухом резании СОЖ не используется. Это возможно при условии использования инструментальных материалов, способных выдерживать повышенные температуры (поликристаллический алмаз, кубический нитрид бора, современные твердосплавные покрытия, например TiAlN, AlCrN), а также при выборе режимов, обеспечивающих эффективный отвод стружки.

Преимущества: отсутствие затрат на СОЖ, упрощение утилизации стружки, улучшение экологической обстановки в цехе, исключение риска химических ожогов.

Ограничения: повышенный тепловой нагрев инструмента, необходимость в специальных покрытиях, ограниченное применение для материалов, склонных к налипанию (алюминий, нержавеющая сталь, титан).

Технология MQL (минимальное количество смазки) предполагает подачу в зону резания аэрозоля из масла (обычно растительного или синтетического, биоразлагаемого) с расходом от нескольких миллилитров до нескольких десятков миллилитров в час. Подача осуществляется через сопла, направленные в зону контакта инструмента и детали.

Преимущества: снижение расхода СОЖ на 2–3 порядка, улучшение отвода стружки и снижение трения по сравнению с сухим резанием, возможность использования для большинства материалов.

Ограничения: требует специального оборудования (генератора аэрозоля, системы очистки воздуха), не всегда эффективно при глубоком сверлении или работе в тяжелых условиях, требуется периодическая очистка рабочей зоны от масляного тумана.

При криогенной обработке используется жидкий азот (температура -196 °С), который подается в зону резания через внешние сопла или внутренние каналы инструмента. Азот испаряется, интенсивно охлаждая инструмент и деталь, при этом не оставляя загрязнений. Этот метод особенно эффективен при обработке труднообрабатываемых материалов (титана, жаропрочных сплавов, композитов), когда высокие температуры быстро выводят инструмент из строя.

Преимущества: значительное снижение температуры в зоне резания (до 500–700 °С против 1000–1200 °С при сухой обработке), увеличение стойкости инструмента в 2–5 раз, отсутствие токсичных отходов, улучшение качества поверхности за счёт предотвращения налипания.

Ограничения: высокая стоимость жидкого азота (хотя она снижается при использовании систем рекуперации), необходимость в криогенном оборудовании и теплоизоляции, риск хрупкого разрушения инструмента при резком охлаждении, дополнительные меры безопасности.

Энергопотребление можно снизить, не меняя принципиально технологию, а лишь выбрав рациональные режимы. Мощность резания определяется как произведение силы резания на скорость. Увеличение подачи и уменьшение глубины резания при сохранении объема снимаемого материала может снизить энергозатраты

(за счет более благоприятного соотношения силы и объема). Кроме того, автоматическое отключение насосов СОЖ и других вспомогательных систем в перерывах между обработкой дает существенную экономию (до 10–15 % от общей потребляемой мощности).

Для количественной оценки эффективности различных подходов была проведена серия экспериментов:

- Точение заготовок из стали 45 (HRC 30) и алюминиевого сплава АМг6 на токарном станке с ЧПУ. Использовались пластины с покрытием TiAlN. Сравнивались режимы сухого точения, MQL (расход 20 мл/ч, рапсовое масло) и традиционное охлаждение эмульсией (расход 5 л/мин). 1).

- Фрезерование пазов в заготовках из титанового сплава Ti-6Al-4V концевой фрезой диаметром 12 мм. Режимы: $V_c = 60$ м/мин, $f_z = 0,08$ мм/зуб, $a_p = 1$ мм. Сравнивались сухое фрезерование, MQL и криогенное охлаждение (жидкий азот, подача через внешнее сопло).

В ходе экспериментов измерялись:

- стойкость инструмента (по критерию затупления задней поверхности на 0,3 мм);
- шероховатость обработанной поверхности R_a ;
- энергопотребление (активная мощность, регистрируемая анализатором качества электроэнергии).

При точении стали 45 без СОЖ стойкость снизилась на 30 % по сравнению с использованием эмульсии. MQL позволила восстановить стойкость практически до уровня эмульсии при сокращении расхода СОЖ в 250 раз. При точении алюминиевого сплава без СОЖ результаты были лучше (стойкость даже выше, чем при использовании эмульсии), что объясняется отсутствием термоциклирования и налипания.

Титановый сплав – материал, склонный к сильному тепловыделению. Сухое фрезерование неприемлемо из-за быстрого износа. MQL повысила стойкость до значений, близких к показателям при эмульсионном охлаждении, но не превысила их. Криогенное охлаждение дало наилучший результат: стойкость выше в 1,7 раза по сравнению с эмульсионным охлаждением, шероховатость снизилась, энергопотребление уменьшилось на 12 % за счёт снижения силы резания (охлаждение уменьшало налипание и пластическую деформацию).

Для титанового сплава был рассчитан совокупный объем затрат на обработку (на 100 деталей) с учетом стоимости инструмента, СОЖ/азота, электроэнергии, утилизации отходов и времени обработки.

- Эмульсия: затраты условно приняты за 1 (базовый вариант).
- MQL: затраты 0,92 (снижение за счет уменьшения расхода СОЖ и утилизации).
- Криогенная: затраты 1,08 (азот дороже, но повышается стойкость и сокращается время обработки; при оптимизации режимов возможно снижение до 0,95).

Криогенная обработка оказалась на 8 % дороже при тех же режимах, но при увеличении режимов резания (за счет повышения стойкости) можно сократить основное время обработки и выйти на экономическую эффективность. MQL оказалась наиболее сбалансированной с точки зрения соотношения экологии и экономики.

Кроме того, всегда следует применять оптимизацию режимов по критерию энергопотребления: увеличение подачи при уменьшении глубины резания позволяет снизить удельную энергию резания. Также рекомендуется устанавливать системы

автоматического отключения насосов СОЖ и освещения при простое (датчики наличия заготовки).

Проведенные эксперименты подтвердили, что переход к экологически ориентированным технологиям требует системного подхода. Нельзя выбрать один универсальный метод — эффективность зависит от материала, типа обработки и требований к качеству.

Важные наблюдения:

- Для алюминиевых сплавов сухое резание не только экологично, но и технологически предпочтительно.

- Для стали MQL является наиболее универсальным решением, особенно для существующего оборудования (требуется лишь дооснащение).

- Для титана и жаропрочных сплавов криогенное охлаждение дает наибольший прирост стойкости и качества, но требует инвестиций. Однако по мере развития технологий стоимость жидкого азота снижается (в том числе за счет систем рекуперации).

Переход на экологически ориентированные технологии обработки требует первоначальных вложений (оборудование для MQL или криогенной обработки, инструмент с покрытиями), но в долгосрочной перспективе дает экономический эффект за счет снижения затрат на смазочно-охлаждающие жидкости, утилизацию и повышения производительности. Кроме того, такие технологии улучшают условия труда и соответствуют современным экологическим стандартам, что повышает конкурентоспособность предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клоке Ф., Айзенблаттер Г. Сухая резка // CIRP Annals. – 1997. – Т. 46, № 2. – С. 519–526.
2. Вайнерт К., Инасаки И., Сазерленд Дж. У., Вакабаяси Т. Обработка без смазки и минимальная подача смазки // CIRP Annals. – 2004. – Т. 53, № 2. – С. 511–537.
3. Шатунов А.П., Леонов С.Л. Экологические аспекты применения смазочно-охлаждающих технологий при резании // Вестник МГТУ «Станкин». – 2020. – № 3. – С. 45–51.
4. Давим Дж. П. (ред.) «Зеленые» производственные процессы и системы. — Springer, 2013. — 168 с.
5. Пусавец Ф., Крайник П., Копач Я. Переход к устойчивому производству. Часть I: применение в технологиях механической обработки // Journal of Cleaner Production. – 2010. – Т. 18, № 2. – С. 174–184.
6. ISO 14001:2015 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению.
7. Шокрани А., Дхокия В., Ньюман С.Т. Экологичная обработка труднообрабатываемых материалов с использованием смазочно-охлаждающих жидкостей // International Journal of Machine Tools and Manufacture. – 2012. – Т. 57. – С. 83–101.
8. Дебнат С., Редди М. М., Йи К. С. Экологичные смазочно-охлаждающие жидкости и методы охлаждения при механической обработке: обзор // Journal of Cleaner Production. – 2014. – Т. 83. – С. 33–47.

УДК: 621.88

В.Н. Сопот, А.А. Трегубов, А.Е. Шкондин

Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии
А. В. Хрулёва

ИЗНАШИВАНИЕ В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ЯВЛЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИЯ

Аннотация: В статье рассмотрены основные виды изнашивания, сопутствующие явления и механизмы процессов изнашивания. Приведены характерные примеры деталей машин, подверженных разным видам износа.

Ключевые слова: изнашивание, деформация, трение, эрозия, питтинг, коррозия

V.N. Sopot, A.A. Tregubov, A.E. Schkondin

WEAR AND TARNISHMENT IN MACHINES AND MECHANISMS: BASIC CONCEPTS, PHENOMENA, AND CLASSIFICATION

Abstract: the article discusses the main types of wear, related phenomena, and mechanisms of wear processes. It provides characteristic examples of machine parts that are subject to different types of wear.

Keywords: wear, deformation, friction, erosion, pitting, corrosion.

1. Основные термины и сопутствующие явления

Изнашивание – это процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела [1]. Важно понимать, что изнашивание – это процесс, протекающий во времени.

Трение – это явление сопротивления относительно перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения их поверхностей. Именно трение является первопричиной изнашивания в подавляющем большинстве механизмов.

Изнашивание – одна из основных причин отказов и достижения техникой предельного состояния. Процессы трения и изнашивания практически всегда сопровождаются рядом сложных физико-химических явлений, понимание которых необходимо для анализа причин поломок. К числу таких явлений относятся:

Схватывание при трении – это явление местного соединения двух твердых тел, происходящее вследствие действия молекулярных сил. При высоких нагрузках и скоростях защитные пленки (оксидные или смазочные) разрушаются, и обнажившиеся поверхности «свариваются» в микрообъемах.

Перенос материала – явление, тесно связанное со схватыванием, при котором материал одного тела соединяется с другим, отрываясь от первого и оставаясь на поверхности второго. Это приводит к искажению геометрии деталей.

Заедание – процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала. Заедание носит прогрессирующий характер и может завершиться полным прекращением

относительного движения (заклиниванием).

Задир – это уже видимое повреждение поверхности трения в виде широких и глубоких борозд, ориентированных в направлении скольжения. Задир – это результат интенсивного заедания.

Царапание – образование углублений на поверхности в направлении скольжения при воздействии выступов твердого тела или твердых частиц. Это более легкая форма повреждения по сравнению с задиром.

Отслаивание – отделение с поверхности трения материала в форме тонких чешуек. Характерно для усталостного изнашивания.

Выкрашивание – образование ямок на поверхности трения в результате отделения частиц материала, также характерное для усталостного изнашивания (питтинга).

Результатом процесса изнашивания является **износ** – остаточное изменение размеров и/или формы детали. Износ может выражаться в единицах длины (микрометры, миллиметры), объема, массы. При достижении определенной, критической величины износа, называемой **предельным износом**, наступает отказ или предельное состояние образца.

В зависимости от природы воздействия на материал различают три основные группы изнашивания.

Механическое изнашивание – результат механических воздействий.

Коррозионно-механическое изнашивание – результат механического воздействия, сопровождаемого химическим и/или электрическим взаимодействием со средой.

Электроэрозионное изнашивание – результат воздействия разрядов при прохождении электрического тока.

2. Механическое изнашивание и его разновидности [2]

Это наиболее часто встречающийся на практике вид изнашивания. Он подразделяется на несколько типов.

2.1. Абразивное изнашивание

Возникает в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц. Эти частицы (абразив) могут быть либо неподвижно закреплены на одной из поверхностей (например, в составе горной породы), либо свободно перемещаться в зазоре между деталями вместе со смазкой.

Механизм процесса: твердая частица внедряется в менее твердый материал и при относительном движении пластически отесняет его, образуя канавку (царапину). Дно канавки и ее края упрочняются (наклепываются). При многократном воздействии материал в зонах деформации становится хрупким, в нем возникают микротрещины, которые затем приводят к разрушению и отделению частиц. Абразивные частицы размером от 1 до 30 мкм всегда присутствуют в воздухе и смазке. Ими могут быть как внешние загрязнения (песок, пыль), так и продукты износа самих деталей.

Примеры: износ шеек коленчатых валов (рис. 1), цилиндров двигателей, деталей ходовой части.

Разновидности:

Гидроабразивное изнашивание – вызывается твердыми частицами, увлекаемыми потоком жидкости. Ему подвержены детали насосов, гидротурбин, трубопроводов.

Газоабразивное изнашивание — вызывается частицами, увлекаемыми потоком газа (например, в воздуходувках, деталях пневмосистем).

2.2. Эрозионное изнашивание

Происходит в результате воздействия на поверхность высокоскоростного потока жидкости, газа или пара.

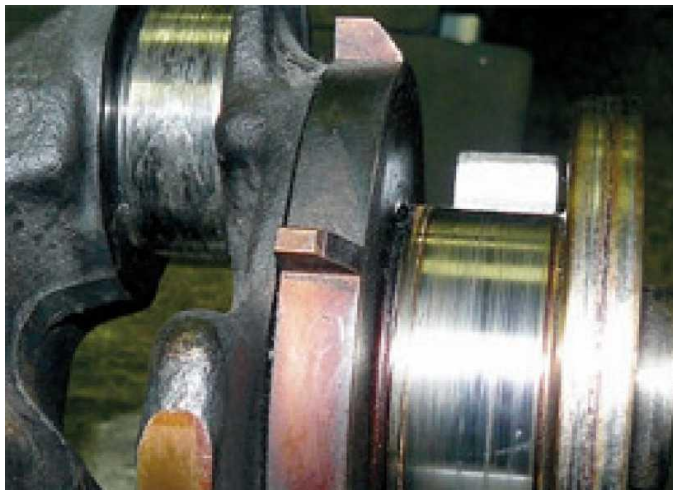


Рис. 1. Абразивный износ коренных и шатунных шеек коленчатого вала двигателя



Рис. 2. Эрозионный износ клапана газораспределительного механизма двигателя

Механизм: сплошной поток, ударяя о поверхность, вызывает в микрообъемах материала многократную пластическую деформацию. Это приводит к наклепу, накоплению дефектов и образованию микротрещин. Жидкость, обладая расклинивающим действием, проникает в трещины и способствует отделению частиц материала. Если в потоке присутствуют абразивные частицы, процесс многократно ускоряется.

Примеры: разрушение клапанов (рис. 2), седел, форсунок, лопаток турбин, элементов паровых котлов.

2.3. Кавитационное изнашивание

Особый вид разрушения поверхности при относительном движении твердого тела и жидкости в условиях кавитации.

Кавитация — это процесс образования и последующего схлопывания (конденсации) пузырьков пара или газа в потоке жидкости. Пузырьки образуются в зонах пониженного давления (например, за лопастью винта).

Механизм разрушения: когда пузырек попадает в зону повышенного давления, он мгновенно схлопывается. Этот процесс происходит чрезвычайно быстро (за тысячные доли секунды) и сопровождается микроскопическим гидравлическим ударом с огромным локальным давлением. Миллионы таких микроударов воздействуют на поверхность, вызывая локальное пластическое течение, наклеп и, в конечном итоге, усталостное выкрашивание материала. За 1 секунду на площади в 1 см² могут образоваться и разрушиться десятки миллионов кавитационных пузырьков.

Примеры: разрушение гребных винтов, крыльчаток и корпусов насосов, гильз цилиндров двигателей с наружной стороны, рис. 3.



Рис. 3. Кавитационный износ: а - гильзы цилиндра двигателя с наружной стороны; б – крыльчатки водяного насоса

2.4. Усталостное изнашивание (питтинг)

Происходит в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя. Характерно для деталей, работающих при высоких циклических контактных нагрузках (подшипники качения, зубья шестерен, кулачки), рис. 4.



Рис. 4. Усталостный износ: а – роликов подшипника; б – кулачка распределителя

Механизм: под действием высоких напряжений в зоне контакта материал испытывает многократные упругие и пластические деформации. Это приводит к накоплению дислокаций и возникновению субмикроскопических трещин. Смазочный материал, попадая в микротрещины, оказывает расклинивающее действие, способствуя их росту. Со временем трещины выходят на поверхность, приводя к отделению частиц материала (выкрашиванию). На начальном этапе образуются мельчайшие точечные раковины (питтинги), которые затем разрастаются. Процесс сопровождается ростом шума и вибрации.

Факторы, влияющие на интенсивность: величина контактных напряжений, твердость материала, качество обработки поверхности и толщина масляного слоя.

2.5. Изнашивание при заедании

Возникает в результате схватывания, глубинного вырывания материала и переноса его с одной поверхности на другую. Характерно для тяжело нагруженных и быстроходных передач (например, гипоидные шестерни).

Механизм: при высоких нагрузках и недостаточной смазке защитные пленки разрушаются, и в точках фактического контакта происходит сближение поверхностей на расстояние действия межатомных сил. Возникает микросварка (схватывание). При относительном движении происходит разрыв этих связей не по границе раздела, а по более слабому месту – вглубь одного из материалов. Происходит вырыв частиц и их перенос на сопряженную поверхность. Это приводит к образованию наростов, которые, в свою очередь, вызывают задиры и дальнейшее разрушение.

2.6. Изнашивание при фреттинге

Это механическое изнашивание соприкасающихся тел при их малых колебательных относительных микросмещениях (амплитуда может составлять всего 0,025 мкм). Возникает в неподвижных на первый взгляд соединениях (резьбовых, шпоночных, шлицевых, прессовых посадках (рис. 5), которые подвержены вибрации или знакопеременным нагрузкам.



Рис. 5. Износ при фреттинге деталей шлицевого соединения

Особенность: продукты износа, в основном оксиды, не удаляются из зоны контакта и действуют как абразив, дополнительно интенсифицируя процесс.

3. Коррозионно-механическое изнашивание [3]

Этот тип изнашивания возникает при механическом воздействии (трении, деформации) в агрессивной среде. Среда может быть жидкой (электролит, влага с растворенными газами) или газообразной.

Окислительное изнашивание – наиболее распространенная разновидность, при которой доминирует химическая реакция материала с кислородом воздуха или окружающей среды. При трении на поверхности постоянно образуются и тут же разрушаются (срезаются, истираются) оксидные пленки. Обнажившийся чистый металл мгновенно реагирует с кислородом, и пленка образуется вновь. Процесс идет непрерывно, а продукты износа состоят в основном из оксидов. Характерен для деталей, работающих при трении скольжения в условиях нормальной атмосферы.

Изнашивание при фреттинг-коррозии – это специфический вид разрушения, сочетающий механический фреттинг и химическую коррозию. При малых вибрационных перемещениях в соединении происходит постоянное деформирование и истирание поверхностей. Образующиеся при этом ювенильные (химически чистые) участки металла мгновенно окисляются. Так как зона контакта замкнута, продукты коррозии (оксиды, имеющие больший объем, чем металл) не удаляются, а накапливаются, создавая дополнительные напряжения и действуя как абразив. Это приводит к ослаблению натяга, расшатыванию соединений и, в конечном итоге, к усталостному разрушению деталей, рис. 6.



Рис. 6. Фреттинг-коррозии втулки шлицевого соединения

4. Электроэрозионное изнашивание [4]

Это разрушение поверхности в результате воздействия электрических разрядов при прохождении тока. Наблюдается в электрических контактах (реле, переключатели, коллекторы электродвигателей, контакторы)

Механизм: при размыкании, замыкании или даже вибрации контактов в зазоре между ними возникает электрическая дуга или искра. Температура в канале разряда достигает тысяч градусов. Это приводит к расплавлению, испарению и разбрызгиванию материала контактов. Происходит перенос ионов материала с одного контакта на другой. Поверхность становится неровной, что ухудшает качество контакта, увеличивает переходное сопротивление и, как следствие, еще больше интенсифицирует процесс искрения и механического износа.

Заключение

На практике процесс износа деталей машин и механизмов, как правило, носит сложный характер. Редко можно наблюдать какой-либо один вид изнашивания в чистом виде. Чаще всего они действуют совместно, усиливая разрушительный эффект. Например, абразивный износ часто сопровождается коррозионным, а усталостное выкрашивание может переходить в заедание. Понимание механизмов каждого вида необходимо для правильной диагностики неисправностей и выбора методов защиты – материалов, покрытий, смазочных материалов и конструктивных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 27674-88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения.
2. <https://eam.su/7-vidy-iznosa-i-polomok-detalej.html>

3. <https://studfile.net/preview/13395170/page:4/>

4. В.В. Измайлов, М.В. Новоселова. Об электроэрозионном изнашивании и энергетическом балансе. Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». № 2 (10), 2021.

УДК 539.621

А.В. Топоров

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ ОБРАЗЦОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПРИ ПОМОЩИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПО МЕТАЛЛУ

Аннотация: В статье исследуется повышение износостойкости полимерных материалов с помощью 3D-печати пористых структур, пропитанных индустриальным маслом. Эксперименты показали, что пропитка снижает коэффициент трения, особенно у АБС-пластика (на 60 %), благодаря лучшему выделению смазки в зону трения. Полученные результаты подтверждают эффективность такого подхода для снижения износа и улучшения эксплуатационных свойств полимеров.

Ключевые слова: трение, износ, износостойкость, долговечность, полимерный образец, аддитивные технологии, пропитка деталей, индустриальное масло, триботехнические характеристики.

A. V. Toporov

RESEARCH OF THE TRIBOLOGY OF POLYMER SAMPLES MANUFACTURED BY ADDITIVE TECHNOLOGIES IN METAL

Abstracts: The article explores the enhancement of the wear resistance of polymer materials using 3D printing of porous structures impregnated with industrial oil. The experiments have shown that the impregnation reduces the coefficient of friction, especially in ABS plastic (by 60 %), due to the better release of lubricant into the friction zone. The obtained results confirm the effectiveness of this approach in reducing wear and improving the performance of polymers.

Keywords: friction, wear, wear resistance, durability, polymer sample, additive technologies, impregnation of parts, industrial oil, tribotechnical characteristics.

В современной технике полимерные подшипники скольжения находят широкое применение благодаря своей универсальности и технологичности. Их используют как в миниатюрных высокоскоростных механизмах, так и в массивных опорах, например, для гребных валов судов. Для обеспечения долговечности и минимизации износа такие подшипники требуют постоянного присутствия смазочного материала в зоне трения. В промышленности для этих целей применяют различные типы смазок.

Развитие аддитивных технологий открывает новые возможности для создания полимерных деталей сложной геометрии и с уникальными внутренними структурами. Одним из перспективных направлений стало изготовление деталей с контролируемой

пористостью. Такой подход позволяет не только облегчить конструкцию за счёт неполного заполнения объёма, но и наделить деталь новыми функциональными свойствами. Ранее для повышения прочности пористых изделий применялась пропитка смолами и клеевыми составами, однако влияние такой обработки на триботехнические характеристики оставалось недостаточно изученным.

Ключевым фактором повышения износостойкости трущихся поверхностей является эффективная смазка. В работах Д.Н. Гаркунова [1] подробно рассмотрены различные механизмы смазывания, однако для пористых полимерных структур особую роль играет способность материала удерживать смазочный материал внутри пор. Именно здесь аддитивные технологии, в частности 3D-печать, предоставляют уникальные возможности: они позволяют создавать внутреннюю архитектуру детали, оптимизированную для удержания смазки без химического взаимодействия с полимерной матрицей.

При проектировании и изготовлении трущихся деталей методом 3D-печати необходимо учитывать эксплуатационные параметры, такие как рабочая температура, характер и величину нагрузок, а также другие факторы. В данной работе использовались специальные модельные материалы - полилактид (ПЛА) и акрилонитрилбутадиенстирол (АБС). Несмотря на то, что эти пластики не обладают выдающимися антифрикционными свойствами, они широко доступны и отличаются физико-химическими и механическими характеристиками.

Для проведения триботехнических испытаний были изготовлены экспериментальные образцы прямоугольной формы с габаритами 15×15×10 мм на 3D-принтере Wanhao Duplicator i3 (Wanhao, Китай). В качестве расходных материалов использовались нити филамента из полилактида (ПЛА) марки eSUN (Китай) и акрилонитрилбутадиенстирола (АБС) той же марки.

Параметры печати были подобраны таким образом, чтобы обеспечить воспроизводимость результатов. Диаметр сопла принтера составлял 0,4 мм, а толщина наносимого слоя также равнялась 0,4 мм. Ключевым параметром при создании пористой структуры была плотность заполнения (коэффициент заполнения K_z), которую в программе-слайсере устанавливали на уровне 90 %. Это означает, что объёмная доля твёрдого материала в детали составляла 90 %, а оставшиеся 10 % приходились на пустоты (поры). Такой уровень заполнения был выбран как компромисс между механической прочностью образца и объёмом доступного пространства для пропитки смазочным материалом [2].

Внутренняя структура образцов формировалась путём экструзии нитей филамента в виде плоской сетки с равными промежутками. Геометрия пустот не исследовалась детально, однако предполагалось, что равномерная сетка обеспечит однородное распределение смазки после пропитки.

После изготовления образцы подвергались пропитке промышленным маслом марки И-20. Этот процесс позволял заполнить поры полимерной структуры смазочным материалом, создавая резервуар смазки непосредственно внутри тела подшипника [3, 4].

Триботехнические испытания проводились на специализированной установке трения СМТ-1 по стандартной методике. В ходе тестов оценивались коэффициенты трения и характер износа образцов при работе без внешней смазки (только за счёт пропитки) и в сравнении с традиционной смазкой из ванны (рисунок). Параллельно с

испытаниями проводилось изучение макроскопической структуры образцов с помощью оптического микроскопа для визуализации распределения масла в порах.

Экспериментальные данные показали, что пропитка образцов индустриальным маслом приводит к значительному улучшению их триботехнических характеристик по сравнению с трением «всухую». Однако эффективность метода существенно различалась для разных типов полимеров.

Наибольший эффект был достигнут для образцов из АБС-пластика: коэффициент трения снизился примерно на 60%. Это свидетельствует о высокой эффективности пропитки для данного материала. В то же время у образцов из ПЛА пластика снижение коэффициента трения составило лишь около 12 %. Анализ полученных результатов позволил выявить причину такого различия.

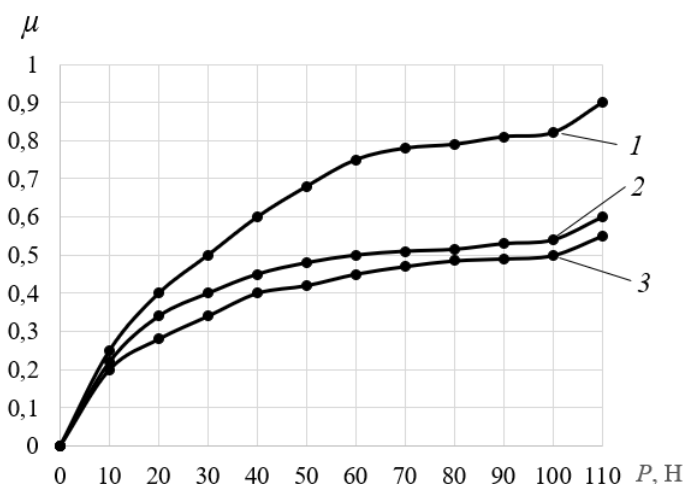


Рисунок. Зависимость коэффициента трения от нагрузки для экспериментальных образцов, из АБС пластика: 1 – отсутствие смазки; 2 – пропитка маслом; 3 – окунание в масляную ванну

Несмотря на то, что масса впитанного масла в образцах из ПЛА была на 38 % больше, чем в образцах из АБС, смазка находилась в «связанном» состоянии внутри пористой структуры полилактида. Это препятствовало её свободному выделению в зону трения при работе узла. В результате коэффициент трения для ПЛА-пропитанных образцов оказался сопоставим с показателями, достигаемыми при использовании традиционной смазки из ванны, где масло постоянно подаётся на поверхность.

Для АБС-пластика наблюдалось более благоприятное распределение смазочного материала, что обеспечивало его эффективное поступление в зону контакта трущихся поверхностей и приводило к существенному снижению трения.

Проведённые исследования подтверждают перспективность внедрения пористых структур, создаваемых методами 3D-печати, с последующей пропиткой смазочным материалом. Данный подход является эффективным способом снижения износа и повышения эксплуатационных характеристик полимерных материалов.

Результаты работы демонстрируют, что выбор полимера играет ключевую роль в эффективности технологии: материал должен обеспечивать не только высокую впитывающую способность, но и возможность выделения смазки в зону трения. Полученные данные могут быть использованы при проектировании самосмазывающихся подшипников и других деталей узлов трения нового поколения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность). М.: «Издательство МСХА», 2001. 616 с.
2. Kiselev, V. V. Reducing Wear of Gear Teeth in Power Takeoff Devices of Fire Trucks by Using Metal Plaque Additives / V. V. Kiselev, A. V. Toporov, V. E. Ivanov // Journal of Machinery Manufacture and Reliability. – 2025. – Vol. 54, No. 4. – P. 385-389. – DOI 10.1134/S1052618825700190. – EDN FJMYNF.
4. Перспективы применения элементов трения, изготавливаемых с использованием технологии 3D печати / А. В. Топоров, В. П. Зарубин, В. В. Киселев, Е. А. Топорова // Пожарная и аварийная безопасность. – 2024. – № 2(33). – С. 77-85.
4. Улучшение противоизносных свойств смазочных материалов, применяемых в трансмиссии пожарных автомобилей / В. В. Киселев, А. В. Топоров, А. В. Суровегин, И. А. Кузнецов // Пожарная и аварийная безопасность. – 2025. – № 1(36). – С. 68-74.

УДК 621.892.84+620.178.162.43

С.А. Тютюкин¹, В.В. Терентьев¹, О.Б. Аكوпова²

¹Верхневолжский ГАУ

²ИБГУ, НИИ Наноматериалов

ВЛИЯНИЕ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ ЛЕГИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ ФТАЛОЦИАНИНА НИКЕЛЯ

Аннотация: представлены результаты экспериментальных исследований по определению противоизносных и антифрикционных свойств жирового солидола после легирования его фталоцианином никеля. Отмечена эффективность его применения в качестве противоизносной присадки. В процессе исследования отмечено снижение потребляемой мощности на привод образцов на 3 %, снижение износа образцов в 1,97 раза.

Ключевые слова: присадка, фталоцианин никеля, износ, трение, смазка

S.A. Tyutyukin, V.V. Terentyev, O.B. Akopova

IMPACT ON TRIBOTECHNICAL OF PLASTIC LUBRICANT INDICATORS ALLOYING ADDITIVE PHTHALOCYANINE NICKEL

Abstract: the results of experimental studies to determine the anti-wear and antifriction properties of fat solidol after alloying it with nickel phthalocyanine are presented. The effectiveness of its use as an anti-wear additive has been noted. In the course of the study, a 3 % reduction in power consumption per samples drive was noted, and a 1,97-fold decrease in sample wear.

Keywords: additive, nickel phthalocyanine, wear, friction, lubrication

Улучшение антифрикционных и противоизносных характеристик пластичных смазочных материалов – один из путей повышения энергоэффективности и надежности машин. Совершенствование смазочных материалов путем легирования их

трибоактивными компонентами является эффективным методом решения вышеуказанных задач.

Одним из известных направлений в этой области можно считать применение различных магнитоуправляемых систем [1-2], а также углеродных нанотрубок [3].

Перспективным направлением в этой области также является применение в качестве присадок химических соединений, позволяющих образовывать на поверхностях трения смазочные слои определенной заданной структуры. Как показывают ранее проведенные исследования [4-8], эффективными противоизносными и антифрикционными присадками к пластичным смазочным материалам являются дискотические термотропные мезогены (например, карбоксилаты меди), формирующие в приповерхностной зоне трения упорядоченные колончатые структуры, устойчивые к сдвиговой деформации в тяжело нагруженных узлах трения.

Другие типы координационных соединений, которые в настоящее время исследуются в качестве трибоактивных присадок к углеводородным смазочным материалам являются фталоцианины разнообразного строения. Они также могут формировать мезофазу и ориентироваться определенным образом на поверхности трения. Эффективность введения в смазочные материалы фталоцианинов меди и кобальта подтверждается данными, представленными в [9-10].

В работах [11-12] представлены результаты исследований водных растворов смазочно-охлаждающих технологических сред с фталоцианинами меди, подтверждающие их высокую смазывающую эффективность за счет перестройки структуры в условиях граничного трения и образования на границах раздела фаз ассоциатов в виде «стопок монет». Также в работах [13-15] подтверждается эффективность применения данных соединений в пластичных смазочных материалах.

Следовательно, применение и других фталоцианинов переходных металлов может быть эффективно.

Целью работы является определение эффективности применения фталоцианина никеля в качестве противоизносной и антифрикционной присадки к пластичному смазочному материалу.

В качестве основы смазочной композиции был выбран жировой солидол марки Ж ГОСТ 1033-79, который широко используется в тяжело нагруженных узлах трения. В качестве присадки использовался фталоцианин никеля марки х.ч. с молекулярной формулой $C_{32}H_{16}N_8Ni$. Исследование трения осуществлялось на машине трения Айшингера по схеме «вращающийся ролик-неподвижный цилиндр». Материал ролика инструментальная сталь У-10 ГОСТ 1435-99, цилиндра сталь 40Х ГОСТ 4543-2016. Время одного испытания 20 мин. В процессе исследований определялись: сила потребляемого тока и напряжение. По результатам фиксации силы тока и напряжения в каждом из опытов определялась потребляемая мощность, которая является отражением антифрикционных свойств смазочной композиции. Также измерялась площадь пятна износа на неподвижном цилиндре (с помощью микроскопа МПБ-2). Площадь пятна износа отражает противоизносные свойства смазочной композиции.

Результаты значений потребляемой мощности представлены на гистограмме (рис. 1).

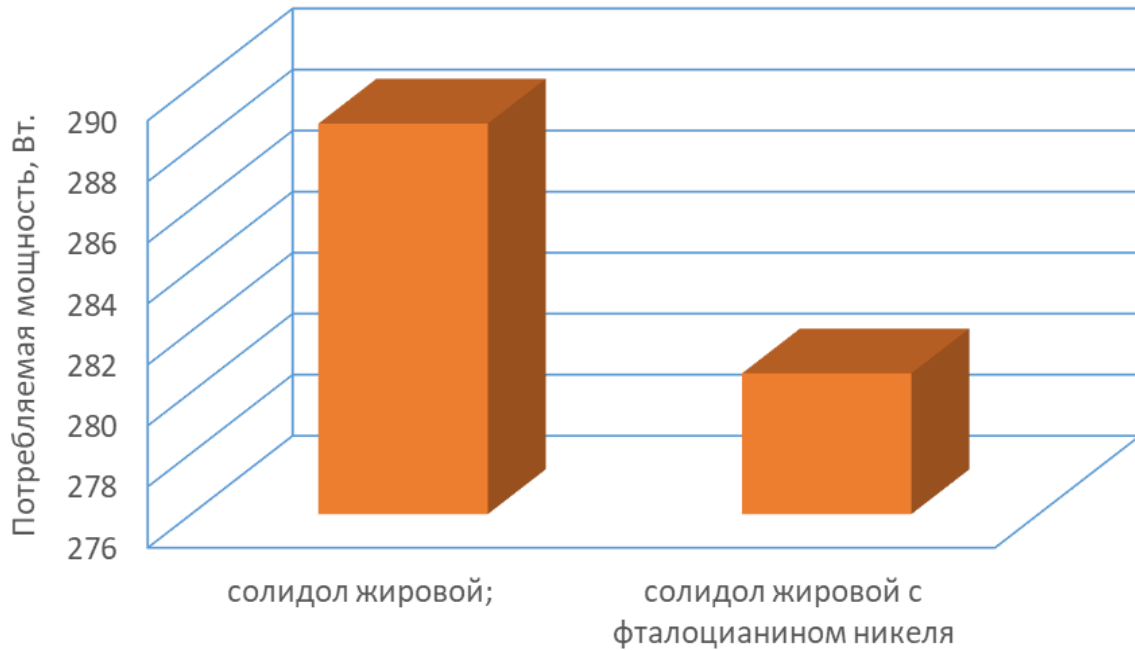


Рис. 1. Результаты значений потребляемой мощности в зависимости от состава смазочной композиции

Введение фталоцианина никеля в жировой солидол способствует некоторому снижению потребляемой мощности (снижение составило 3 %), что свидетельствует об улучшении антифрикционных характеристик пластичного смазочного материала.

Важнейшим свойством смазочного материала является возможность снижения износа трущихся элементов машины. Снижение интенсивности изнашивания позволяет повышать долговечность и ресурс трибосопряжения.

На рис. 2 представлены результаты определения площади пятна износа неподвижного образца (цилиндра).

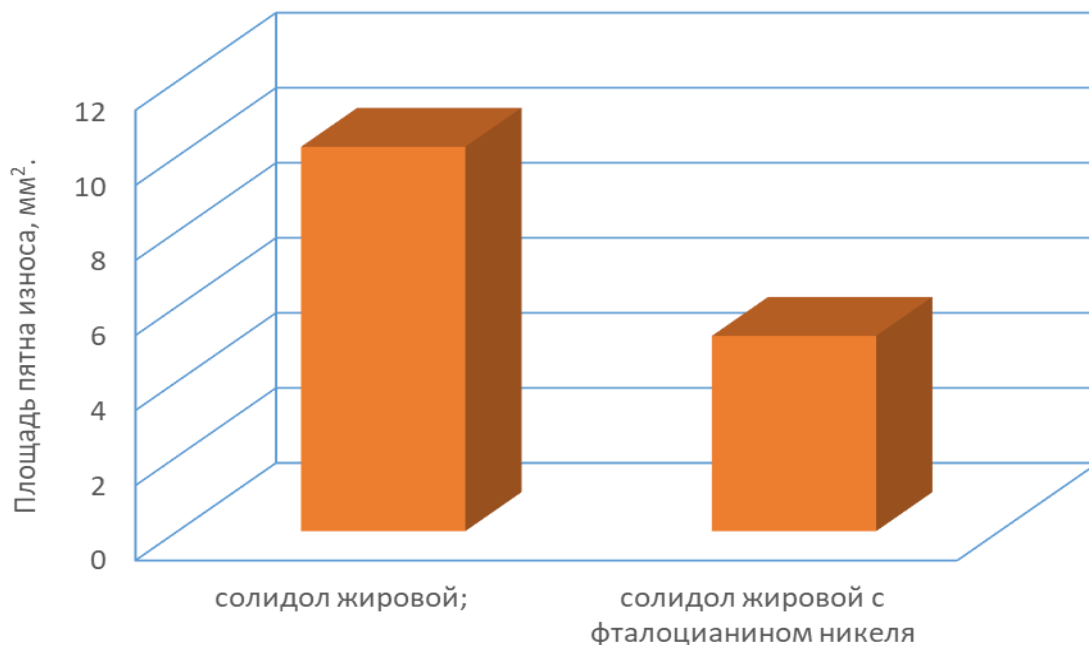


Рис. 2. Результаты определения площади пятна износа неподвижного образца

Из представленных данных видна эффективность введения фталоцианина никеля в солидол в качестве противоизносной присадки. При введении данной присадки в солидол наблюдается уменьшение пятна износа образцов в 1,97 раза.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют об эффективности применения фталоцианина никеля в качестве противоизносной присадки к жировому солидолу.

Проведенные исследования также свидетельствуют о повышении нагрузки схватывания образцов в процессе трения. Это согласуется и вписывается в один ряд с ранее полученными результатами других авторов [15] по иным фталоцианинам металлов. Поэтому присадку фталоцианина никеля можно рекомендовать для применения в качестве антизадирного трибоактивного компонента пластичных смазочных композиций на основе солидола жирового.

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (грант № FZZM-2026-0004)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев В.В., Баусов А.М., Кувшинов В.В., Орешков Е.Л. Исследование свойств магнитных смазочных материалов // Аграрный вестник Верхневолжья. 2017. № 4 (21). С. 96-102.
2. Терентьев В.В., Баусов А.М., Торопов М.В. Исследование свойств магнитных смазочных материалов на основе кремнийорганической жидкости // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4 (52). С. 26-32.
3. Терентьев В.В., Лапшин В.Б., Якемсева М.В., Усольцева Н.В., Аكوпова О.Б. Модификация пластичных смазочных материалов введением углеродного материала «ТАУНИТ-М» // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2013. № 2 (44). С. 73-79.
4. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С. Повышение ресурса узлов трения почвообрабатывающей техники // Научное обозрение, №6, 2011. С. 27-31.
5. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Лапшин В.Б., Субботин К.В. Влияние строения дискотических мезогенных присадок - карбоксилатов меди - на свойства синтетических кальциевых смазок // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. №4. С. 31-33.
6. Терентьев В.В., Телегин И.А., Рябинин В.В. Повышение износостойкости трибосопряжений сельскохозяйственной и автотракторной техники путем совершенствования смазочных материалов // Известия Международной академии аграрного образования. 2017. № 35. С. 151-157.
7. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А., Ельникова Л.В., Парунова Ю.М. Спектральные свойства карбоксилатов меди и опыт их применения в узлах трения сельскохозяйственной техники // Аграрный вестник Верхневолжья. 2019. № 1 (26). С. 79-84.
8. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Наумова И.К., Титов В.А. Влияние плазмохимической обработки металло-мезогенных дискотических соединений на их физико-химические характеристики // Жидкие кристаллы и их практическое использование. 2021. Т. 21. № 1. С. 61-71.

9. Патент № 2183660 С2 Российская Федерация, С10М 141/08/(С10М 141/08, 135:04,133:22, 129:74), С10N30:06 Смазка для шарошечных долот с герметизированными опорами: заявл. 27.03.2000: опубл. 20.06.2002 / Г.В. Конесев, Р.А. Мулюков, В.А. Докичев, Г.Е. Иванов, А.В. Смолин, Ю.Г. Матвеев, Д.В. Кондрашев, Ю.И. Самоходов, Ф.Н. Янгиров, В.В. Шерешовец, А.Ф. Латыпов, А.Я. Соловьев, М.С. Юнусов – 6 с.: ил.

10. Патент № 2307865 С1 Российская Федерация, С10М 135/04 (2006.01), С10М 133/22 (2006.01), С10М 129/74 (2006.01), С10N 30/06 (2006.01) Смазка для шарошечных долот с герметизированными опорами: заявл. 13.06.2006 опубл. 10.10.2007. Бюл. № 28 / Биглова Р.З., Талипов Р.Ф., Султанова Р.М., В.А. Докичев, Г.В. Конесев, Р.А.Мулюков, Р.А. Исмаков, Ф.Н. Янгиров, А.Я. Соловьев, М.С. Юнусов, А.Н. Абдуллин, Б.А. Исаков, Ю.П. Баженов, А.У. Галимзянова, С.А. Каленов, М.Д. Ханова, Р.К. Полякова,– 5 с.

11. Березина Е.В., Быкова В.В., Годлевский В.А., Усольцева Н.В., Фомичев Д.С. Трибологическая активность присадок-красителей - мезогенов дискотического типа // Трение и износ. 2005. Т. 26. № 4. С. 402-406.

12. Березина Е.В., Годлевский В.А., Усольцева Н.В. Взаимосвязь триботехнических и реологических характеристик водных растворов дискотических мезогенов // Трение и износ. 2006. Т. 27. № 3. С. 337-342.

13. Березина Е.В., Богомоллов М.В., Годлевский В.А., Фомичев Д.С. Пластичные СОТС с добавками структурного действия для обработки металлов резанием // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2012. Т. 16. № 4 (49). С. 36-41.

14. Фомичев Д.С., Берёзина Е.В., Годлевский В.А. Исследование смазочных композиций на основе пластичных смазочных материалов // Вопросы материаловедения. 2012. № 4 (72). С. 394-402.

15. Березина Е.В., Годлевский В.А., Моисеев Ю.Н., Шигорин С.А. Антизадирующие присадки гетероциклической структуры в составе пластичных смазок для узлов трения в пожарной технике. В сборнике: Актуальные проблемы пожарной безопасности. материалы XXVII Международная научно-практическая конференция, посвященной 25-летию МЧС России : В 3 частях. 2015. С. 83-88.

ПЕДАГОГИКА И МЕТОДОЛОГИЯ ОБЩЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЖАРНЫХ И СПАСАТЕЛЕЙ

УДК 614.841.315

В.С. Березин, А.Л. Никифоров, И.А. Легкова

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПОЖАРОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ, ВЫЗВАННЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИМИ ПРИЧИНАМИ

Аннотация: В статье приводятся основные результаты исследований, ориентированных на разработку научно-обоснованных предложений, направленных на предупреждение пожаров на автомобильном транспорте, вызванных электротехническими причинами.

Ключевые слова: пожар, пожарная безопасность, автомобильное транспортное средство, электротехнические причины пожара, предупреждение пожаров.

V.S. Berezin, A.L. Nikiforov, I.A. Legkova

DEVELOPMENT OF METHODS TO PREVENT FIRES ON MOTOR VEHICLES CAUSED BY ELECTRICAL REASONS

Abstract: The article presents the main results of research aimed at developing scientifically based proposals aimed at preventing fires in road transport caused by electrical factors.

Keywords: fire, fire safety, automotive equipment, electrical causes of fire, and fire prevention.

Проведенный анализ возгораний в автомобилях показал, что основной причиной их возникновения чаще всего служит короткое замыкание, вызванное неисправностью электрооборудования. Причина короткого замыкания кроется в нарушении изоляции проводки или дефектах самого электрооборудования. Электрический ток, проходя по проводнику, при коротком замыкании резко усиливает его нагрев, что приводит сначала к воспламенению изоляции, а затем и окружающих горючих материалов, становящихся источником распространения огня. Для профилактики и предотвращения таких явлений необходим правильный монтаж и эксплуатация электрооборудования и проводки [1].

Перегрузка электросети проявляется, когда величина проходящего тока превышает допустимую норму. Такое случается, если проектная оценка возможностей сети была выполнена некорректно при подсоединении дополнительных потребителей электроэнергии. Чтобы избежать подобного явления, не следует подключать дополнительное оборудование, потребление которого превышает установленную проектную величину.

Кроме того, существенным риском является наличие переходных сопротивлений в местах соединения проводов, а также местах подключений к устройствам (выключателям, розеткам, распределительным щитам и электроприборам). Такие участки создают избыточное тепловыделение, которое способно разогреть провод до температуры воспламенения изоляции. Переходные сопротивления возрастают при временных коротких замыканиях, успешно ликвидируемых защитой. Для снижения риска необходимо обеспечить надежное соединение проводов методами опрессовки, пайки или использованием специальных зажимов с пружинными элементами.

Пожары в автомобилях занимают около 20 % от общего числа зарегистрированных возгораний и стабильно находятся на втором месте по частоте после жилых помещений, что определяет актуальность данных исследований [2]. Для эффективного предотвращения подобных инцидентов важно понимать возможные причины, которые могут быть разнообразными, поэтому всегда необходимо проявлять бдительность и предпринимать превентивные меры [3, 4].

Рассмотрим признаки, указывающие на место первоначального возникновения пожара автомобильного транспортного средства, к ним относятся признаки, наблюдаемые и внутри, и снаружи автомобиля [5].

Внутри признаки выявляются в моторном отсеке, салоне, багажном отсеке, нишах и полостях кузова; горение может быть, как открытым, так и скрытым, и определяться по выделению продуктов горения, нагреву отдельных поверхностей или элементов. Скрытый внутренний пожар при своем развитии может перерасти в открытый.

Признаки, наблюдаемые при горении автомобиля снаружи – открытое пламя и дымовыделение. Как правило, это указывает на искусственное инициирование пожара с помощью горючей жидкости, разлитой на поверхности автомобильного транспортного средства. В исправной топливной системе и при надлежащем ее техническом обслуживании вероятность разгерметизации мала. Однако при эксплуатации автомобильного транспортного средства могут возникать различные поломки, выходить из строя отдельные детали и узлы топливной системы. Топливо может проникнуть за пределы системы и создать условия для образования горючей среды. Часто разгерметизация топливной системы связана с качеством и регламентом проведения технического обслуживания.

Пожарная опасность выпускной системы заключается в нагреве ее деталей до значительных температур: рабочая температура катализатора составляет 400-800 °С, выпускной коллектор нагревается до 600 °С, температура деталей выпускной системы – менее 600 °С, причем она уменьшается по мере удаления от коллектора. При нештатном режиме работы (неправильная установка момента зажигания, неисправности системы зажигания, применение некачественного топлива и пр.) температура деталей выпускной системы увеличивается.

Наиболее пожароопасными элементами электрической сети автомобильного транспортного средства являются цепи (например, питания генератора и стартера), не защищенные предохранителями.

Рассмотрим признаки неисправности электрики автомобиля, к ним относятся: трудности с запуском двигателя; разряд аккумулятора; проблемы с осветительными приборами; неисправность вспомогательных устройств (некорректная работа дворников, центрального замка или электрических подъемников окон); нарушения в

работе климат-контроля; появление посторонних звуков или запаха горелого пластика внутри машины, что свидетельствует о возможном коротком замыкании.

Электрооборудование автомобиля может выйти из строя по следующим причинам:

- естественный износ деталей (проводов, контактов, генераторов и стартеров) из-за длительного срока эксплуатации;
- коррозионные процессы, т.к. попадание влаги, грязи и агрессивных веществ вызывает окисление элементов и ухудшение электропроводности;
- повреждения проводов (изломы, переломы, нарушения изоляции вследствие механических воздействий или короткого замыкания);
- поломка аккумулятора, которая вызывает сбои в работе электроприборов;
- ошибочный ремонт;
- перегруз электрической цепи, приводящий к нагреванию и повреждению проводки;
- ослабление соединений (контактов) из-за постоянных вибраций и механических воздействий;
- программные ошибки, например неправильные обновления программного обеспечения контроллеров (ECU) иногда содержат дефекты, влияющие на функциональность электроники.

Рассмотрим практический пример пожара на автомобиле «Ниссан» по электротехнической причине. По прибытии на место нахождения автомобиля «Ниссан» первого пожарного подразделения было установлено, что двери и капот закрыты, в салоне наблюдается задымление. При открытии передней правой двери было обнаружено пламенное горение приборной панели с правой стороны в нижней части. В установленном очаге пожара находились следующие элементы:

- два коннектора для соединения электрического жгута от моторной перегородки с электрическим жгутом правой стороны салона;
- дополнительное электрическое реле внешней цепи блокировки бензонасоса автомобильной сигнализации «Шерхан» с медными многожильными проводами, соединенными посредством скруток с медными многожильными проводами штатного электрического жгута проводки с правой стороны салона.

Причиной возникновения пожара в автомобиле «Ниссан» послужило загорание от локального разогрева провода сечением $0,40 \text{ мм}^2$, соединенного методом скруток, используемого для подачи напряжения положительной полярности для питания обмотки реле дополнительной блокировки топливного насоса и топливного насоса через нормально замкнутые контакты реле. Локальный разогрев провода сечением $0,40 \text{ мм}^2$, соединенного методом скруток, происходил в процессе тепловыделения в зоне плохого контакта.

Были выявлены следующие факторы, ускоряющие износ автомобильного электрооборудования:

- постоянное влияние вибраций, перепадов температуры и загрязнения окружающей среды, в результате которых контактные группы подвергаются коррозии, трескается изоляция, ломаются провода;
- низкое качество используемых материалов и компонентов, значительно сокращающих ресурс электрооборудования;

- чрезмерная нагрузка на систему, вызванная дополнительным оборудованием (например, усилители звука или дополнительные лампы), а электропроводка автомобилей имеет ограниченные возможности;

- внешнее негативное воздействие погодных условий (дождь, снег, повышенная влажность) или дорожных химикатов, которые способствуют быстрому разрушению изолирующих покрытий и возникновению коротких замыканий;

- отсутствие своевременного технического обслуживания, в результате чего незначительные неисправности превращаются в крупные проблемы;

- неправильная установка нового оборудования, несоблюдение инструкций и технических требований при монтаже;

- электрические аварии, т.е. скачки напряжения, короткие замыкания и прочие аварийные ситуации;

- воздействие электромагнитных волн, которые в современных машинах создаются большим количеством встроенных цифровых устройств.

Избежать пожара, вызванного проблемами с электрооборудованием автотранспорта, возможно благодаря систематическому контролю состояния электропроводки, проведению планового технического обслуживания, наличию эффективных средств пожаротушения и неукоснительному выполнению правил эксплуатации [6].

Перед началом движения необходимо проверить:

- работоспособность установленных штатных предохранителей, обеспечивающих номинальный уровень защиты каждой электрической цепи;

- сохранность изоляции проводки и отсутствие открытых участков, способных вызвать замыкание;

- надежность и правильность соединений проводов и аппаратов (выключателей, гнезд, приборов), чтобы исключить излишнюю тепловую нагрузку, ведущую к риску воспламенения.

Каждое автомобильное транспортное средство должно быть оснащено исправным порошковым огнетушителем, расположенным в удобном доступе для водителя и пассажиров. При этом следует помнить, что пену нельзя использовать для тушения работающих электрических установок, так как это лишь усилит распространение пламени.

Соблюдение требований к безопасной эксплуатации позволит предотвратить риск возгорания из-за неисправностей электрооборудования автомобиля и обеспечить безопасность на дороге [7].

Практическая ценность работы заключается в том, что полученные выводы, могут быть использованы для составления научно-обоснованных рекомендаций по разработке способов предотвращения пожаров на автомобильном транспорте, вызванных электротехническими причинами, что позволит повысить эффективность судебно-экспертной деятельности и деятельности ФПС МЧС России по делам, связанным с пожарами на автотранспорте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.В. Исследование пожаров на транспорте, связанных с аварийным режимом работы в электропроводке // Молодой ученый. 2022. № 47 (442). С. 525-528.

2. Лазарев И.А., Лосев А.С., Ульева С.Н., Никифоров А.Л. Поиск способов предотвращения пожаров на автомобильном транспорте, вызванных электротехническими причинами // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 90-летию образования гражданской обороны. Иваново, 2022. С. 201-205.

3. Жмацкий П.А. Диагностика и быстрый ремонт неисправностей автомобиля. // Юрайт, 2013. 206 с.

4. Кириллов С.О., Легкова И.А., Киселев В.В. Применение современных методов диагностики технического состояния двигателей пожарных автомобилей // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2022. С. 411-414.

5. Слободин Е.А., Лазарев И.А., Ульева С.Н., Никифоров А.Л. Поиск методов диагностики развития пожароопасных режимов работы электрооборудования // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов V Международной научно-практической конференции. Иваново, 2021. С. 351-354.

6. Федеральный закон от 21 декабря 1994 года № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».

7. Методические указания МЧС России по ликвидации пожаров при возгорании электрических установок и аккумуляторных батарей/ МЧС России. – М.: МЧС России, 2019.

УДК 004.353 : 621.396.6 : 514.113 : 004.925.84

А.А. Бойков, В.А. Бяко, А.С. Филюк

МИРЭА – Российский технологический университет

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ АППРОКСИМАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К СОЗДАНИЮ СФЕРИЧЕСКОГО ЭКРАНА

Аннотация: В статье рассматривается актуальная задача импортозамещения в области создания аппаратной и программной базы для устройств графического вывода, а именно – сферических экранов. Выполнен анализ трёх основных аппаратных концепций: вращающейся светодиодной нити (POV-дисплей), гибких светодиодных плат и полигональной аппроксимации сферической поверхности. Сделан вывод о преимуществах подхода, основанного на аппроксимации сферы плоскими полигонами, как наиболее универсального для внешних и внутренних экранов. Рассмотрены два основных метода полигональной аппроксимации: на основе икосаэдра с последующим делением граней и UV-аппроксимация. Приведены их достоинства и недостатки с точки зрения адресации пикселей и технологической реализации. Описана разработанная программа на языке Python для сравнительного анализа методов аппроксимации по площади, отклонению от сферы, количеству и форме полигонов. Определены направления дальнейших исследований, включая оценку размещения светодиодов, схемы адресации и создание виртуальных моделей.

Ключевые слова: сферический экран, полигональная аппроксимация, икосаэдр, UV-аппроксимация, импортозамещение, радиоэлектроника, адресация пикселей

A.A. Boykov, V.A. Byako, A.S. Filjuk

A SURVEY OF GEOMETRIC APPROXIMATION METHODS FOR SPHERICAL SCREEN DEVELOPMENT

Abstract. The article addresses the pressing issue of import substitution in the development of hardware and software for graphical display devices, specifically spherical screens. Three main hardware concepts are analyzed: a rotating LED filament (POV display), flexible LED panels, and polygonal approximation of the spherical surface. The conclusion is drawn that the approach based on approximating the sphere with flat polygons offers the greatest versatility for both external and internal screens. Two principal methods of polygonal approximation are examined: the icosahedron-based approach with subsequent face subdivision and UV-parameterization. Their advantages and disadvantages are discussed in terms of pixel addressing and technological implementation. A Python-based software tool developed for comparative analysis of approximation methods is described, evaluating surface area, deviation from the sphere, and the number and shape of polygons. Directions for further research are outlined, including the assessment of LED placement, addressing schemes, and the creation of virtual models

Keywords: spherical screen, polygonal approximation, icosahedron, UV-parameterization, import substitution, radio electronics, pixel addressing

В контексте поставленной перед отечественными инженерами задачи импортозамещения [1], возникает довольно много разнообразных актуальных проблем. Одна из них – создание аппаратной и программной базы для устройств графического вывода, в частности, сферических экранов.

В настоящей работе рассматривается первая часть задачи создания сферического экрана – анализ и проектирование геометрии такого экрана с учётом особенностей технологии создания радиоэлектронных устройств.

Задача создания сферического экрана может быть решена различными способами, если иметь в виду ту или иную аппаратную концепцию:

1. *Вращающаяся светодиодная нить* (или лопасть), с высокой частотой меняющая окраску пикселей [2], так что у наблюдателя создаётся впечатление выпуклого светящегося экрана (POV-дисплей). Достоинством этого подхода является та особенность, что для воспроизведения можно использовать обычную прямоугольную развертку (рис. 1), один столбец которой отображается нитью одномоментно. Недостатки – наличие механических частей, полный оборот должен совершаться с частотой 25 кадров в секунду или большей (50 Гц, 60 Гц, 75 Гц). Смена изображения нити – частота, умноженная на число положений нити в пределах полного поворота, число столбцов развертки, например, при 1000 px – 25 кГц, 50 кГц, 75 кГц, соответственно. Эта технология также не подходит для создания внутренних сферических экранов (типа планетария).

2. Использование гибких светодиодных плат, из которых квазисферическая форма получается сшивкой гибких полос [3]. Главный недостаток – стоимость изготовления каждой полосы, а кроме того, этот способ подходит только для внешних экранов, если мы захотим создать внутренний экран типа планетария, – размеры полос станут огромными. Достоинство – унификация элементов для экрана одного размера, сравнительно простое представление графической информации для воспроизведения, значимые пиксели располагаются в соответствующих зонах, пиксели между зонами – не используются (рис. 2).

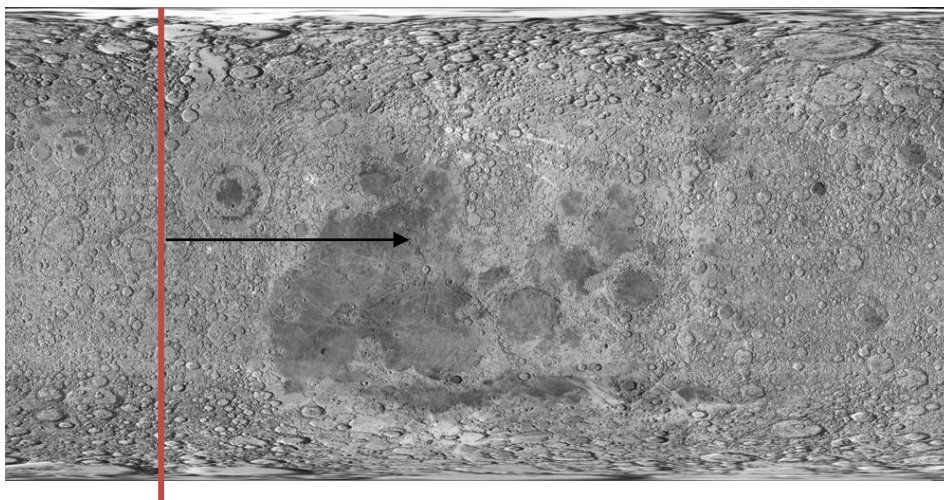


Рис. 1. Прямоугольная развертка для воспроизведения на POV-дисплее

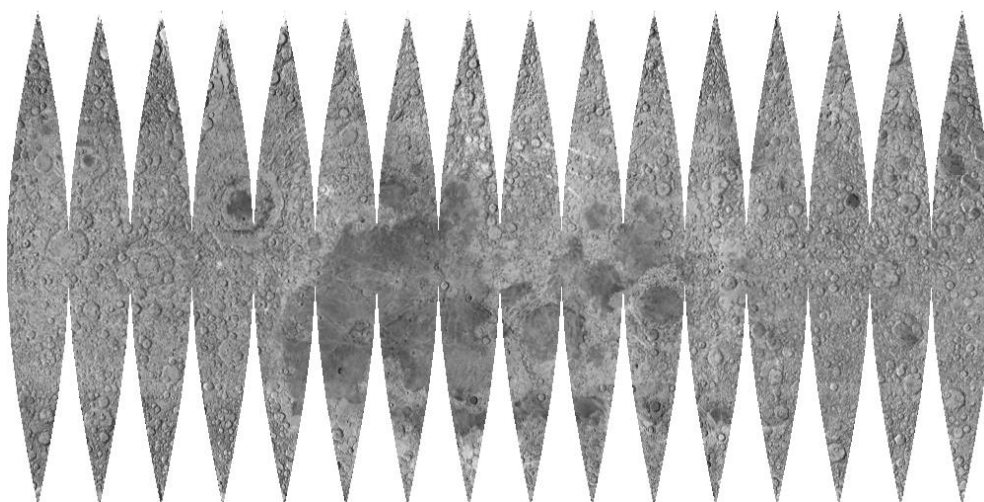


Рис. 2. Развертка для воспроизведения на дисплее из гибких полос

3. *Аппроксимация поверхности сферы плоскими полигонами* и получение квазисферической формы из достаточно большого числа традиционных и, по возможности, типовых элементов и т.д. Главное достоинство – использование традиционных технологий и, соответственно, гибкость, плоские элементы могут быть изготовлены даже вручную любой формы и размера, экран может быть как для внешнего, так и внутреннего отображения. Недостаток – разнообразие составляющих аппроксимацию полигонов и, как следствие, усложнение адресации значимых пикселей при воспроизведении.

Рассмотрим полигональные аппроксимации подробнее. В компьютерной графике широкое применение нашли два способа аппроксимации:

- На основе икосаэдра, вписанного в сферу, с последующим делением каждого треугольного полигона на четыре (и более) новых, меньшего размера делением сторон [4].

- UV-аппроксимация, которая задаётся числом u горизонтальных лент (параллелей) и числом v – поперечных полос (меридианов), причём вблизи полюсов ленты делятся на полигоны треугольной формы, все остальные – на полигоны в форме

трапеций, которые затем могут также триангулироваться [5]. Этот подход обладает еще одним важным достоинством – его можно использовать для полусферических экранов и экранов в виде любых частей шара с параллельными основаниями.

Другие способы аппроксимации сферы (например, многогранники Гольдберга) приводят к появлению пятиугольников, что заметно усложняет адресацию пикселей при воспроизведении, поскольку даже для аппроксимации на основе икосаэдра ровное расположение пикселей сохраняется лишь для базового икосаэдра (рис. 3, а) и даже на первой итерации развертка одного элемента становится выпуклой и требуется преобразование растровой решетки для совмещения с позициями светодиодов (рис. 3, б).

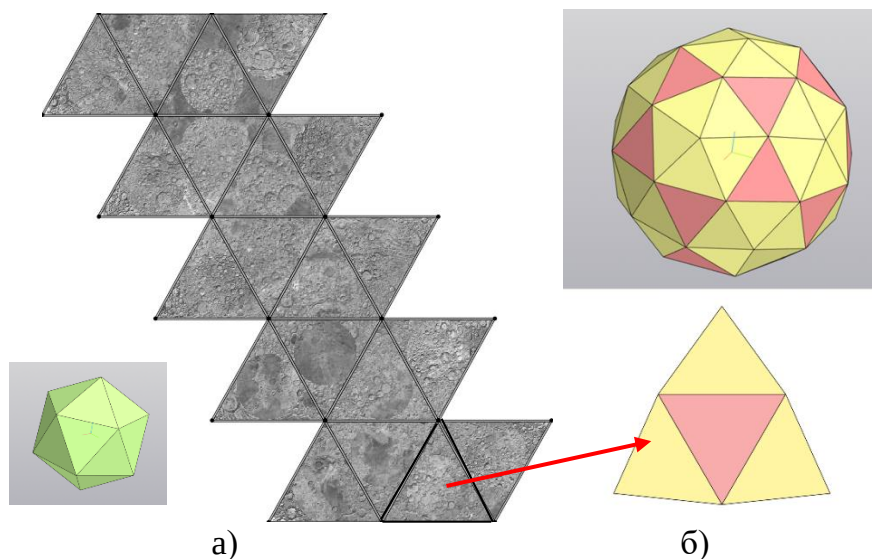


Рис. 3. Развертка на основе икосаэдра: (а) для воспроизведения и развертка одного элемента базового икосаэдра на первой итерации (б)

Таким образом, задача создания сферического экрана включает в себя ряд задач:

1. Выбор технологии.
2. Геометрическая модель аппроксимации поверхности сферы.
3. Проектирование системы адресации пикселей.
4. Выбор технологии изготовления и проектирование аппаратной части.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что при проектировании технологии создания сферических экранов широкого назначения (внешних и внутренних) несомненными преимуществами обладает технология на основе полигональной аппроксимации поверхности сферы и традиционной компонентной базы.

Далее планируется более детальное исследование аппроксимаций, получаемых на основе разбиения сферы на плоские полигоны и анализ подходящих вариантов такого разбиения. Для этого была разработана программа на языке Python, которая предлагает три режима работы: на основе икосаэдра, UV-аппроксимация и модифицированная аппроксимация (пары соседних трапеций дополнительно делятся на три треугольника делением пополам своих оснований). Программа подсчитывает площадь аппроксимации и отклонение от площади сферы, подсчитывает число полигонов и их форму, определяет максимальное отклонение от поверхности сферы. Планируется также автоматизировать создание развертки.

На следующем этапе также планируется произвести оценку числа светодиодов, которые могут быть помещены на грани аппроксимаций, и общую оценку пикселей такого экрана, составить схемы адресации пикселей для выбранных конфигураций экранов и создать их виртуальные модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Об утверждении отраслевого плана мероприятий по импортозамещению в радиоэлектронной промышленности [Электронный ресурс]: Приказ Минпромторга России от 31 марта 2015 г. № 662. – Режим доступа: <http://www.stavminprom.ru/upload/iblock/a24/a24e05de38d13cd70230ad7308f0ab05.PDF>
2. Голографический дисплей своими руками [Электронный ресурс] // AlexGuyver technologies [: сайт]. Режим доступа: https://alexgyver.ru/pov_display/
3. Гибкие светодиодные печатные платы: свобода дизайна, великолепное освещение [Электронный ресурс] // HilearElectronics [: сайт]. Режим доступа: <https://hilelectronic.com/ru/flexible-led-pcb/>
4. UV-параметризация сферы [Электронный ресурс] // ps-group.github.io [: сайт]. Режим доступа: https://ps-group.github.io/opengl/lesson_11
5. Меши с Python & Blender: икосферы [Электронный ресурс] // habr.com [: сайт]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/647193/>

УДК 004.9

А.И. Голишникова, Р.А. Юрченко

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

ВЫЯВЛЕНИЕ ОПАСНЫХ ЗОН ДЛЯ ЗВЕНЬЕВ ГДЗС ПО ДАННЫМ БАС И ИИ: ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ДЛЯ РТП В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Аннотация: рассматривается применение беспилотной авиационной системы с тепловизионной нагрузкой и алгоритмами ИИ для выявления зон возможного обрушения конструкций при пожаре в здании большой площади. Предлагается схема передачи данных РТП и ЦУКС, шкала риска и пример расчета индекса опасности по температурным признакам. Показаны типовые ограничения измерений и меры по стандартизации процедур.

Ключевые слова: БАС, тепловизор, ГДЗС, РТП, обрушение, опасная зона, ИИ.

A.I. Golishnikova, R.A. Yurchenko

DETECTION OF HAZARD ZONES FOR GSPS UNITS USING UAV AND AI DATA: REAL-TIME WARNINGS FOR THE INCIDENT COMMANDER.

Abstract: The article considers the use of an unmanned aerial system with thermal imaging payload and AI algorithms to identify areas of possible structural collapse during a fire in a large building. It proposes a data transmission scheme to the firefighting commander and the fire control center, a risk scale, and an example of calculating the hazard index based on temperature indicators. Typical measurement limitations and measures for standardizing procedures are shown.

Keywords: UAS, thermal imager, gas and smoke protection service, firefighting commander, collapse, danger zone, AI.

Введение

Зарубежный опыт практического применения беспилотных авиационных систем (БАС) совместно с алгоритмами искусственного интеллекта (ИИ) представляет значительный интерес для адаптации в Российской Федерации. Оперативные службы, такие как FDNY (США) и Специальная спасательная служба Дании (SDU), активно интегрируют телевизионных беспилотных авиационных систем (БАС) в процесс разведки. Ключевым аспектом является использование программных модулей ИИ для автоматизированного анализа тепловизионных изображений в реальном времени с целью выделения зон потенциальных угроз и закономерностей пространственно-временного развития пожара, что существенно повышает уровень понимания текущей обстановки руководителя тушения пожара (РТП). Параллельно, в рамках исследовательских программ Евросоюза (например, FASTER) [11] и работ Национальной ассоциации противопожарной защиты США (NFPA) [12] ведутся разработки по стандартизации интерфейсов и созданию систем управления роями БАС. Практическая ценность данного опыта для отечественной пожарно-спасательной службы заключается в возможности ускоренного внедрения отработанных технико-тактических решений. Наиболее релевантными для заимствования являются: формализованные протоколы передачи структурированных предупреждений от оператора БАС к РТП, процедуры проверки достоверности тепловых данных для снижения ложных срабатываний, а также принципы интеграции потока данных в единую информационную среду ЦУКС. Стратегической задачей является не простое копирование аппаратно-программных комплексов, а системная адаптация успешных зарубежных технологий с их последующим закреплением в нормативной базе Министерства, как следствие позволит трансформировать БАС из вспомогательного средства технической разведки в штатный источник объективной пространственно-временной информации для поддержки принятия управленческих решений при ведении действий на сложных пожарах.

Обоснование актуальности темы

Безопасность звеньев ГДЗС в зданиях большой площади определяется не только факторами среды (дым, токсичность, температура), но и динамикой прогрева несущих конструкций, которая может приводить к внезапным частичным/полным обрушениям. При этом РТП вынужден принимать решения в условиях дефицита времени и неполной информации.

Минимально подтверждаемая по открытым источникам статистика (публикации СМИ/сообщения МЧС) по случаям гибели и травматизма личного состава пожарной охраны на пожарах, связанных с обрушением строительных конструкций за 2020–2024 гг.

А — в источнике прямо указано, что травма/гибель наступила вследствие обрушения (стена/кровля/перекрытия).

В — на пожаре зафиксировано обрушение, но причинно-следственная связь «обрушение → травма/гибель» в источнике не раскрыта (или раскрыта неполно).

**Таблица. Статистика по случаям гибели и травматизма
личного состава пожарной охраны на пожарах**

Год	Гибель (А)	Гибель (В)	Травмы (А)	Травмы (В)	Примеры (ключевые)
2020	0	0	0	0	Обрушение кровли на пожаре без пострадавших (СПб) (ТАСС)
2021	≥2	1	0	0	Асбест: гибель при обрушении стены (А); Ростов-на-Дону: гибель при обрушении стены (А); «Невская мануфактура»: обрушения кровли/перекрытий и гибель пожарного (В) (Российская газета)
2022	1	0	1	0	Первоуральск: гибель при обрушении кровли (А) (ТАСС); Москва: пожарный попал под обрушение перекрытий (А) (Москва 24)
2023	1	0	1	0	Ашукино (МО): гибель при обрушении кирпичной стены; травма (перелом) у начальника караула (А) (Ореанда-Ньюс)
2024	0	0	0	1	Москва (промзона): зафиксировано частичное обрушение кровли и пострадал пожарный; прямая причина травмы в публикации не уточнена (В) (Парламентская газета)

Итого по 2020–2024:

– гибель (А): ≥4, гибель (В): 1

– травмы (А): 2, травмы (В): 1

Следовательно, разработка технологий выявления опасных зон по данным БАС (тепловизионная разведка) и интеллектуальной обработки информации с выдачей предупреждений РТП в реальном времени является практически значимой мерой снижения профессиональных рисков.

БАС с тепловизором и модулем интеллектуального анализа позволяет:

1. выполнить разведку (кровля, фасады, состояние ферм, деформационные швы);
2. выделить зоны участки с максимальными значениями температуры и её рост во времени;
3. сформировать простые предупреждения (красная/желтая/зеленая зона) для РТП и обеспечить передачу в ЦУКС.

Анализ нормативно-правового регулирования

Нормативно-правовая документы организации пожарной безопасности, а также деятельности пожарной охраны (ФЗ № 69-ФЗ, ФЗ № 123-ФЗ, Боевой устав, утв. приказом МЧС России № 777) ориентируют РТП на оперативную разведку, оценку угроз и недопущение гибели личного состава. Однако прямых процедурных норм, обязывающих к применению БАС как штатного инструмента разведки/предупреждения об обрушении, в документах отсутствуют.

Воздушный кодекс РФ и Федеральные правила использования воздушного пространства устанавливают строгие режимы и ограничения для полётов, которые в экстренной ситуации пожара могут затруднять проведение срочной воздушной разведки. Хотя введение специального класса воздушного пространства «Н» для БАС частично упрощает эту задачу, противоречие между оперативной потребностью и регламентными ограничениями сохраняется.

ГОСТ Р 70802-2023 определяет технические требования к БАС для пожаротушения, но носит рекомендательный характер. Он не предписывает обязательных процедур использования летательных аппаратов непосредственно на месте ЧС, не определяет форматы данных и не регламентирует упрощённый порядок согласования полётов в экстренных условиях. В результате возникает противоречие: у РТП есть острая потребность в стандартизированных предупреждениях на основе данных БАС и ИИ, но в действующих обязательных документах отсутствуют единые правила их оперативного применения, документирования и взаимодействия с авиационными властями.

Типовые проблемы

Практика ликвидации реальных ЧС выявляет такие проблемы, как задержки в передаче точной информации, сложности координации действий различных оперативных служб на месте происшествия, а также тактические и материально-технические ограничения:

1. Отображение температуры на экране

Тепловизор оценивает излучение поверхности, а пересчёт в °С зависит от отражений, угла съёмки и параметров прибора. На металле/мокрых поверхностях и при отражениях пламени прибор может иметь систематические и случайные погрешности измерений в сторону завышения либо занижения значений излучения. Следовательно, нельзя строить решение только на одной границе температуры.

2. Задымление, пар, осадки ухудшают информативность

ИК-изображение и RGB подвержены деструктивному воздействию дыма и продуктов горения (рассеяние, падение контраста изображения), а дождь/снег меняют поверхностные условия (охлаждение, влажность, блики). Из-за этого точность снижается, и система может предоставлять недостоверную информацию в критический момент. Необходим индикатор качества кадра и автоматический перевод предупреждений в режим “требуется подтверждение”.

3. Внутренние несущие элементы часто невидимы снаружи

Критический прогрев может происходить в глубине конструкции. БАС видит внешнее состояние объекта, но не всегда в глубине строительных конструкций. Как следствие, появляется риск не обнаружить критические температурные воздействия.

Предложения по совершенствованию

1. Формат сообщения для РТП не видеопотоком, а образцом «место → риск → признак → рекомендация».

Сообщение должно всегда содержать пункты:

- расположение (сектор/вход/этаж);
- уровень риска (зелёный/жёлтый/красный);
- актуальность данных (время и задержка);
- причина (рост температуры, площадь горячего пятна, рядом с опорой и т.п.);

- наиболее эффективные решения (готовая рекомендация);
- необходимость перепроверки данных (повторный облёт/другой ракурс).

Разработать библиотеку стандартизированных речевых модулей, например: «Ввод запрещён», «Ввод ограничить», «Маршрут изменить», «Проверить через 3 минуты», «Подтвердить под другим углом».

Подготовить короткий шаблон для доклада РТП в одну строку, например: «Сектор В2, красный риск, рост на 35° за 3 мин, у опоры, ввод не делать, повторить облёт через 3 мин».

Продолжительность сообщения не должна превышать 15–20 секунд.

Нумеровать предупреждения, а также время его получения (№1, №2...), чтобы РТП и штаб понимали временную принадлежность сообщения.

2. Единый формат слоя опасных зон на карте: красный/жёлтый/зелёный, время его обновления

На карте должно быть минимум 3 слоя:

- опасные зоны (цвета),
- входы и маршруты ГДЗС,
- точки, позиции ведения разведки БАС (когда и под каким углом).

Для каждой зоны необходимо подписывать время обновления, вид БАС, признаки для присвоения цвета, уровень достоверности информации.

Запрограммировать время наблюдения за зоной: например, красная зона действует 5 минут, если новых данных нет — помечается как “нужна проверка”.

Отображать зоны в виде простых секторов. Устаревшие зоны показывать серыми или скрывать. Помечать зоны однообразно: сектора А–D/1–3, оси, вход № 1 и т.д.

3. Дублирование наблюдения: присваивать «красный» статус по набору критериев.

«Красный» выдавать только если: или подтверждено с двух ракурсов, или подтверждено дважды по времени (например, сейчас и через 2–3 минуты), и пятно не исчезло/увеличивается. Горячее пятно должно быть стабильным 10–15 секунд.

Если есть риск отражения (стекло/металл) — обязательно второй угол, потому что отражение меняется, а реальный прогрев обычно нет. Для подтверждения статуса сделать простой “план повторного облёта”: одинаковая высота, примерно то же расстояние, 2 угла.

Разделить «красный предварительный» и «красный подтверждённый». Если не подтвердилось — переводить в жёлтый.

4. Подготовка персонала: оператор БАС и РТП должны обладать знаниями в рамках системы классификации рисков.

Перед началом использования проводить целевой инструктаж для оператора, который будет включать в себя объяснения:

- принципы работы тепловизора и факторы, влияющие на точность измерений (отражения от металлических и стеклянных поверхностей, влияние атмосферных осадков, задымления);

- критерии присвоения каждого уровня риска («зеленый», «желтый», «красный»);

- алгоритм действий для подтверждения предварительных данных (необходимость съёмки с двух ракурсов, временной интервал для повторного облёта);

- структурированный регламент доклада РТП, включая формат экстренного сообщения;

– процедура документирования и нумерации предупреждений для последующего анализа;

Инструктаж также будет содержать в себе разъяснение терминов: «рост температуры», «площадь пятна», «у опоры», «подтверждено», «доверие низкое» и др.

5. Нормативная фиксация: закрепить БАС в порядке действий.

Для составления корректных инструктажей, которые будут использоваться на всех пожарах или АСР, нужно разработать внутренний регламент (методические рекомендации), в котором будет указано, в каких случаях использовать БАС (большой объект, продолжительное горение, отсутствие данных о конструктивных особенностях объекта, признаки деформации), кому будут подчиняться операторы, как фиксировать решения (журнал штаба, номера предупреждений). Должны быть прописаны ответственность, обязанности и права операторов (на случай спорной ситуации при разборах пожара). Обозначить, какие показатели фиксировать: через сколько минут было первое предупреждение, сколько красных зон подтвердилось, сколько ложных и др.

Заключение

Использование БАС с тепловизором и простыми алгоритмами ИИ позволяет в реальном времени выделять опасные зоны, связанные с прогревом конструкций и потенциальным обрушением, и формировать предупреждения для РТП. Практическая ценность подхода — снижение неопределённости при входе звеньев ГДЗС в здания большой площади. Для устойчивого внедрения требуются стандартизованные форматы сообщений, контроль достоверности признаков и интеграция в информационную среду ЦУКС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
2. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
3. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
4. Постановление Правительства РФ от 30.12.2003 № 794 «О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций».
5. Воздушный кодекс РФ от 19.03.1997 № 60-ФЗ (ст. 32: определение БАС).
6. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 «Федеральные правила использования воздушного пространства РФ» (ред. с учётом изменений 2025 г.).
7. Постановление Правительства РФ от 31.07.2025 № 1133 (изменения к правилам использования воздушного пространства; класс «Н» для полётов БВС).
8. Росавиация. Государственный учёт БВС и СВС (учёт БВС 0,15–30 кг; электронная подача).
9. Приказ МЧС России от 16.09.2024 № 777 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны...» (и признание утратившим силу приказа № 444 с 01.03.2025).
10. ГОСТ Р 70802-2023. Беспилотные авиационные системы для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ. Общие технические требования.
11. <https://www.faster-project.eu/>
12. <https://www.nfpa.org/>

УДК 614.8

А. Искакова, Д. Джораева, Г.В. Чекан

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

БЕЗОПАСНЫ ЛИ ПАУЭРБАНКИ И БЕСПРОВОДНЫЕ НАУШНИКИ?

Аннотация: В статье на основе современных российских научных исследований и нормативных документов рассматриваются вопросы безопасности портативных электронных устройств – пауэрбанков и беспроводных наушников. Анализируются пожарная опасность литий-ионных аккумуляторов и электромагнитное воздействие Bluetooth-гарнитур. Выявлены основные факторы риска, сформулированы практические рекомендации по безопасной эксплуатации устройств.

Ключевые слова: пауэрбанк, беспроводные наушники, литий-ионный аккумулятор, пожарная безопасность, электромагнитная безопасность, техносферная безопасность.

A. Iskakova, D. Dzhoraeva, G.V. Chekan

ARE POWER BANKS AND WIRELESS HEADPHONES SAFE?

Abstracts: Based on modern Russian scientific research and regulatory documents, the article discusses the safety issues of portable electronic devices – power banks and wireless headphones. The fire hazard of lithium-ion batteries and the electromagnetic impact of Bluetooth headsets are analyzed. The main risk factors are identified, practical recommendations for safe operation of devices are formulated.

Keywords: power bank, wireless headphones, lithium-ion battery, fire safety, electromagnetic safety, technosphere safety.

Современный человек практически не расстаётся с портативной электроникой. Пауэрбанки позволяют всегда оставаться на связи, беспроводные наушники – наслаждаться музыкой и разговорами без лишних проводов. Однако за удобством скрываются потенциальные угрозы. Ежегодно в России регистрируются десятки пожаров, вызванных неисправными аккумуляторами, а дискуссии о влиянии Bluetooth-излучения на здоровье не утихают. Насколько обоснованы эти опасения? Цель данной работы – на основе авторитетных российских источников оценить реальные риски, связанные с использованием пауэрбанков и беспроводных наушников, и дать практические рекомендации по их безопасной эксплуатации.

Пауэрбанки: тихий источник повышенной опасности.

Пауэрбанк – это компактный литий-ионный или литий-полимерный аккумулятор с преобразующей электроникой. Казалось бы, безобидное устройство, но при определённых условиях оно способно превратиться в источник пожара.

Исследование, проведённое сотрудниками Российского федерального центра судебной экспертизы (А. Р. Саклантьев, С. А. Ларин, П. Э. Пеньковский, Е. М. Шагов), подтверждает: аварийный режим работы литий-ионных аккумуляторов действительно может стать причиной возгорания [1]. Авторы проанализировали реальные пожары, произошедшие из-за неисправных батарей, и пришли к выводу, что основную опасность представляет так называемый «тепловой разгон» – цепная экзотермическая

реакция, при которой температура внутри элемента стремительно растёт, вызывая воспламенение электролита.

Почему это происходит? Ключевая проблема – в химии процесса. Литий-ионные аккумуляторы содержат легковоспламеняющийся органический электролит. При нарушении целостности сепаратора (тонкой полимерной плёнки, разделяющей анод и катод) происходит короткое замыкание, температура резко повышается, и начинается неконтролируемая реакция. Спровоцировать её могут:

1. Механические повреждения – падение, удар, сильное сдавливание (например, в переполненной сумке).
2. Перегрев – оставление устройства на солнце, под подушкой во время зарядки или рядом с обогревателем.
3. Заводской брак – использование некачественных материалов, отсутствие защитных контроллеров в дешёвых моделях.
4. Короткое замыкание – попадание металлических предметов (ключей, монет) в разъёмы пауэрбанка.

Корпус пауэрбанка – не просто дизайнерский элемент. От его материала зависит теплоотвод и устойчивость к возгоранию. В бюджетных моделях чаще всего используется ABS-пластик. Он лёгок и дешёв, но обладает низкой теплопроводностью, что может способствовать накоплению тепла внутри. Более дорогие устройства часто заключают в алюминиевый корпус – он эффективно рассеивает тепло и служит дополнительным экраном от электромагнитных помех. Однако алюминий легче деформируется при ударе, что тоже опасно. Главное требование к пластику – класс горючести не ниже V-0 по классификации UL94, означающий, что материал самозатухает за несколько секунд после удаления источника пламени. В России соответствие этим требованиям подтверждается сертификацией по ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования».

Вопрос о вреде Bluetooth-наушников вызывает жаркие споры. Одни считают их практически безвредными, другие – «бомбой замедленного действия».

Что такое Bluetooth-излучение? Беспроводные наушники работают в диапазоне 2,4 ГГц. Это неионизирующее излучение, то есть оно не способно разрушать молекулы ДНК напрямую, как рентген или гамма-лучи. Однако, как подчёркивает профессор С. М. Аполлонский в своём фундаментальном труде «Электромагнитная и функциональная безопасность в сложных технических системах», даже низкоинтенсивные электромагнитные поля могут вызывать биологические эффекты при хроническом воздействии [2]. Речь идёт не о тепловом нагреве тканей (мощность Bluetooth-передатчика в наушниках мала – от 2 до 10 мВт), а о нетепловых, информационных механизмах влияния на клеточном уровне.

В монографии «Электромагнитная безопасность в урбанизированном пространстве» С. М. Аполлонский подробно анализирует проблему электромагнитного загрязнения среды обитания [3]. Он отмечает, что чувствительность разных людей к электромагнитным полям индивидуальна, и накопление эффектов при длительном воздействии изучено недостаточно.

В России действуют одни из самых жёстких в мире санитарных норм по электромагнитным полям (СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03). Предельно допустимый уровень для населения в диапазоне 30 кГц – 300 ГГц составляет 10 мкВт/см². Для сравнения: в США этот показатель может достигать 1000 мкВт/см². Все сертифицированные Bluetooth-устройства проходят проверку на соответствие этим

требованиям. Наличие маркировки ЕАС гарантирует, что излучение наушников не превышает безопасного уровня.

Другая опасность – акустическая. Гораздо более доказанным и актуальным риском является потеря слуха. Роспотребнадзор регулярно предупреждает: длительное прослушивание громкой музыки в наушниках ведёт к необратимым изменениям слухового аппарата. Особенно это касается молодёжи, которая часто слушает музыку часами на максимальной громкости. Специалисты рекомендуют придерживаться правила «60/60»:

- не более 60 минут непрерывного прослушивания;
- громкость не выше 60 % от максимальной.

Также важно использовать наушники с хорошей шумоизоляцией – в шумном месте (метро, улица) мы инстинктивно повышаем громкость, чтобы перекрыть внешний шум, что опасно для слуха.

Корпуса наушников изготавливаются преимущественно из ABS-пластика. Для зарядных футляров, которые тоже содержат литиевые аккумуляторы, используются специальные огнестойкие материалы. Важно, чтобы поверхности, контактирующие с кожей, не содержали никель – распространённый аллерген. Качественные производители контролируют состав материалов, а дешёвые подделки могут вызывать раздражение.

Заключение

Так безопасны ли пауэрбанки и беспроводные наушники? Ответ не может быть однозначным. Они безопасны, если:

- это сертифицированная продукция известных брендов;
- пользователь соблюдает правила эксплуатации;
- устройства используются разумно, без фанатизма.

Пауэрбанки требуют уважительного отношения: их нельзя перегревать, механически повреждать, оставлять без присмотра при зарядке. При соблюдении этих условий риск возгорания минимален.

Беспроводные наушники с точки зрения электромагнитного излучения соответствуют строгим российским нормам, однако принцип предосторожности никто не отменял. Особенно это касается детей – их организм более чувствителен, поэтому стоит ограничивать время использования наушников и по возможности выбирать проводные модели дома.

Главный вывод: опасность представляют не сами устройства, а их дешёвые подделки и безответственное использование. Осознанный подход к выбору и эксплуатации портативной электроники позволяет наслаждаться всеми преимуществами технологий, не подвергая риску себя и окружающих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саклантй А.Р., Ларин С.А., Пеньковский П.Э., Шагов Е.М. О пожарной опасности литий-ионных аккумуляторов // Теория и практика судебной экспертизы. 2025. Т. 20, № 1. С. 74-85.
2. Аполлонский С.М. Электромагнитная и функциональная безопасность в сложных технических системах: учебное пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Юрайт, 2024. 610 с.

3. Аполлонский С.М. Электромагнитная безопасность в урбанизированном пространстве. Т. I. Электромагнитное загрязнение в урбанизированном пространстве: монография. М.: Русайнс, 2020. 287 с.

4. ГОСТ Р МЭК 62133-2013 «Аккумуляторы и батареи, содержащие щелочной или другие неокислотные электролиты. Требования безопасности для портативных герметичных аккумуляторов и батарей». М.: Стандартинформ, 2014.

5. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов». М.: Минздрав России, 2003.

УДК614+311

И.А. Кайбичев

Уральский институт ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ ИСТОЧНИКАМИ КОТОРЫХ СТАЛИ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ВЫКЛЮЧАТЕЛИ

Аннотация: Точечная оценка количества пожаров в следующем году выполнена на основе скользящих средних. Для определения нижней и верхней границ прогнозного интервала использована точечная оценка от которой отнимали или к которой добавляли два стандартных отклонения. Сравнение реальных значений 2006-2024 годов показало достоверность попадания в прогнозный интервал 78,95 %.

Ключевые слова: автоматические выключатели, количество пожаров, прогнозирование, точечная оценка, прогнозный интервал.

I.A. Kaibichev

ANALYSIS OF THE FIRE SITUATION CAUSED BY AUTOMATIC SWITCHES

Abstracts: The point estimate of the number of fires in the next year was based on moving averages. To determine the lower and upper bounds of the forecast interval, the point estimate was subtracted from or added to two standard deviations. A comparison of the actual values from 2006 to 2024 showed a 78.95 % probability of falling within the forecast interval.

Keywords: circuit breakers, number of fires, forecasting, point estimation, and forecast interval.

Автоматический выключатель часто становится источником пожара (рис. 1).

Минимальное значение зарегистрировано в 2024 году (134 ед.), максимальное (352 ед.) в 2022 году, среднее значение 244 ед., стандартное отклонение 67. Показатели превышали среднее значение в 2001-2010, 2019-2022 года, были меньше среднего в 2011-2018, 2024 годах.

Выполним прогноз возможного количества пожаров на следующий год на основе скользящих средних [1]. В качестве точечной оценки X^* используем среднее значение за предшествующие 5 лет (рис. 2).

При этом могут получиться нецелые числа, которые округлим до целого. Прогнозный интервал получим следующим образом. Характеристикой изменчивости является стандартное отклонение ST . Вычислим его на основании выборки по количеству пожаров за предшествующие 5 лет (рис. 1). Нижнюю границу L прогнозного интервала получим вычитаем из точечной оценки X^* K стандартных отклонений ST , верхнюю U – добавлением K стандартных отклонений ST . В наших расчетах использовали $K = 2$.

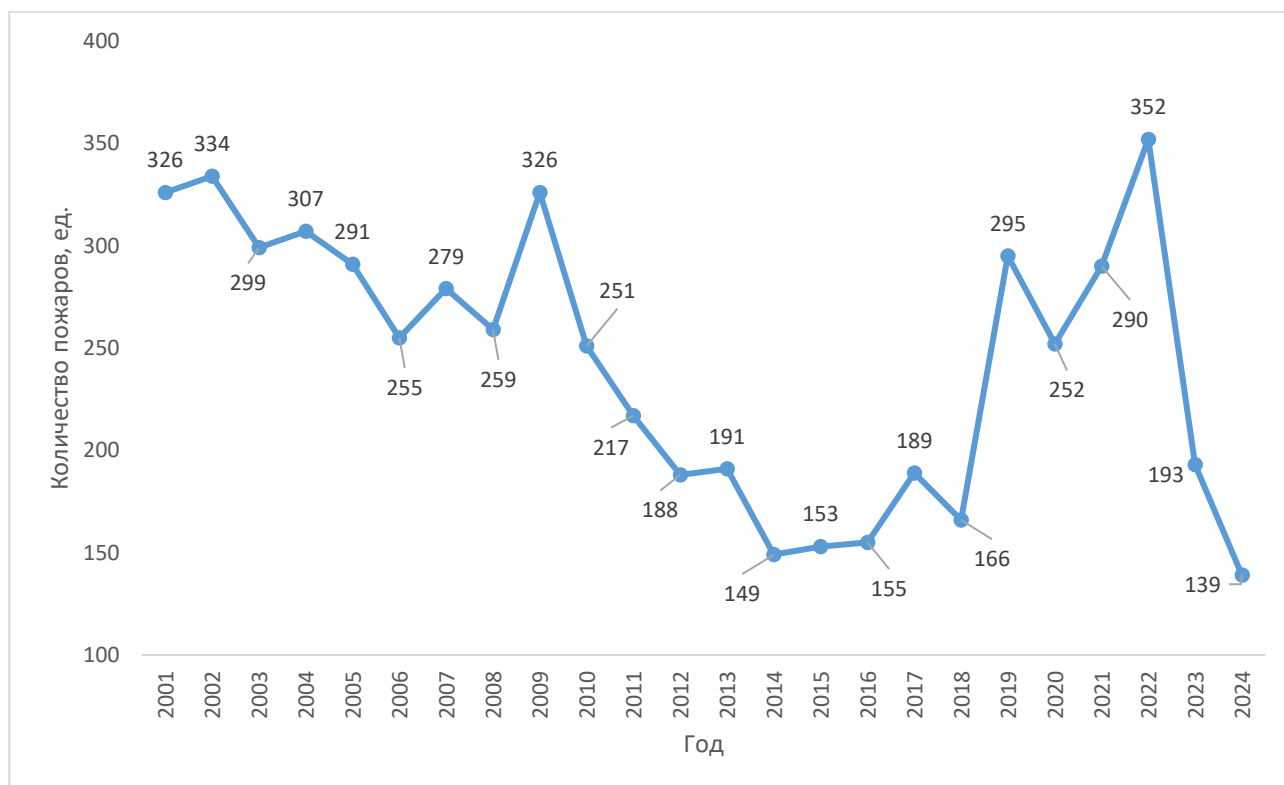


Рис. 1. Количество пожаров в России, источником которых стали автоматические выключатели

Заметим, что формы реальной (X) и прогнозной (X^*) кривой различны (рис. 3).

Расчет коэффициента линейной корреляции Пирсона для периода 2006-2024 годов дает значение 0,21. Поэтому линейной зависимости между фактическими данными X и прогнозной оценкой X^* нет.

В 13 ситуациях (2006-2008, 2010- 2016, 2018, 2023, 2024 годы) наблюдаем превышение прогнозных значений над реальными (рис. 4).

В 6 случаях (2009, 2017, 2019-2022 годы) видим, что прогнозные значения были ниже реальных. Среднее значение абсолютной относительной ошибки составило 28,82 %. Обычно хорошим считают прогноз со средним значением абсолютной относительной ошибки не более 15 %. Поэтому точечный прогноз можно использовать только в качестве ориентировочного.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Год	X	X*	ST	L	U	K		
2	2001	326	=СРЗНАЧ(B2:B6)				2		
3	2002	334					=СТАНДОТКЛОН.В(B2:B6)		
4	2003	299							
5	2004	307							
6	2005	291							
7	2006	255	311	18	275	348			
8	2007	279	297	29	240	354			
9	2008	259	286	20	246	327			
10	2009	326	278	22	235	322			
11	2010	251	282	29	225	339			
12	2011	217	274	31	212	336			
13	2012	188	266	40	186	347			
14	2013	191	248	52	144	352			
15	2014	149	235	57	121	349			
16	2015	153	199	38	124	275			
17	2016	155	180	28	123	237			
18	2017	189	167	20	126	208			
19	2018	166	167	21	126	209			
20	2019	295	162	16	130	195			
21	2020	252	192	60	73	311			
22	2021	290	211	60	91	331			
23	2022	352	238	59	121	356			
24	2023	193	271	69	134	408			
25	2024	139	276	59	159	394			
26	2025		245	83	79	411			
27									
28									
29			C26-\$G\$2*D26			=C26+\$G\$2*D26			
30									

Рис. 2. Расчет прогнозных значений

Ситуация с интервальным прогнозом складывается иная. В период 2006-2024 годов реальные данные вышли за пределы прогнозного интервала 4 раза (рис. 3). В 2006, 2024 годах реальные значения оказались меньше значения нижней границы L. В 2009, 2019 годах реальные значения превышали значения верхней границы U. В оставшихся 15 случаях из 19 реальные значения попадали в прогнозный интервал. Достоверность интервального прогноза составила 78,95 %. Для 2025 года получены прогнозные значения: нижняя граница – 79 ед., верхняя – 411 ед., скользящее среднее – 245 ед.

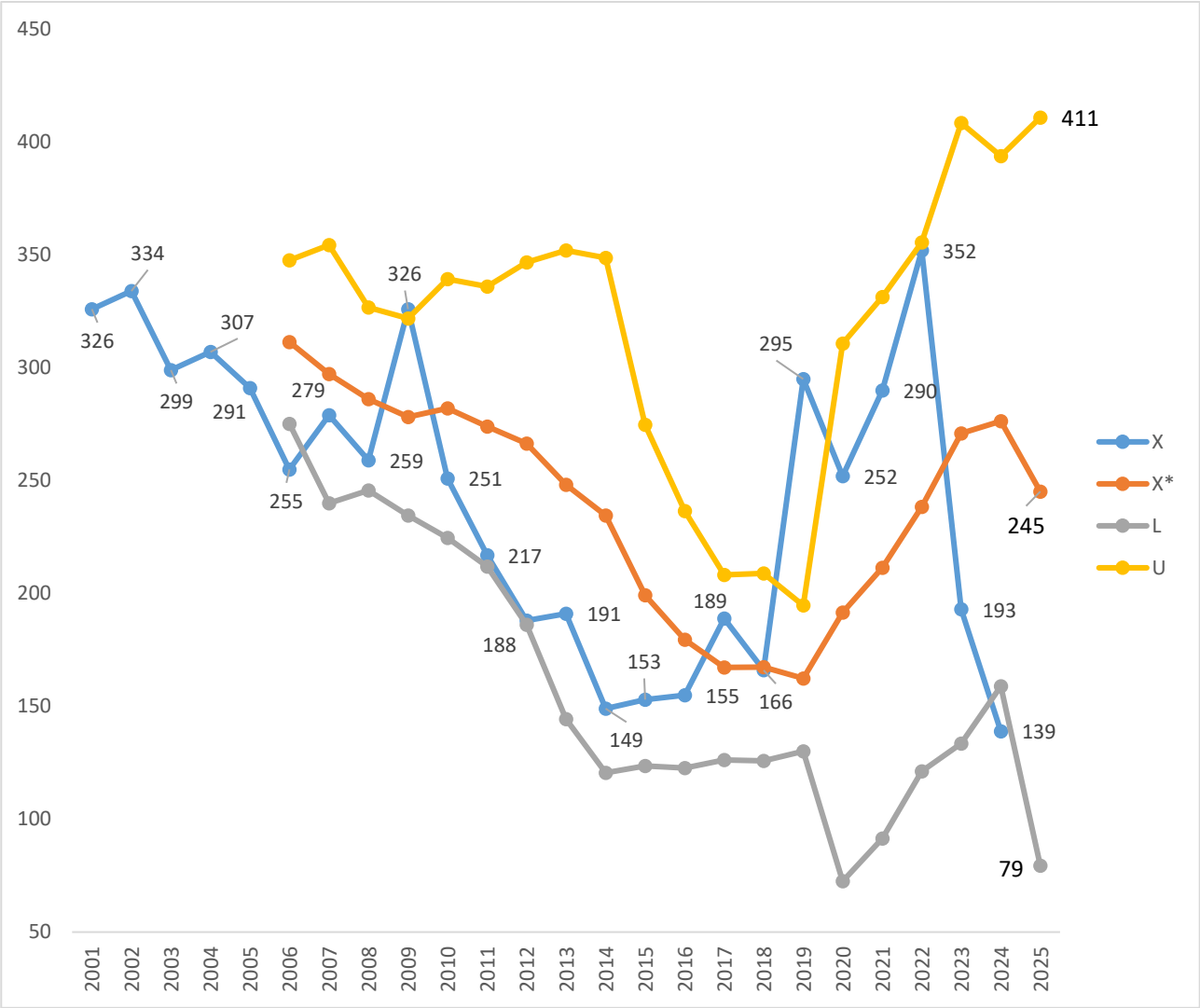


Рис. 3. Данные и прогноз

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2	X	255	279	259	326	251	217	188	191	149	153
3	X*	311	297	286	278	282	274	266	248	235	199
4	Δ	56	18	27	-48	31	57	78	57	86	46
5	ε	22,12%	6,52%	10,50%	14,66%	12,35%	26,27%	41,70%	29,95%	57,45%	30,20%
6	Год	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
7	X	155	189	166	295	252	290	352	193	139	
8	X*	180	167	167	162	192	211	238	271	276	245
9	Δ	25	-22	1	-133	-60	-79	-114	78	137	
10	ε	15,87%	11,53%	0,84%	44,95%	23,97%	27,10%	32,27%	40,41%	98,85%	

Рис. 4. Реальные значения и точечная оценка

Рассмотрим возможность прогнозирования роста или спада в следующем году. В качестве возможного критерия изучим взаимное расположение реальных (X) и прогнозных (X^*) значений.

Если $X > X^*$, то количество пожаров превышает среднее значение за предшествующие 5 лет. Логично ожидать рост количества пожаров в следующем году.

Если $X < X^*$, то количество пожаров меньше среднего значения за предшествующие 5 лет, можно ожидать уменьшение количества пожаров в следующем году.

Проверка данных критериев на реальных данных 2006–2024 годов показала совпадение в 7 случаях (рис. 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
2	X	255	279	259	326	251	217	188	191	149	153	155	189	166	295	252	290	352	193	139
3	X*	311	297	286	278	282	274	266	248	235	199	180	167	167	162	192	211	238	271	276
4	Факт		Рост	Спад	Рост	Спад	Спад	Спад	Рост	Спад	Рост	Рост	Рост	Спад	Рост	Спад	Рост	Рост	Спад	Спад
5	Прогноз		Спад	Спад	Спад	Рост	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Рост	Спад	Рост	Рост	Рост	Рост	Спад

Рис. 5. Сравнение прогноза с фактической ситуацией

Достоверность прогноза роста или спада в следующем году на основании соотношения реальных и прогнозных значений составила 38,89 %.

В целом интервальный прогноз на основе скользящего среднего и использования стандартного отклонения для определения нижней и верхней границ прогнозного интервала может быть полезным при прогнозе количества пожаров на следующий год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скользящая средняя [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Скользящая_средняя (дата посещения 30.01.2026).
2. 52-недельный максимум [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://xvestor.ru/trading-school/52-weeks-maximum-overview> (дата посещения 02.02.2026)
3. Как торговать на основе дневных максимумов и минимумов: стратегии на пути к финансовой независимости [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://dzen.ru/a/Z307ASbj0lJxnp3>

УДК614+311

И.А. Кайбичев

Уральский институт ГПС МЧС России

**АНАЛИЗ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ ИСТОЧНИКАМИ КОТОРЫХ
СТАЛИ ТРАНСФОРМАТОРЫ И СТАБИЛИЗАТОРЫ**

Аннотация: Точечная оценка количества пожаров в следующем году выполнена на основе скользящих средних. Для прогнозного интервала использован статистический метод диапазонной оценки среднего на основе выборки. Сравнение реальных значений 2006-2024 годов показало достоверность попадания в прогнозный интервал 57,89 %.

Ключевые слова: трансформатор, стабилизатор, количество пожаров, прогнозирование, точечная оценка, прогнозный интервал.

I.A. Kaibichev

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia

ANALYSIS OF THE FIRE-CAUSED TRANSFORMERS AND STABILIZERS

Abstracts: The point estimate of the number of fires in the next year is based on moving averages. The statistical method of range estimation of the average based on a sample is used for the forecast interval. A comparison of the actual values from 2006 to 2024 showed that the forecast interval is accurate by 57.89%.

Keywords: transformer, stabilizer, number of fires, forecasting, point estimation, and forecast interval.

Трансформаторы и стабилизаторы часто становятся источником пожара (рис. 1).

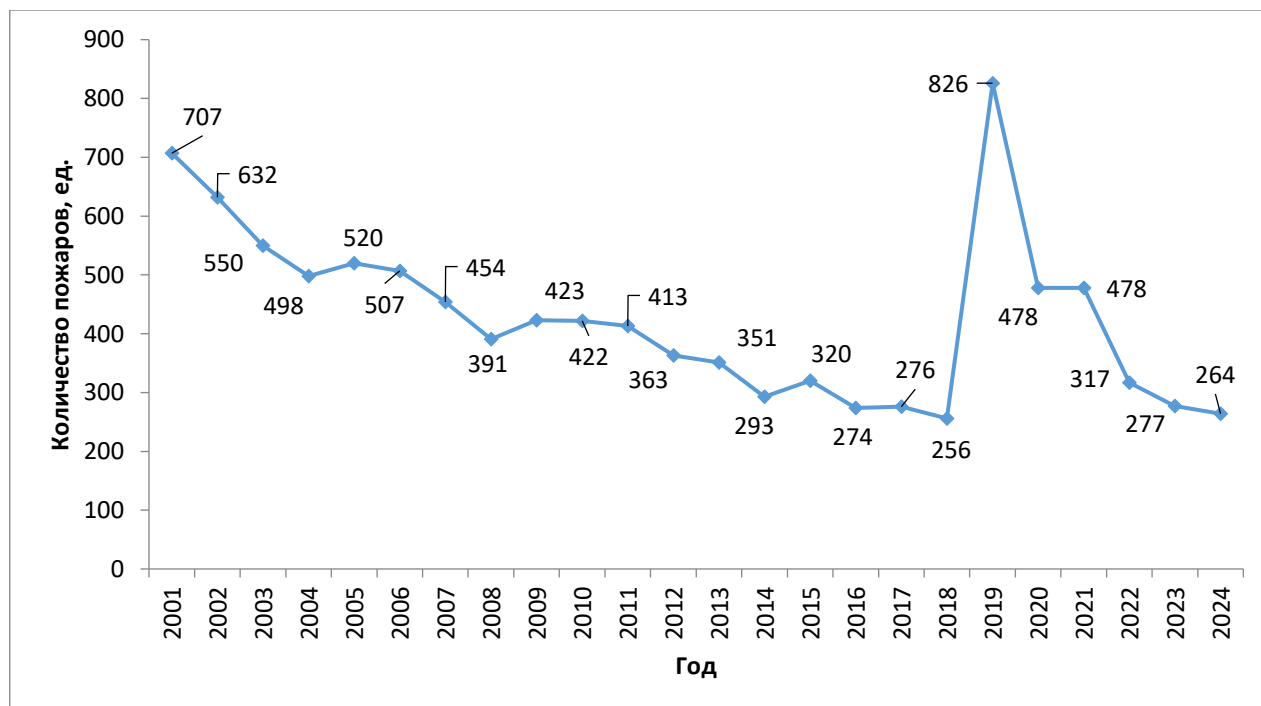


Рис. 1. Количество пожаров в России,
источником которых стали трансформаторы и стабилизаторы

Минимальное значение зарегистрировано в 2018 году (256 ед.), максимальное (826 ед.) в 2019 году, среднее значение 429 ед., стандартное отклонение 147. Показатели превышали среднее значение в 2001-2007, 2019-2021 года, были меньше среднего в 2008-2018, 2022-2024 годах.

Выполним прогноз возможного количества пожаров на следующий год на основе скользящих средних [1]. В качестве точечной оценки X^* используем среднее значение за предшествующие 5 лет (рис. 2).

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Год	X	X"	ST	m	L	U	t
2	2001	707	=СРЗНАЧ(B2:B6)					2,776
3	2002	632						
4	2003	550	=СТАНДОТКЛОН(B2:B6)				=C7+E7*\$H\$2	
5	2004	498						
6	2005	520						
7	2006	507	581	87	39	474	689	
8	2007	454	541	54	24	474	609	
9	2008	391	506	35	16	462	549	
10	2009	423	474	53	24	409	539	
11	2010	422	459	55	24	391	527	
12	2011	413	439	44	20	385	494	
13	2012	363	421	23	10	392	449	
14	2013	351	402	26	11	371	434	
15	2014	293	394	35	15	351	437	
16	2015	320	368	52	23	304	433	
17	2016	274	348	45	20	292	404	
18	2017	276	320	38	17	274	367	
19	2018	256	303	33	15	262	343	
20	2019	826	284	24	11	254	314	
21	2020	478	390	245	109	87	694	
22	2021	478	422	243	109	120	724	
23	2022	317	463	229	102	178	747	
24	2023	277	471	221	99	196	746	
25	2024	264	475	216	97	206	744	
26	2025		363	107	48	230	496	
27								
28			=D26/КОРЕНЬ(5)		=C26-E26*\$H\$2			
29								

Рис. 2. Расчет прогнозных значений

При этом могут получиться нецелые числа, которые округлим до целого. Прогнозный интервал получим следующим образом [2]. Характеристикой изменчивости является стандартное отклонение ST. Вычислим его на основании выборки по количеству пожаров за предшествующие 5 лет (Рис. 2). Определим ошибку оценки среднего по формуле

$$m = \frac{ST}{\sqrt{n}}, n = 5 \quad (1)$$

Здесь $n = 5$ – объем выборки.

Нижнюю L и верхнюю U границы прогнозного интервала получим по формулам

$$L = X^* - m * t, U = X^* + m * t, \quad (2)$$

где t – значение статистики Стьюдента. При объеме выборки $n = 5$ и вероятности $p = 0,95$ $t = 2,776$.

Заметим, что формы реальной (X) и прогнозной (X^*) кривой различны (рис. 3).

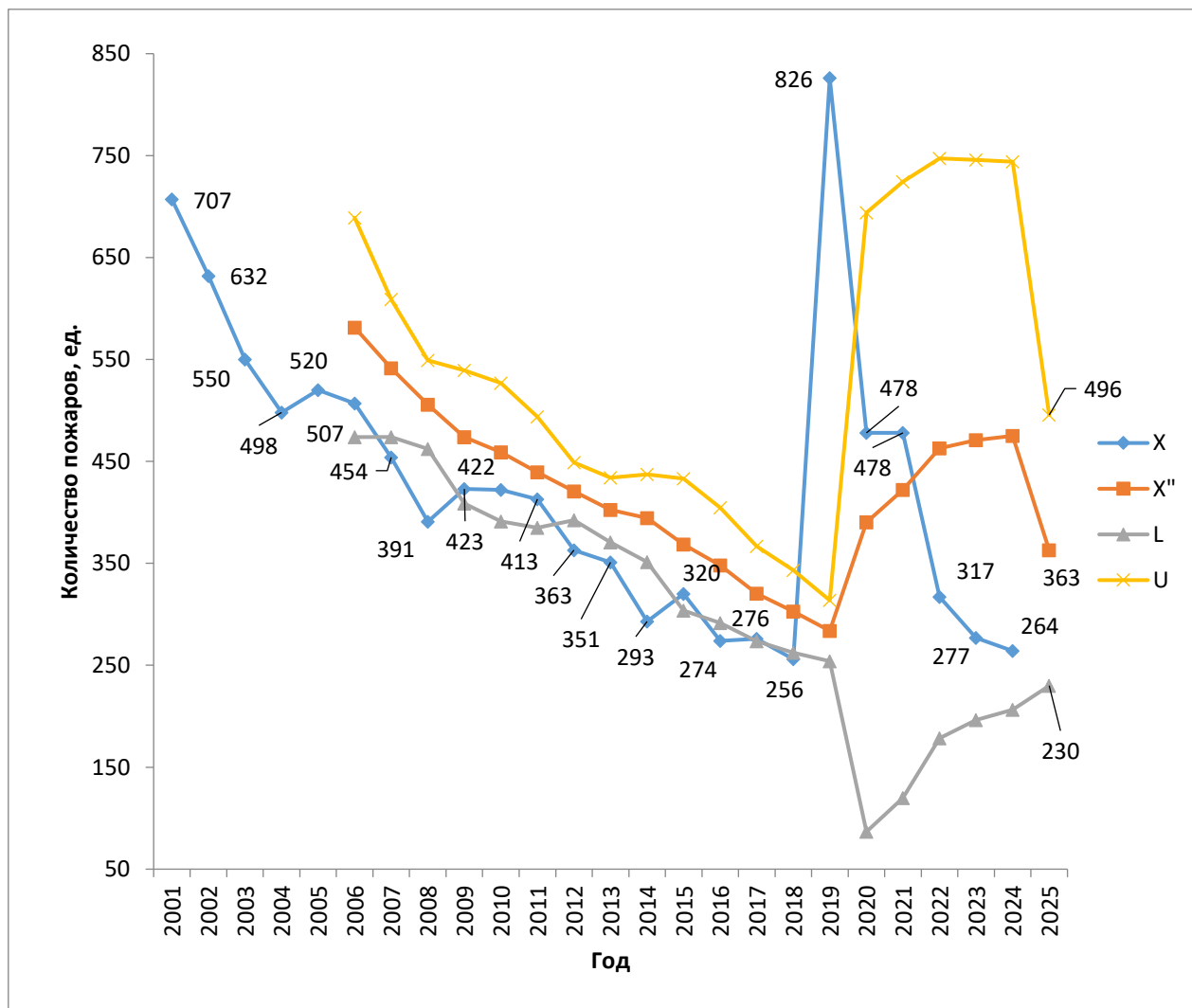


Рис. 3. Данные и прогноз

Расчет коэффициента линейной корреляции Пирсона для периода 2006-2024 годов дает значение -0,03. Поэтому линейной зависимости между фактическими данными X и прогнозной оценкой X^* нет.

В 16 ситуациях (2006-2018, 2022-2024 годы) наблюдаем превышение прогнозных значений над реальными (рис. 4).

В 3 случаях (2019-2021 годы) видим, что прогнозные значения были ниже реальных. Среднее значение абсолютной относительной ошибки составило 27,57 %. Обычно хорошим считают прогноз со средним значением абсолютной относительной ошибки не более 15 %. Поэтому точечный прогноз можно использовать только в качестве ориентировочного.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
2	X	507	454	391	423	422	413	363	351	293	320
3	X*	581	541	506	474	459	439	421	402	394	368
4	Δ	74	87	115	51	37	26	58	51	101	48
5	ϵ	14,67%	19,25%	29,36%	12,06%	8,77%	6,39%	15,87%	14,64%	34,61%	15,13%
6	Год	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
7	X	274	276	256	826	478	478	317	277	264	
8	X*	348	320	303	284	390	422	463	471	475	363
9	Δ	74	44	47	-542	-88	-56	146	194	211	
10	ϵ	27,01%	16,01%	18,28%	65,64%	18,33%	11,72%	45,99%	70,04%	80,00%	

Рис. 4. Реальные значения и точечная оценка

Ситуация с интервальным прогнозом складывается иная. В период 2006-2024 годов реальные данные вышли за пределы прогнозного интервала 8 раз (рис. 3). В 2007, 2008, 2012, 2013, 2014, 2016, 2018 годах реальные значения оказались меньше значения нижней границы L. В 2019 году реальные значения превышали значения верхней границы U. В оставшихся 11 случаях из 19 реальные значения попадали в прогнозный интервал. Достоверность интервального прогноза составила 57,89 %. Для 2025 года получены прогнозные значения: нижняя граница – 230 ед., верхняя – 496 ед., скользящее среднее – 363 ед.

Возникает вопрос – можно ли на основании взаимного расположения реальных (X) и прогнозных (X*) значений предсказать рост или спад количества пожаров в следующем году.

При $X > X^*$ количество пожаров превышает среднее значение за предшествующие 5 лет. На следующий год логично ожидать увеличение количества пожаров.

При $X < X^*$ количество пожаров меньше среднего значения за предшествующие 5 лет. На следующий год можно ожидать уменьшение количества пожаров.

Наблюдаем 3 случая, когда фактические данные X превышали прогнозные значения X* (рис. 5).

	A	B	C	D
1	Год	2019	2020	2021
2	X	826	478	478
3	X*	284	390	422
4	на следующий год			
5	Год	2020	2021	2022
6		Спад		Спад

Рис. 5. Ситуации, когда фактические значения превышали прогнозные

С вероятностью 0,67 на следующий год происходил спад, с вероятностью 0,33 – показатель не изменялся.

Наблюдаем 15 случаев, когда фактические данные X были меньше прогнозных значений X* (рис. 6). На следующий год с вероятностью 0,73 происходил спад, с вероятностью 0,27 – рост.

В качестве критерия роста в следующем году допускаем, что фактическое значение X в текущем году больше прогнозного значения X^* , спада – фактическое значение X в текущем году меньше прогнозного значения X^* . Проверка этого критерия на данных 2007-2024 годов дает достоверность прогноза 57,89 % (рис. 7).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Год	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
2	X	507	454	391	423	422	413	363	351
3	X*	581	541	506	474	459	439	421	402
4	на следующий год								
5	Год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
6		Спад	Спад	Рост	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад
7									
8	Год	2014	2015	2016	2017	2018	2022	2023	2024
9	X	293	320	274	276	256	317	277	264
10	X*	394	368	348	320	303	463	471	475
11	на следующий год								
12	Год	2015	2016	2017	2018	2019	2023	2024	
13		Рост	Спад	Рост	Спад	Рост	Спад	Спад	

Рис. 6. Ситуации превышения прогнозных значений над фактическими

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Год	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
2	Прогноз	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад
3	Факт	Спад	Спад	Рост	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Рост	Спад
4	Год	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
5	Прогноз	Спад	Спад	Спад	Рост	Рост	Рост	Спад	Спад	Спад	
6	Факт	Рост	Спад	Рост	Спад	нет изм.	Спад	Спад	Спад		

Рис. 7. Сравнение прогноза с фактом

В целом интервальный прогноз на основе скользящего среднего и использования стандартного отклонения для определения нижней и верхней границ прогнозного интервала может быть полезным при прогнозе количества пожаров на следующий год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скользящая средняя [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Скользящая_средняя (дата посещения 30.01.2026).
2. Теория вероятностей и математическая статистика/Точечные и интервальные оценки параметров распределения [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://ru.wikiversity.org/wiki/Теория_вероятностей_и_математическая_статистика/Точечные_и_интервальные_оценки_параметров_распределения (дата посещения 30.01.2026).

3. 52-недельный максимум [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://xvestor.ru/trading-school/52-weeks-maximum-overview> (дата посещения 02.02.2026)

УДК 614+311

И.А. Кайбичев

Уральский институт ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ОБСТАНОВКИ С ПОЖАРАМИ, ИСТОЧНИКАМИ КОТОРЫХ СТАЛИ ЭЛЕКТРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ЩИТ И ЭЛЕКТРОСЧЕТЧИК

Аннотация: для анализа обстановки использованы максимальное и минимальное значение за последние пять лет. За нижнюю границу прогнозного интервала на следующий год принимали минимальное значение, за верхнюю – максимальное значение. Точечная оценка прогнозного значения на следующий год находилась как среднее арифметическое от значений верхней и нижней границ. Сравнение реальных значений 2013-2024 годов с прогнозными показало достоверность прогноза роста или спада в следующем году в 63,64 %.

Ключевые слова: электрораспределительный щит, электросчетчик, количество пожаров, прогнозирование, точечная оценка, прогнозный интервал.

I.A. Kaibichev

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia

ANALYSIS OF THE FIRE SITUATION CAUSED BY THE ELECTRICAL DISTRIBUTION SHIELD AND ELECTRIC CARD

Abstracts: the maximum and minimum values over the past five years were used to analyze the situation. The minimum value was used as the lower bound of the forecast interval for the next year, and the maximum value was used as the upper bound. The point estimate of the forecast value for the next year was calculated as the arithmetic mean of the upper and lower bound values. A comparison of the actual values for 2013-2024 with the forecast values showed that the accuracy of the forecast for growth or decline in the next year was 63.64%.

Keywords: electrical distribution board, electricity meter, number of fires, forecasting, point evaluation, forecast interval.

Электрораспределительный щит и электросчетчик часто становятся источником пожара (рис. 1).

Минимальное значение зарегистрировано в 2024 году (1014 ед.), максимальное (3370 ед.) в 2019 году, среднее значение 2402 ед., стандартное отклонение 650. Показатели превышали среднее значение в 2008-2012, 2019-2022 годах, были меньше среднего в 2013-2018, 2023-2024 годах.

На фондовом рынке достаточно часто используют стратегии торговли, основанные на использовании минимумов и максимумов цены акции за определенный период [1, 2]. Попробуем использовать аналогичный подход для прогноза возможного количества пожаров в следующем году. Период наблюдения выберем в 5 последовательных лет.

В качестве нижней границы L прогнозного интервала выбираем минимальное значение за последние 5 лет, верхней границы U – максимальное значение за этот период (рис. 2).

Прогнозное значение X* получаем как среднее значение от верхней и нижней границ прогнозного интервала. При этом могут получиться нецелые числа, которые округлим до целого.

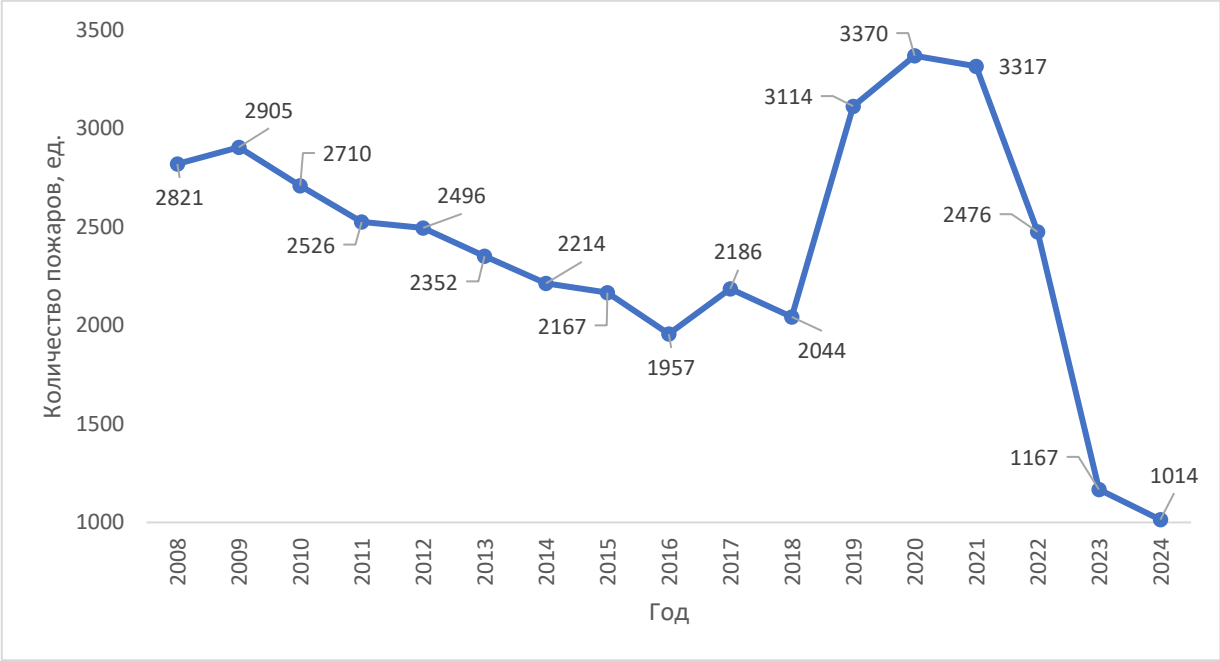


Рис. 1. Количество пожаров в России, источником которых стали электрораспределительный щит и электросчетчик

	A	B	C	D	E	F	G
1	Год	X	L	U	X*		
2	2008	2821					
3	2009	2905					
4	2010	2710					
5	2011	2526					
6	2012	2496					
7	2013	2352	2496	2905	2701		
8	2014	2214	2352	2905	2629		
9	2015	2167	2214	2710	2462		
10	2016	1957	2167	2526	2347		
11	2017	2186	1957	2496	2227		
12	2018	2044	1957	2352	2155		
13	2019	3114	1957	2214	2086		
14	2020	3370	1957	3114	2536		
15	2021	3317	1957	3370	2664		
16	2022	2476	2044	3370	2707		
17	2023	1167	2044	3370	2707		
18	2024	1014	1167	3370	2269		
19	2025		1014	3370	2192		

Рис. 2. Расчет прогнозных значений

Заметим, что формы реальной (X) и прогнозной (X^*) кривой различны (рис. 3). Расчет коэффициента линейной корреляции Пирсона для периода 2013-2024 годов дает значение 0. Поэтому линейной зависимости между фактическими данными X и прогнозной оценкой X^* нет.

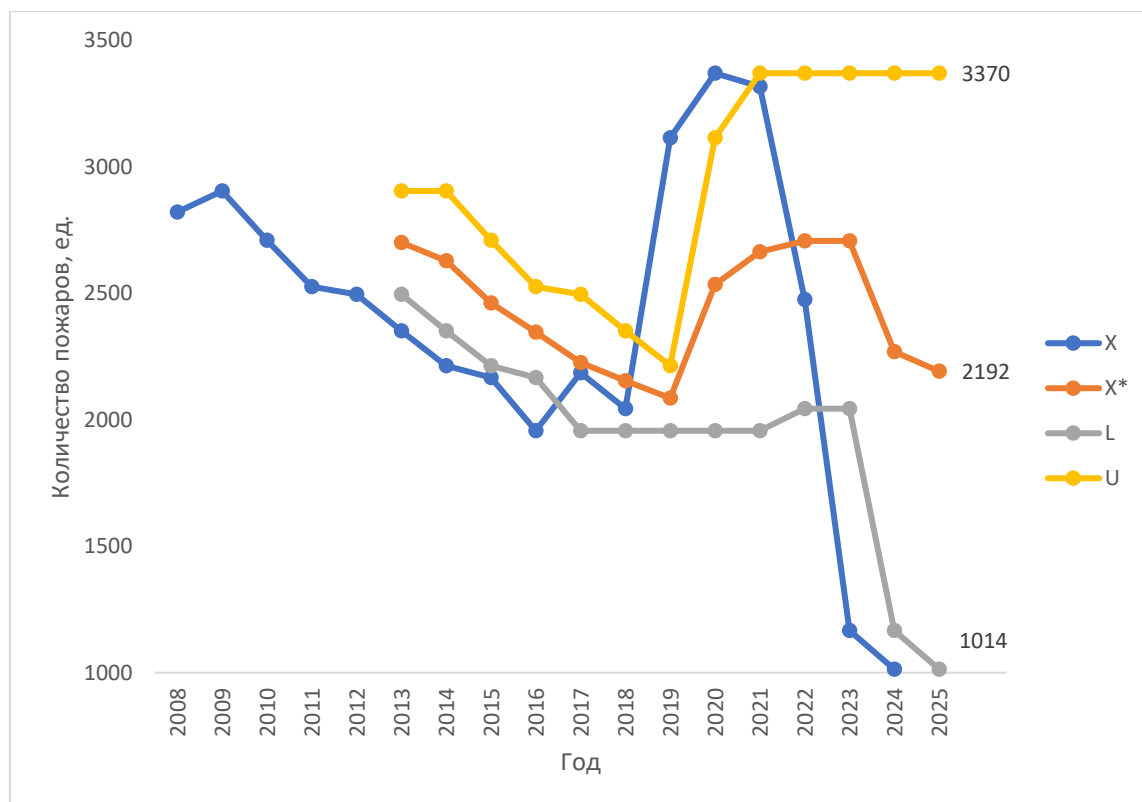


Рис. 3. Данные и прогноз

В 3 ситуациях (2019-2021 годы) наблюдаем превышение реальных значений над прогнозными (рис. 4).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
2	X	2352	2214	2167	1957	2186	2044	3114	3370	3317	2476	1167	1014
3	X*	2701	2629	2462	2347	2227	2155	2086	2536	2664	2707	2707	2269
4	Δ	349	415	295	390	41	111	-1029	-835	-654	231	1540	1255
5	ϵ	14,82%	18,72%	13,61%	19,90%	1,85%	5,41%	33,03%	24,76%	19,70%	9,33%	131,96%	123,72%

Рис. 4. Реальные значения и точечная оценка

В 9 случаях (2013-2018, 2022-2024 годы) видим, что реальные значения были ниже прогнозных.

Среднее значение абсолютной относительной ошибки ϵ составило 34,73 %. Обычно хорошим считают прогноз со средним значением абсолютной относительной ошибки не более 15 %. Поэтому точечный прогноз можно использовать только в качестве ориентировочного.

Ситуация с интервальным прогнозом: за период 2013-2024 годов наблюдаем 6 выходов (2013-2016, 2023-2024 годы) реальных значений за пределы верхней границы и 2 выхода (2019, 2020 годы) за пределы верхней границы (рис. 3).

Достоверность интервального прогноза составила 33,33 %.

Для 2025 года получены прогнозные значения: нижняя граница – 2192 ед., верхняя – 3370 ед., скользящее среднее – 1014 ед.

Возникает вопрос – можно ли на основании взаимного расположения реальных (X) и прогнозных (X*) значений предсказать рост или спад количества пожаров в следующем году.

Ситуация $X > X^*$ означает, что реальное количество пожаров оказалось больше прогнозного числа. Логично допустить, что в следующем году можно ожидать рост.

Если $X < X^*$, то реальное количество пожаров оказалось меньше прогнозного. Следует ожидать в следующем году уменьшения количества пожаров.

Наблюдаем 3 случая (2019, 2020, 2021 годы), когда реальные значения X превышали прогнозные X* (рис. 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Год	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
2	X	2352	2214	2167	1957	2186	2044	3114	3370	3317	2476	1167	1014	
3	X*	2701	2629	2462	2347	2227	2155	2086	2536	2664	2707	2707	2269	2192
4	на следующий год													
5	Год	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
6	Факт	Спад	Спад	Спад	Рост	Спад	Рост	Рост	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	
7	Прогноз	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Спад	Рост	Рост	Рост	Спад	Спад		

Рис. 5. Сравнение прогноза с фактической обстановкой

На следующий год (2020, 2021, 2022 годы) прогнозируем рост количества пожаров. По факту рост имел место в 2020 году, в 2021 и 2022 годах наблюдаем спад. В 9 ситуациях (2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2022, 2023, 2024 годы) реальные значения X были меньше прогнозные X* (Рис. 5). На следующий год (2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2023, 2024, 2025 годы) прогнозируем спад количества пожаров. По факту спад имел место в 2014, 2015, 2016, 2018, 2023, 2024 годах, в 2019 наблюдаем рост.

В итоге прогноз совпал с фактической обстановкой в 7 случаях из 11, что дает достоверность прогноза 63,64 %.

В целом прогноз на основе использования минимального и максимального значений оказался полезным при прогнозировании роста или спада в следующем году количества пожаров, источниками которых стали электрораспределительный щит и электросчетчик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 52-недельный максимум [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://xvestor.ru/trading-school/52-weeks-maximum-overview> (дата посещения 02.02.2026)
2. Как торговать на основе дневных максимумов и минимумов: стратегии на пути к финансовой независимости [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://dzen.ru/a/Z307ASbj0llJxnp3>
3. Теория вероятностей и математическая статистика/Точечные и интервальные оценки параметров распределения [Электронный ресурс]. - Режим

доступа: https://ru.wikiversity.org/wiki/Теория_вероятностей_и_математическая_статистика/Точечные_и_интервальные_оценки_параметров_распределения(дата посещения 30.01.2026)

УДК 614.841.42

М.А. Лизан, А.А. Покровский

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ТУШЕНИЯ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ

Аннотация: В статье рассмотрены задачи, решаемые при разработке концепции нового устройства, предназначенного для эффективного тушения степных пожаров. Проведен анализ причин, которые способствуют возникновению степных пожаров. Рассматриваются существующие методы тушения ландшафтных пожаров. Представлена концепция устройства с описанием его основных функциональных и конструктивных особенностей.

Ключевые слова: степной пожар, способы тушения, устройство, надежность.

М.А. Lizan, A.A. Pokrovsky

DEVELOPMENT OF A CONCEPT FOR EXTINGUISHING STEPPE FIRES

Abstracts: This article examines the challenges involved in developing a new device for effectively extinguishing steppe fires. The causes that contribute to steppe fires are analyzed. Existing methods for extinguishing landscape fires are reviewed. The device concept is presented, along with a description of its key functional and design features.

Keywords: steppe fire, extinguishing methods, structure, reliability.

Степные пожары представляют собой серьезную угрозу, способную причинить значительный экологический и материальный ущерб. Увеличение частоты и интенсивности таких возгораний вызвано не только изменением климата, но и человеческой деятельностью. Поэтому актуальной задачей является поиск эффективных решений для профилактики и тушения степных пожаров, а разработка устройства для быстрого и эффективного тушения степных пожаров позволит принести существенную пользу, как для защиты окружающей среды, так и для обеспечения безопасности людей.

Основные причины возникновения степных пожаров можно разделить на три группы: климатические условия, человеческая деятельность и использование огня в аграрных целях.

Изменение климата, включая аномально высокие температуры и продолжительные периоды засухи, создают идеальные условия для быстрого распространения огня. Высокая температура и низкая влажность способствуют быстрому высыханию травяного покрова, что значительно увеличивает вероятность

возгорания. По данным некоторых исследований, именно во время периодов засухи фиксируется наибольшее количество степных пожаров [1].

Кроме климатических условий до 80 % ландшафтных возгораний вызваны действиями человека. Это может быть как неосторожное обращение с огнем, так и преднамеренные поджоги во время весенних палов травы [2].

Существенной причиной, способствующей возникновению степных пожаров, является использование огня в аграрных целях. Выжигание травы для повышения продуктивности пастбищ считается распространенной практикой, но этот метод ведет к повышению рисков и снижению уровня безопасности [2].

Для минимизации рисков важна разработка и внедрение современных технологий, которые позволяют эффективно решать вопросы пала сухой травы без угрозы для окружающей среды.

Для эффективной борьбы со степными пожарами требуется анализ существующих методов и технологий.

Основные подходы к тушению степных пожаров основаны на применении механических и химических методов. Механический метод заключается в создании противопожарных разрывов путем вспашки почвы. Это ведет к локализации распространения огня. Но данный метод имеет ограниченное применение в условиях сложного рельефа. Противопожарные разрывы недостаточно эффективны при сильном ветре и высокой температуре [3].

Современные химические методы тушения включают использование различных реагентов и технологий. Применение огнетушащих порошков и пенообразователей в сочетании с традиционными методами позволяют остановить распространение огня и уменьшить интенсивность горения. В ряде случаев применение таких технологий позволяет сократить время и трудозатраты на ликвидацию пожара, применение систем автоматического тушения значительно увеличивают безопасность и оперативность по сравнению с ручными способами [5].

Разработка концепции создания эффективного устройства для тушения степных пожаров заключается в сочетании ряда факторов, таких как компактность, минимальные масса и габариты, автономность и мощность, необходимые для оперативного реагирования на возгорания и минимизации ущерба, причиняемого огнем.

Проектирование устройства начинается с анализа требований, которым оно должно удовлетворять. Устройство должно быть работоспособным в условиях быстрого распространения огня и в разнообразных погодных условиях. При выборе материалов для корпуса устройства следует учитывать их способность выдерживать высокие температуры. Для этой цели возможно использование негорючих полимерных или композитных материалов. Использование таких материалов обеспечит долговечность и работоспособность устройства в тяжелых условиях степных пожаров [4].

Кроме того, необходимо обеспечить экономические требования, то есть затраты на изготовление устройства и его дальнейшую эксплуатацию. На этапе составления технического задания требуется оценка различных вариантов в плане их конкурентоспособности и эффективности.

Процесс создания прототипа может включать как автоматизированные, так и ручные этапы. На первом этапе для создания эскиза устройства возможно использование 3D-печати. Это не только ускорит процесс, но и позволит

визуализировать конечный продукт [4]. В дальнейшем необходимо применять известные технологические процессы для обеспечения надежности и долговечности устройства.

На этапе испытаний важно, чтобы устройство сохраняло свою работоспособность в условиях пожара [5]. Настройка устройства на максимально эффективную работу в реальных условиях – это ключ к его успешной эксплуатации.

Оценка эффективности разработанного устройства для тушения степных пожаров включает несколько аспектов, которые дают полную картину о его функциональности и преимуществах перед существующими аналогами [6].

Таким образом, мы выявили, что климатические условия, человеческая деятельность и аграрные практики играют ключевую роль в возникновении и распространении степных пожаров. Существующие методы тушения имеют свои преимущества и недостатки. Традиционные механические подходы, такие как создание противопожарных разрывов, показывают значительную эффективность в определенных условиях, но часто оказываются бесполезными в сложном рельефе или при сильном ветре. Это обуславливает важность разработки нового устройства, которое будет интегрировать как традиционные, так и современные методы борьбы с огнем. Экспертные оценки демонстрируют, что современное устройство должно быть автономным, безопасным и эффективным. Использование новых материалов и технологий позволит повысить его функциональные возможности. Нами предложена концепция создания конструкции, которая обеспечивает надежность и долговечность, что особенно актуально в условиях высоких температур и сложных погодных условий.

Экономическая эффективность конструкции позволит сократить затраты на борьбу с пожарами и снизить риски, связанные с ее использованием. Это делает разработанное устройство не только технически совершенным, но и экономически оправданным.

Создание эффективного устройства для тушения степных пожаров возможно через интеграцию современных технологий и подходов. Мы надеемся, что результаты работы станут основой для дальнейших исследований и внедрения нового устройства в практическую деятельность подразделений пожарной охраны по борьбе с природными пожарами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский А.А., Н.А. Кропотова, И.А. Легкова, М.Ю. Колобов Инженерно-технические решения создания комплекса для тушения ландшафтных пожаров на базе квадроцикла // Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение. – 2021. – № 3 (67). – С. 83-94.

2. Крашенинникова Е.А., Музыков А.А., Покровский А.А. Анализ мобильных средств пожаротушения для ликвидации ландшафтных пожаров // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. – Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. – С. 115-119.

3. Покровский А.А., В.В. Киселев В.В., Пучков П.В., Сидоров А.А. Анализ конструкций мобильных устройств для тушения ландшафтных пожаров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – №3 (55). – С. 53–61.

4. Музыков А.А., Покровский А.А. Особенности и способы тушения ландшафтных пожаров // Современные пожаробезопасные материалы и технологии. Сборник материалов VIII Международной научно-практической конференции. – Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. – С. 330–334.

5. Покровский А.А., Киселев В.В., Кротова Н.А. Разработка компоновки мобильного средства на базе легкового шасси повышенной проходимости для тушения ландшафтных пожаров // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2025. - № 1 (306). – Т.8 – С. 3–6.

6. Малый И.А., Шарабанова И.Ю., Орлов О.И., Топоров А.В., Никитина С.А., Иванов В.Е., Пучков П.В., Киселев В.В., Зарубин В.П., Легкова И.А. Гусеничная пожарная машина // Патент на полезную модель № 165103. Зарегистрирован в ФГБУ Федеральный институт промышленной собственности 10.10.2016. Бюл. № 28.

УДК 614.84

Р.В. Лях, В.А. Наминов, В.Е. Иванов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ИННОВАЦИОННЫЕ И ТРАДИЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К СУШКЕ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ

Аннотация: в статье выполнен сравнительный анализ традиционных (естественная, конвективная) и инновационных (термовакuumная, мобильные комплексы) методов сушки напорных пожарных рукавов. Анализ проводился с целью выявить технические и эксплуатационные критерии, определяющие выбор метода при проектировании нового сушильного оборудования. На основе анализа предложены критерии выбора: требуемая производительность, климатические условия, тип рукавов, мобильность. Рекомендовано при разработке установок ориентироваться на комбинированные и модульные решения, интегрирующие конвективный и термовакuumный принципы.

Ключевые слова: напорные пожарные рукава, сушка, термовакuumный метод, конвективная сушка, естественная сушка, мобильные сушильные комплексы.

R.V. Lyah, V.A. Naminov, V.E. Ivanov

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE PACKAGES FOR DESIGNING HEAT AND SMOKE CHAMBER IN THE CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

Abstract: this article presents a comparative analysis of traditional (natural, convective) and innovative (thermal vacuum, mobile systems) methods for drying pressure fire hoses. The analysis was conducted to identify the technical and operational criteria that determine the choice of method when designing new drying equipment. Based on this analysis, selection criteria are proposed: required performance, climatic conditions, hose type, and mobility. It is recommended that combined and modular solutions integrating convective and thermal vacuum principles be used when developing systems.

Keywords: pressure fire hoses, drying, thermal vacuum method, convective drying, natural drying, mobile drying complexes.

Эффективная сушка напорных пожарных рукавов является обязательным условием поддержания их работоспособности и продления срока службы. Остаточная влага после применения рукавов при тушении пожаров или после гидравлических испытаний приводит к развитию микроорганизмов, разрушению полимерных и резиновых покрытий, снижению прочности и, как следствие, к преждевременному выходу из строя дорогостоящего оборудования [1, 2].

В практике эксплуатации сложились три основных подхода: естественная сушка (на открытом воздухе или в помещениях), конвективная сушка (принудительная циркуляция нагретого воздуха) и инновационная термовакуумная сушка, а также мобильные комплексы и специальные покрытия, ускоряющие влагоудаление [3]. Каждый метод имеет свои преимущества и ограничения, однако для разработки специализированных сушильных установок необходим системный анализ критериев выбора, учитывающий не только техническую эффективность, но и экономические, нормативные и эксплуатационные факторы. Цель настоящей работы - на основе обзора современных и традиционных методов сушки пожарных рукавов определить совокупность критериев, которым должно отвечать разрабатываемое оборудование, и предложить рекомендации по выбору оптимальной технологической схемы.

Материалом для анализа послужили данные, представленные в технической литературе, нормативных документах [3, 4], а также описания серийных и экспериментальных сушильных установок. Применялись методы сравнительного анализа по следующим параметрам: длительность процесса, максимальная температура нагрева материала, энергопотребление, зависимость от внешних условий, риск термического или механического повреждения, капитальные и эксплуатационные затраты, возможность автоматизации, мобильность. Дополнительно рассмотрены инновационные решения: термовакуумные камеры, мобильные автономные комплексы и пожарные рукава с перколированной структурой или водоотталкивающими покрытиями.

Рассмотрим традиционные методы сушки пожарных рукавов.

Естественная сушка. Метод заключается в размещении рукавов на открытых площадках, решетчатых стеллажах или в сухих вентилируемых помещениях при естественной циркуляции воздуха. При естественной сушке допустимые условия: температура воздуха не ниже +20 °С, относительная влажность не более 80 %, защита от прямых солнечных лучей и осадков. Максимальная продолжительность сушки при этом составляет более 24 часов. Преимущества: отсутствие энергозатрат, сохранение структуры материала, простота организации. Недостатки: длительность процесса, зависимость от погодных условий, необходимость больших площадей, риск загрязнения, невозможность контроля конечной влажности.

Конвективная сушка. Основана на передаче тепла от движущегося нагретого воздуха к поверхности рукава [4]. Реализуется в камерных установках с принудительной вентиляцией и нагревательными элементами. ГОСТ 34779-2021 ограничивает максимальную температуру воздуха 50 °С для предотвращения деформации и деструкции материалов [5, 6]. Преимущества: высокая скорость сушки (4–12 часов в зависимости от загрузки), равномерность процесса, возможность автоматизации и точного контроля параметров. Недостатки: значительные энергозатраты, риск перегрева при нарушении режима, необходимость специализированного оборудования.

Рассмотрим инновационные методы сушки пожарных рукавов.

Термовакuumная сушка. Технология заключается в создании пониженного давления (вакуума) внутри герметичного контейнера, что резко интенсифицирует испарение влаги при низких температурах (обычно 40–50 °С). Время сушки сокращается до 2–6 часов. Преимущества: максимальное сохранение свойств материала, минимальное тепловое воздействие, значительное ускорение процесса. Недостатки: высокая стоимость вакуумного оборудования, сложность герметизации, высокие начальные капитальные затраты.

Мобильные сушильные комплексы. Представляют собой автономные устройства (часто на базе термовакuumной или конвективной технологии), предназначенные для работы в полевых условиях. Обеспечивают быстрое восстановление готовности пожарных подразделений без привязки к стационарным сетям.

Инновационные покрытия и перколированные рукава. Специальные гидрофобные покрытия и перколированная структура материала ускоряют удаление влаги, снижая адгезию воды к стенкам рукава. Такие рукава преимущественно используются в сложных условиях (высокая частота применения, низкие температуры).

Ключевые требования нормативных документов, влияющие на выбор метода и проектирование оборудования: максимальная температура нагрева воздуха при сушке — 50 °С [6]; запрет на размещение рукавов ближе 1 м от теплоизлучающих приборов; обязательная полная просушка перед длительным хранением; естественную сушку рекомендуется проводить при температуре ≥ 20 °С и влажности ≤ 80 %.

Для обоснованного выбора метода при разработке специализированных сушильных установок необходимо учитывать пять групп критериев (таблица).

Таблица. Критерии выбора метода сушки при разработке оборудования

Критерий	Естественная сушка	Конвективная сушка	Термовакuumная сушка	Мобильные комплексы
Скорость (время полного цикла)	более 24 ч	4–12 ч	2–6 ч	2–8 ч
Энергопотребление	отсутствует	высокое	среднее	среднее/высокое
Капитальные затраты	низкие	средние	очень высокие	высокие
Зависимость от климата	полная	низкая	отсутствует	низкая
Автоматизация	невозможна	возможна	полная	полная
Мобильность	нет	ограниченная	возможна	высокая
Риск повреждения материала	низкий	средний (при перегреве)	низкий	низкий

При выборе технического решения для подразделений, эксплуатирующих большое количество рукавов на стационарной основе, наиболее оправданным представляется комбинированный подход. В обычном режиме целесообразно использовать конвективную сушку с рекуперацией тепла и автоматическим регулятором, не позволяющим температуре подниматься выше 50 °С. Если же рукава намокли в ходе тушения пожара и требуется их срочная подготовка к следующему выезду, имеет смысл задействовать форсированный режим — для этого подойдёт термовакуумная камера. Для полевых условий и мобильных бригад более практичны компактные вакуумные установки с автономным питанием (дизель-генератор либо аккумуляторы). Их ключевое преимущество — полная независимость от внешних условий: ни погода, ни отсутствие стационарной электросети не мешают провести сушку качественно и в срок. Когда бюджет подразделения невелик, разумно ограничиться конвекционными камерами с простой автоматикой, а естественную сушку оставить в качестве сезонного резерва, например, для использования в летние месяцы при устойчиво тёплой и сухой погоде.

Разрабатывая сушильное оборудование, необходимо заложить в его конструкцию ряд обязательных требований: систему контроля температуры с функцией ограничения нагрева (порог — не выше 50 °С); возможность регулировки скорости воздушного потока (актуально для конвективных аппаратов); равномерное распределение обдува или вакуума по всей длине рукава — это исключает появление застойных участков, где влага может задерживаться; автоматическую защиту от перегрева с отключением при превышении допустимых параметров; для мобильных модификаций — дополнительную виброустойчивость и герметичность корпуса [7–9].

Одним из наиболее перспективных направлений в данной области можно считать гибридные сушильные системы. В них сначала с помощью вакуума удаляется основная масса воды, а затем запускается мягкий конвективный досушивающий цикл с рециркуляцией воздуха. Как показывает практика, такая схема позволяет не только ускорить процесс, но и заметно снизить энергопотребление.

Закключение.

Проведенный анализ показал, что ни один из существующих методов сушки пожарных рукавов не является абсолютно универсальным. Естественная сушка остается энергоэффективным резервным способом, но не может быть основным для профессиональных подразделений из-за длительности и климатической зависимости. Конвективная сушка обеспечивает хороший баланс между стоимостью и эффективностью при соблюдении нормативных ограничений по температуре. Термовакуумная технология наиболее перспективна для ускоренного восстановления готовности, однако требует снижения капитальных затрат и упрощения конструкции.

При разработке специализированных сушильных установок рекомендуется ориентироваться на комбинированные и модульные решения; обеспечивать автоматический контроль температуры не выше 50 °С; предусматривать возможность работы как в стационарном, так и в мобильном исполнении; учитывать климатические особенности региона эксплуатации и типы используемых рукавов. Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание гибридных установок с рекуперацией тепла и интеллектуальными алгоритмами управления, позволяющими минимизировать энергопотребление при сохранении качества сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сударьков, Д. Ю. Обзор способов и методов, а также оборудования для сушки напорных пожарных рукавов / Д. Ю. Сударьков, В. Е. Иванов // Пожарная и аварийная безопасность : Сборник материалов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной 375-летию пожарной охраны России, Иваново, 21 ноября 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 613-617.
2. Puchkov, P. V. Strength of Lifting Devices in a Tower Dryer for Fire Hoses / P. V. Puchkov, V. E. Ivanov // Russian Engineering Research. – 2023. – Vol. 43, No. 3. – P. 297-298. – DOI 10.3103/s1068798x23040275.
3. Иванов, В. Е. Сушка дисперсных материалов в сушилке кипящего слоя непрерывного действия: специальность 05.17.08 «Процессы и аппараты химических технологий»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Иванов Виталий Евгеньевич. – Иваново, 2010. – 121 с.
4. Натарева, С. В. Сушка дисперсных материалов в многосекционном аппарате кипящего слоя / С. В. Натарева, В. Е. Иванов, Е. Н. Венкин // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2010. – Т. 53, № 1. – С. 129-130.
5. ГОСТ 34779-2021 «Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний».
6. Приказ МЧС России № 737 от 01.10.2020 «Об утверждении Руководства по организации материально-технического обеспечения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».
7. Пучков, П. В. Исследование прочностных показателей наиболее нагруженных деталей башенной сушилки с использованием компьютерного моделирования / П. В. Пучков, В. Е. Иванов // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 1. – С. 85-87. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-1-85-87.
8. Серебряков, А. А. Современное оборудование для сушки пожарных рукавов / А. А. Серебряков, К. Н. Архангельский, В. Е. Иванов // Надежность и долговечность машин и механизмов: Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 года. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 589-592.
9. Талашенко, А. О. Разработка устройства для сушки пожарных рукавов секционного типа / А. О. Талашенко, Н. А. Туранов, В. Е. Иванов // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов X Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2019 года. – Иваново: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», 2019. – С. 180-181.

УДК 614.84

С.А. Мамонова, И.А. Легкова, Р.А. Беглов

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СУШКИ БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНОГО

Аннотация: В статье рассмотрены вопросы обслуживания боевой одежды пожарного, отмечена важность процесса сушки, проведен анализ оборудования для сушки одежды пожарных и спасателей, выявлены преимущества и недостатки данного оборудования.

Ключевые слова: боевая одежда пожарного, обслуживание, сушка, безопасность пожарного.

S.A. Mamonova, I.A. Legkova, R.A. Beglov

ANALYSIS OF EQUIPMENT FOR DRYING FIRE FIGHTER'S COMBAT CLOTHING

Abstract: The article examines the maintenance of firefighter clothing, notes the importance of the drying process, analyzes equipment for drying firefighters and rescuers' clothing, and identifies the advantages and disadvantages of this equipment.

Keywords: firefighter's combat clothing, maintenance, drying, firefighter safety.

Специалисты пожарной охраны при выполнении боевых задач по тушению пожаров, проведению аварийно-спасательных работ и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, применяют соответствующее пожарно-техническое вооружение, оборудование и пожарно-спасательную технику. При этом особое внимание уделяется боевой или специальной одежде пожарных и спасателей, без которой выполнение вышеперечисленных задач не представляется возможным [1].

Чтобы обеспечить безопасность пожарного в его профессиональной деятельности существует специальная одежда различных конструкций и технологий [2, 3]. Такая одежда должна иметь множество свойств: водонепроницаемость, огнестойкость, теплоизоляция, термостойкость, защита от механических воздействий, химическая стойкость и т.д. [4, 5]. Соблюдая данные требования, боевая одежда пожарного обеспечивает его безопасность. К боевому обмундированию пожарного относятся: комплект боевой одежды (куртка, брюки или полукомбинезон), шлем, сапоги, ремень и рукавицы [6].

Срок эксплуатации боевой одежды пожарного (БОП) не менее двух лет, он зависит от условий работы и интенсивности использования. Отрицательную роль играет влияние токсичных продуктов горения на месте пожара и воздействие высоких температур. На всех элементах комплекта боевой одежды, как правило, остается слой продуктов сгорания веществ и материалов, с которыми происходил контакт на месте проведения тех или иных видов работ.

Правильный уход за боевой одеждой пожарного играет важную роль в сохранении ее защитных свойств и продлении срока службы, а также позволяет исключить риск отрицательного воздействия на организм людей из числа личного состава. Поэтому после завершения работ по тушению пожара или ликвидации

последствий чрезвычайной ситуации необходимо проводить соответствующие мероприятия по обслуживанию боевой одежды пожарных и спасателей.

Для того, чтобы произвести чистку и стирку комплекта одежды пожарного, необходимо по окончании работ отстегнуть теплоизолирующую подстежку от верхнего защитного слоя одежды, очистить и высушить. Чистка БОП производится ручным способом с применением водного раствора моющих средств при температуре не выше 40 °С, при этом нельзя использовать агрессивные моющие средства и отбеливатели. Боевая одежда, используемая в наиболее экстремальных условиях, подвергается более тщательной чистке. При необходимости производится стирка БОП при помощи специального стирального оборудования.

Сушат БОП в развешенном виде, не допуская попадания прямых солнечных лучей [1]. Храниться одежда должна в сухом отапливаемом помещении, защищенном от пыли и влаги, от попадания солнечных лучей. Нельзя хранить в грязном или влажном состоянии. При хранении боевая одежда находится в специально отведенном месте – на открытых стеллажах, сложенная в определенной последовательности. Несоблюдение рекомендаций по уходу может привести к потере эффективности БОП, что существенно увеличивает риски при выполнении боевых задач.

С учетом фактической необходимости реагирования на пожары и чрезвычайные ситуации пожарно-спасательные подразделения не всегда обеспечены требуемым запасом боевой одежды пожарного. Поэтому важно сократить время сушки БОП, и здесь может помочь специальное техническое оборудование для осуществления сушки. Сушильное оборудование предназначено для сушки боевой одежды и снаряжения, специальных костюмов и экипировки пожарных и спасателей; оно позволяет быстро и деликатно провести сушку с помощью нагретого воздуха.

Широко известны сушильные шкафы, принцип работы которых заключается в циркуляции подогретого воздуха. Внутри шкафа установлен вентилятор, который продувает воздух через БОП. Температурный режим внутри шкафа при сушке регулируется от +20°С до +60°С, что гарантирует деликатную и качественную сушку и в 2-3 раза продляет срок службы боевой одежды.



Рис. 1. Шкаф сушильный ШСБ-1



Рис. 2. Шкаф сушильный ПТС-74.00.501

Шкафы для сушки боевой одежды пожарного позволяют быстро и деликатно высушить разное количество комплектов курток, брюк и снаряжения, в зависимости от конфигурации. Шкафы бывают на 1, 2, 4 и более комплектов. Выбор зависит от численности личного состава подразделения.

Популярными моделями сушильных шкафов являются ШСБ-1 (рис. 1) и ПТС-74.00.501. Рассмотрим шкаф сушильный для боевой одежды пожарного ПТС-74.00.501 (рис. 2).

Шкаф состоит из двух основных частей: сушильной части и подставки с воздуходувом. Сушильная часть имеет две секции, каждая из них комплектуется тремя съемными полками и съемной перекладиной, что позволяет менять конфигурацию внутреннего объема сушильной части под соответствующие задачи. Воздуходув имеет дистанционное управление с функциями пуска, установки температуры и времени сушки.

Сушилка универсальная предназначена для размещения различных предметов экипировки (каска, шлемов, лицевых частей, рукавиц, сапог и т.п.) для просушки при проведении профилактических работ (рис. 3) [7].

Сушилка для костюмов предназначена для размещения различного снаряжения (гидрокостюмов, термозащитных костюмов пожарных, костюмов химической защиты спасателей и т.п.) для просушки при проведении профилактических работ. Сушилка изготавливается в трёх исполнениях, отличающихся количеством изделий, размещаемых для просушки (рис. 4) [7].



Рис. 3. Сушилка для экипировки

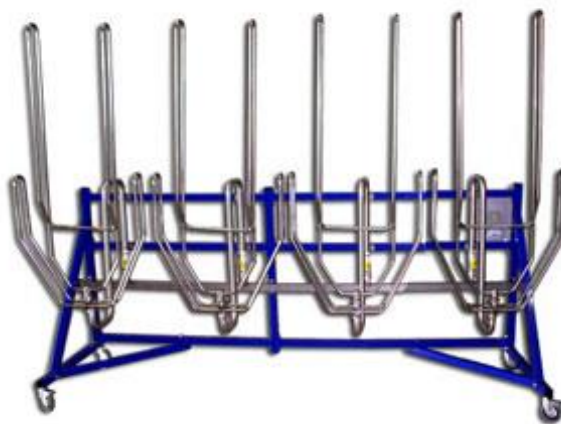


Рис. 4. Сушилка для костюмов

Сушка проводится путем подачи нагретого воздуха по полым нержавеющей трубкам через выпускные форсунки, расположенные на вешалках, непосредственно на объект сушки. Сушилки эксплуатируются в стационарных условиях в комплекте с блоком подачи воздуха ПТС «Бриз».

Применение оборудования для сушки позволяет высушить боевую одежду за 2-4 часа. Однако перечисленное оборудование имеет высокую стоимость, поэтому не все пожарно-спасательные подразделения оснащены ими. В некоторых частях ищут альтернативные технические решения для сушилок БОП. Например, было предложено

изготовление и установка в гараже сушилки для специальной одежды на восемь комплектов с подключением ее к штатной вентиляции гаража с использованием дополнительной тепловой пушки [8]. Сушилка выполнена из доступных материалов: металлический уголок; трубы металлические; пластиковые трубы; брезентовая ткань. Поэтому данное предложение имеет небольшие материально-технические затраты на внедрение.

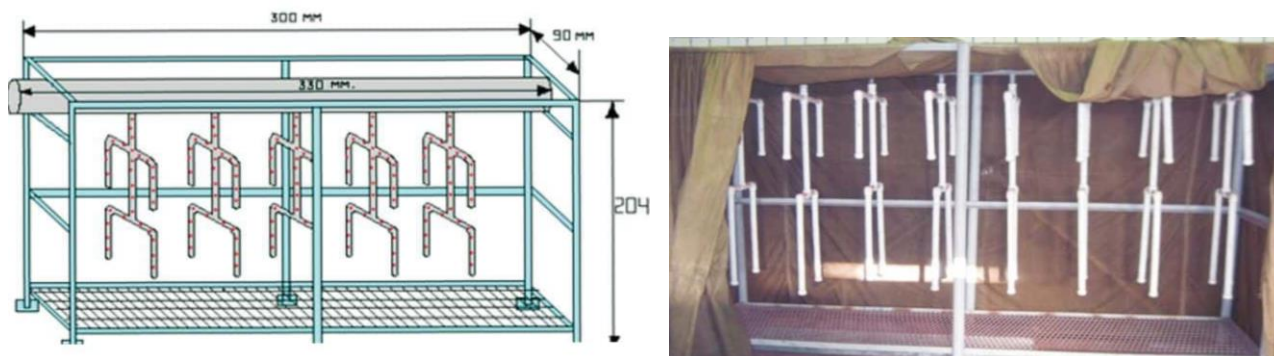


Рис. 5. Альтернативные технические решения

За счет установки сушилки для специальной одежды, уменьшается время приведения в боевую готовность личного состава дежурного караула после учений (пожаров).

Заключение:

- Сотрудники пожарной охраны находятся в постоянной готовности выехать на вызов в любое время, но, желательно, в сухой боевой одежде, которая служит надежной броней от ожогов и перегрева. Поэтому форма должна сохранять все основные свойства после ее использования в зоне тушения пожара – прочность, герметичность, целостность, и быть абсолютно сухой.

- Качественное обслуживание боевой одежды пожарного не только продлевает срок ее эксплуатации, но и сохраняет все ключевые защитные свойства материалов. Это особенно важно для обеспечения безопасности сотрудников в критических условиях, где любое отклонение от нормы может поставить под угрозу жизнь и здоровье.

- Целесообразно оснащение всех подразделений специальным техническим оборудованием, предназначенным для чистки и сушки всех видов боевой и специальной защитной одежды пожарных и спасателей. Однако не все пожарно-спасательные части могут себе позволить дорогостоящее сушильное оборудование, поэтому актуальным является поиск новых технических решений: эффективных, но более бюджетных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильницкий С.В. Совершенствование системы эксплуатации и обслуживания боевой одежды пожарных и спасателей // Молодой ученый. 2024. № 7(506). С. 248-252.
2. ГОСТ Р 53264-2019. Техника пожарная. Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний.

3. Крашенинникова Е.А., Легкова И.А., Коклданов Б.А. Анализ средств защиты пожарного от тепловых воздействий // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2025. С.440-443.

4. Спиридонова В.Г., Циркина О.Г. Сорокин Д.В., Никифоров А.Л. Обоснование актуальных подходов к оценке пожароопасных свойств текстильных материалов и способов огнезащиты тканей различного функционального назначения // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 2 (47). С.126-133.

5. Ульева С.Н., Никифоров А.Л., Румянцева В.Е., Легкова И.А., Шарабанова И.Ю. Защита целлюлозных материалов от воздействия высоких температур и открытого пламени // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2024. № 2. С. 207-212.

6. fireman.club/statyi-polzovateley/boevaya-odezhda-pozharnogo.

7. <http://ptopts.beget.tech/produksiya/sushilnye-sistemy/122-sushilnoe-oborudovanie-pts>.

8. <https://fireman.club/statyi-polzovateley/sushilka-dlya-specodezhdy-pozharnyx-svoimi-rukami>.

УДК 378.147

А.Ю. Никитин, М.А. Федяшина, Л.В. Гулева, Д.А. Птюшкин

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ АКАДЕМИЕЙ ГПС МЧС РОССИИ МЕЖВУЗОВСКОЙ ОЛИМПИАДЫ «КОМПЬЮТЕРНОЕ 2D-МОДЕЛИРОВАНИЕ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ»

Аннотация: Настоящая статья посвящена детальному исследованию организации и проведения межвузовской олимпиады по инженерной и компьютерной графике, организованной Академией Государственной противопожарной службы Министерства чрезвычайных ситуаций Российской Федерации (Академия ГПС МЧС РФ) в июне 2025 года. В рамках статьи представлены ключевые аспекты организации, специфика задания и методика оценки конкурсных работ, проанализированы итоги соревнования, а также приведены рекомендации по дальнейшему развитию и совершенствованию формата аналогичных мероприятий.

Ключевые слова: Инженерная графика, компьютерная графика, межвузовская олимпиада, Компас-3D, компьютерное 2D-моделирование, дистанционный формат.

A.Y. Nikitin, M.A. Fedyashina, L.V. Guleva, D.A. Ptyushkin

ORGANIZATION AND HOLDING BY THE ACADEMY OF GPS OF THE MINISTRY OF EMERGENCY SITUATIONS OF RUSSIA OF THE INTERUNIVERSITY OLYMPIAD «COMPUTER 2D MODELING IN ENGINEERING GRAPHICS»

Abstract: This article is devoted to a detailed study of the organization and holding of the interuniversity Olympiad in engineering and computer graphics, organized by the Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation (Academy of GPS of the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation) in June 2025. The article presents the key aspects of the organization, the specifics of the assignment and the methodology for evaluating competitive work, analyzes the results of the competition, and provides recommendations for further development and improvement of the format of similar events.

Keywords: Engineering graphics, computer graphics, interuniversity Olympiad, Compass-3D, computer 2D modeling, distance format.

Введение

В современных реалиях любая сфера человеческой деятельности требует наличия квалифицированных специалистов, способных оперативно решать сложные инженерные задачи, обладать глубокими знаниями и владеть передовыми методами проектирования и визуализации технических решений. Важнейшей составляющей подготовки таких специалистов является изучение инженерной графики, которая позволяет развить пространственное мышление и формирует навыки, необходимые для создания и чтения технических схем и чертежей.

В высших учебных заведениях всегда особое внимание уделялось контролю получаемых обучающимися знаний и навыков посредством проведения олимпиад и конкурсов. Одним из значимых мероприятий в данном направлении выступают межвузовские олимпиады.

В настоящем исследовании ставится цель рассмотреть вопросы, связанные с организацией, подготовкой и проведением межвузовской олимпиады «Компьютерное 2D-моделирование в инженерной графике», состоявшейся в июне 2025 года по инициативе работников Академии ГПС МЧС России. Также хотелось бы подчеркнуть ее вклад в профессиональное образование, показать пути совершенствования методики подготовки обучающихся и дать практические рекомендации для дальнейшего развития подобных мероприятий.

История проведения олимпиад по инженерной графике в Российской Федерации

Инженерно-графические дисциплины в российском высшем профессиональном образовании преподаются уже многие десятилетия. Изначально изучение этого комплекса дисциплин основывалась исключительно на ручной технике исполнения чертежей, однако с приходом эры информационных технологий появилась потребность интегрировать современные системы автоматизированного проектирования (САПР) в образовательный процесс. Переход к таким средствам привел к серьезным изменениям в содержании курсов инженерной графики и потребовал переосмысления способов оценки компетентности обучающихся.

В Российской Федерации традиции олимпиадного движения по инженерно-графическим дисциплинам имеют давнюю историю. «Московские городские олимпиады по начертательной геометрии проводятся ежегодно с 1975 года. С 1975 по 1982 год они проходили в МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1983-1985 годах - в РУТ, в 1986-1990 годах в МИЭМ им. А.Н. Тихонова, в 1991-1997 годах - МГТУ им. Н. Э. Баумана и 1998-2015 годах в МИТХТ им. М.В. Ломоносова, с 2015 года в РТУ МИРЭА. В 2020 году московский тур олимпиады не проводился в связи с введенными ограничениями из-за COVID-19» [2].

«Всероссийские олимпиады проводились в 1999 и 2000 годах в Москве в МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2001 и 2003 годах в Брянске в БГТУ, в 2004-2014 годах в МИТХТ им. М.В. Ломоносова, с 2015 года в РТУ МИРЭА. Всероссийская олимпиада 2002 года не проводилась» [2].

В 1988 году в нашей стране впервые был официально представлен программный продукт от североамериканской компании Autodesk – AutoCAD версии 10. Несколько позже, а именно в 1991 году, в России стали проводиться Всероссийские студенческие олимпиады (ВСО) по инженерной и компьютерной графике. «Центром олимпиадного движения стал Нижегородский государственный университет. Позднее к организации и проведению ВСО подключились кафедры графики Московского института тонких химических технологий, Новосибирского государственного технического университета. В этих городах ВСО ежегодно проводятся и в настоящее время. Проводятся ВСО и в других городах (Омск, Саратов, С-Петербург)» [1].

Со временем такие инициативы распространились и на уровне отдельных регионов и учебных заведений, формируя общероссийские площадки для сравнения уровней подготовки студентов и распространения передового педагогического опыта.

На данный момент силами сотрудников Академии ГПС МЧС РФ межвузовская олимпиада по инженерной и компьютерной графике была организована уже во второй раз. Впервые олимпиада такого уровня была проведена в 2023 году. Тогда в состязании «принимали участие 28 обучающихся из пяти ведомственных вузов МЧС: Академия ГПС МЧС России (Москва), Академия ГЗ МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика (Химки), Донецкий институт ГПС МЧС ДНР (Донецк), Ивановская пожарно-спасательная Академия ГПС МЧС России (Иваново), Институт управления и комплексной безопасности Академии ГПС МЧС России (Москва)» [3, с. 53]. В 2025 году список вузов-участников олимпиады несколько сократился – по ряду причин в мероприятии не участвовали обучающиеся из Ивановской пожарно-спасательной Академии ГПС МЧС России. Остальные вышеперечисленные вузы предоставили своих кандидатов для участия в олимпиаде.

Сегодня межвузовские олимпиады приобрели особую значимость, поскольку позволяют наглядно увидеть степень готовности молодого специалиста к будущему трудоустройству и участию в научно-исследовательской деятельности.

Постановка целей и задач олимпиады

Основная цель проведения межвузовской олимпиады по инженерной и компьютерной графике заключается в формировании условий для реализации творческого потенциала студентов и курсантов, проверки их готовности к решению реальных производственных задач и стимуляции глубокого усвоения материала по дисциплине. Дополнительные задачи включают:

- Определение уровня подготовки обучающихся различных вузов по дисциплине «Инженерная и компьютерная графика».
- Оценку эффективности используемых педагогических методик и технологий в ходе подготовки обучающихся.
- Повышение интереса обучающихся к активному применению знаний и навыков в профессиональной деятельности.
- Популяризацию инженерной графики как важного элемента подготовки современного инженера.

Данный подход обеспечивает возможность объективной оценки подготовки студентов и курсантов и помогает выстроить эффективный механизм обратной связи между образовательными учреждениями и работодателями.

Организационные мероприятия по подготовке межвузовской олимпиады

Межвузовская олимпиада по инженерной и компьютерной графике проводилась в год 35-летия МЧС и была посвящена этой юбилейной дате. Также проведение олимпиады являлось одним из пунктов перспективного плана развития кафедры механики и инженерной графики Академии ГПС МЧС России на 2025 год.

Первым шагом в организационных мероприятиях стала разработка Положения о проведении межвузовской олимпиады по инженерной графике «Компьютерное 2D-моделирование в инженерной графике» представителями оргкомитета.

Далее посредством системы электронного документооборота (СЭД) была осуществлена рассылка приглашений для участия в олимпиаде руководителям вузов ведомства. Проведение состязаний изначально планировалось в дистанционном формате, поскольку вузы-участники территориально располагаются на значительном удалении друг от друга. Совестным решением представителей всех задействованных учебных заведений были выбраны 2 даты для выдачи конкурсных заданий обучающимся. Для вузов, базирующихся в Москве и Химках, было назначено 3 июня, для Донецкого института ГПС МЧС ДНР – 10 июня.

После того, как были получены решения конкурсных заданий от всех участников, жюри приступило к их проверке и распределению призовых мест.

По причине достаточно большого общего количества участников (38 человек), а также из-за различного уровня подготовки в плане использования системы Компас-3D для нужд инженерной графики – у обучающихся по направлению подготовки ИСИТ (код 09.03.02) этот уровень заметно выше, чем у обучающихся по направлениям подготовки ПБ (код 20.05.01) и ТБ (код 20.03.01) – было принято решение присуждать призовые места по каждому из трех направлений отдельно.

Содержание конкурсного задания

Одним из центральных моментов рассматриваемого мероприятия является оригинальность и сложность конкурсного задания. Задача, поставленная перед участниками, должна отвечать актуальным профессиональным требованиям и проверять широкий спектр компетенций, приобретенных в ходе обучения. Задание олимпиады, проведенной в июне 2025 года, демонстрировало реалистичный характер задачи, с которой будущий специалист может столкнуться в своей трудовой деятельности.

Задание состояло в следующем: участникам предъявлялся чертеж, содержащий два вида детали — спереди и сверху. На виде спереди при помощи линий невидимого контура была показана внутренняя конфигурация изделия. Используя систему автоматизированного проектирования Компас-3D, каждый участник должен был создать вид слева, дополненный половиной профильного разреза, соответствующий заданным параметрам и пропорциям детали. Вместо вида спереди требовалось выполнить фронтальный разрез изделия. Такое задание отражает реальную ситуацию, возникающую в производстве, когда инженеру приходится восстанавливать отсутствующие элементы чертежа на основе ограниченных исходных данных.

Также отдельным пунктом было отмечено решение не использовать во время конкурсных состязаний 3D-моделирование заданных деталей. Поскольку не во всех вузах есть возможность включить в курс дисциплины «Инженерная графика» темы по

изучению 3D-моделирования, то участники, владеющие навыками создания 3D-моделей и использующие эти навыки в процессе решения полученных заданий, получили бы значительное и при этом не вполне справедливое преимущество перед теми обучающимися, у кого таких навыков нет.

Предложенное испытание потребовало от участников олимпиады развитых навыков в определении особенностей геометрических тел и форм по их изображениям на чертеже, знания требований ГОСТов Единой системы конструкторской документации (ЕСКД), а также уверенности в применении современных инструментов цифрового проектирования. Требовалось соблюсти точность графических построений, обеспечив при этом соответствие полученных изображений общим правилам и стандартам ЕСКД, а также проявить творческий подход к решению поставленных задач.

Методика оценки результатов

Техника оценки конкурсных работ разрабатывалась специально для обеспечения объективности в процессе отбора победителей. Каждый участник получал баллы по отдельным категориям, представленным в следующем списке:

1. Правильность выполнения: проверялась степень соответствия полученных в итоге видов и разрезов заданному оригиналу. Баллы начислялись за точное воспроизведение всех построений, необходимых для получения правильного изображения.

2. Соблюдение стандартов ЕСКД: определялось четкое следование требованиям общепринятых стандартов при оформлении чертежа.

3. Эффективность использования возможностей Компас-3D: оценивались скорость выполнения задания и применение оптимальных методов построения изображений.

4. Оформление чертежа: учитывались эстетичный внешний вид и аккуратность готового документа, оптимальное расположение всех элементов на формате.

Для каждого из перечисленных критериев была установлена шкала оценок, которую предварительно утвердили организаторы олимпиады. Затем полученные показатели конкурсантов сводились в единую рейтинговую таблицу, на основании которой жюри принимало решение о распределении призовых мест среди участников.

Итоги олимпиады

Итоги проведенного мероприятия подтвердили его положительное влияние на совершенствование качества учебного процесса и на повышение заинтересованности обучающихся в изучении инженерно-графических дисциплин. Многие участники продемонстрировали высокий уровень знаний и навыков, проявив при этом стремление достичь максимальных результатов. Также была отмечена обоснованность выбора конкурсных заданий.

При подведении итогов призовые места, присуждаемые по каждому из трех направлений подготовки, распределились следующим образом:

- По направлению подготовки ИСИТ:

1 место – рядовой вн.сл. Птюшкин Данила Андреевич (АГПС гр.1523);

2 место – рядовой вн.сл. Ревенко Максим Александрович (АГЗ гр.2243);

3 место – рядовой вн.сл. Леонтьев Матвей Сергеевич (АГПС гр.1523).

- По направлению подготовки ТБ:

1 место – студент Савин Егор Иванович (АГЗ гр.3243);

2 место – рядовой вн.сл. Крупина Алена Владимировна (АГПС гр.1424);

3 место – рядовой вн.сл. Баранов Никита Александрович (АГПС гр.2124).

- По направлению подготовки ПБ:

1 место – не присуждается;

2 место – студент Дроздов Леонид Алексеевич (ИУиКБ гр.3124П);

3 место – рядовой вн.сл. Белов Георгий Эдуардович (Донецкий институт ГПС гр.ТБ-24 1/к).

По направлению подготовки ПБ было принято решение первое место не присуждать, так как никем из участников не было представлено полностью верное решение конкурсной задачи, которое можно было бы удостоить высшей награды.

Таким образом можно отметить, что в число победителей вошли лучшие представители вузов ведомства, получившие почетные грамоты и признание своего мастерства.

Хотелось бы отметить, что наряду с несомненными положительными сторонами у рассматриваемого мероприятия обнаружились и некоторые проблемные ситуации, касающиеся различий в уровне владения используемым программным обеспечением у обучающихся, представляющих разные направления подготовки, неравномерной оснащенности вузов необходимым оборудованием и в ряде случаев недостаточной координации в действиях преподавателей. В дальнейшем необходимо продолжать работу по устранению перечисленных недостатков и разрабатывать новые стратегии по улучшению качества подготовки будущих инженеров.

Призеры межвузовской олимпиады отмечали, что участие в данном событии дало им уникальную возможность почувствовать атмосферу конкуренции, приобрести полезный опыт работы в новых условиях и научиться ориентироваться в сложных ситуациях, с которыми им до этого не приходилось сталкиваться.

Рекомендации по дальнейшему развитию межвузовских олимпиад

Ниже предлагается перечень рекомендаций, направленных на совершенствование структуры мероприятия и повышения его ценности для участников и организаторов:

1. Увеличение масштаба мероприятия: привлечь к участию большее количество учебных заведений и обучающихся, создав площадку для национального конкурса.

2. Автоматизация оценочных процедур: по возможности разработать и в дальнейшем использовать специальные алгоритмы для автоматического контроля правильности выполнения чертежей и ускоренного определения промежуточных и итоговых результатов.

3. Создание единой базы заданий: формирование такой базы позволит обеспечить равные условия в конкурсных состязаниях каждому участнику независимо от места проживания и вуза.

4. Регулярность проведения: установить периодичность проведения олимпиад таким образом, чтобы система приобрела устойчивый характер и постоянную аудиторию.

5. Укрепление связей с комплектующими органами МЧС: наладить взаимодействие со структурами, направляющими абитуриентов на обучение в вузы МЧС России, а также по возможности привлекать сотрудников данных структур выступать в роли членов жюри.

Предлагаемые мероприятия позволят в значительной мере усилить влияние олимпиады на качество подготовки инженеров и обеспечат дополнительную мотивацию для студентов и курсантов.

Заключение

Межвузовская олимпиада «Компьютерное 2D моделирование в инженерной графике», организованная Академией ГПС МЧС РФ, в полной мере продемонстрировала свою ценность в качестве инструмента объективной оценки уровня подготовки как обучающихся, так и педагогических кадров. Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале данной формы мероприятий, способствующих развитию творческой активности молодежи и обеспечению устойчивого прогресса в сфере совершенствования инженерного образования.

«Участие в олимпиаде является мощным импульсом к постижению новых знаний и умений в области графических дисциплин, способствует развитию личностных качеств, а также социальной ответственности, активности...» [3, с. 57].

Последовательное внедрение предложенных рекомендаций позволит добиться значительных позитивных изменений, которые сделают формат межвузовских олимпиад по инженерной и компьютерной графике конкурентоспособным на Всероссийском, а, возможно, и на международном уровнях и послужат основой для более качественной подготовки молодых специалистов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Всероссийские олимпиады по инженерной и компьютерной графике // grapham.susu.ru [Электронный ресурс]. – URL: https://grapham.susu.ru/olimp_kgr.html (дата обращения: 15.01.2026). — Текст: электронный.
2. Олимпиада по начертательной геометрии, инженерной и компьютерной графике // геометриада.рф [Электронный ресурс]. – URL: <https://xn--80aahfdav4arvv.xn--p1ai/%D0%BE%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%BF%D0%B8%D0%B0%D0%B4%D0%B0?ysclid=mi5rrtgwv8959758017> (дата обращения: 19.01.2026). — Текст: электронный.
3. Червоноокая, С.М. Межвузовская олимпиада по инженерной графике как инструмент интеграции творческой активности в формировании профессиональных компетенций / С.М. Червоноокая, О.В. Токарева // Культура и безопасность. – 2023. – № 4. – С. 51-60. – DOI 10.25257/KB.2023.4.51-60.

УДК 004.42

С.А. Никитина

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС ВУЗА

Аннотация: В статье рассматривается вопрос внедрения информационных технологий в учебный процесс, улучшающих качество образования, на примере использования программного продукта nanoCad при выполнении графических работ в рамках изучения дисциплины «Инженерная и компьютерная графика». Приводятся основные преимущества использования nanoCad в учебном процессе.

Ключевые слова: информационные технологии, инженерная и компьютерная графика, nanoCAD, nanoCAD BIM Строительство, учебный процесс.

S.A. Nikitina

INTRODUCTION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE UNIVERSITY

Abstract: The article discusses the issue of introducing information technologies into the educational process that improve the quality of education, using the example of using the nanoCAD software product when performing graphic work in the framework of studying the discipline "Engineering and Computer Graphics". The main advantages of using nanoCAD in the educational process are given.

Keywords: information technology, engineering and computer graphics, nanoCAD, nanoCAD BIM Construction, educational process.

Изменение вектора образовательного процесса с подхода, основанного на знаниях, на практико-ориентированный подход к результатам образовательного процесса, неизбежно привело к тому, что потребовались новые технологии и методы обучения. Первостепенную роль в достижении поставленных целей играют активные и интерактивные формы и методы обучения.

Обучение с использованием интерактивных образовательных технологий предполагает отличную от привычной логику образовательного процесса: не от теории к практике, а от формирования нового опыта к его теоретическому осмыслению через применение [1].

Ключевую роль в образовательном процессе сегодня играет интеграция информационных технологий, которая значительно улучшает качество обучения и повышает его доступность [2].

Программный продукт nanoCad - один из таких инструментов, который находит широкое применение в таких областях, как архитектура, инженерное проектирование, машиностроение и строительные технологии. Данный программный продукт предназначен для проектирования, создания чертежей и 3D-моделирования. Основное преимущество nanoCad заключается в простоте использования, интуитивно понятном

интерфейсе и различных функциональных возможностях. Программа поддерживает формат DWG, что позволяет интегрировать работу студентов с другими CAD-системами [3].

Одним из преимуществ использования программы nanoCad в учебном процессе – это доступность и удобство. Адаптированный интерфейс и многоязычная поддержка делают его удобным для студентов, что позволяет быстро освоить необходимые навыки. Кроме этого, программное обеспечение часто предлагается вузам на льготных условиях, что позволяет снизить финансовые затраты на лицензионное обеспечение. На кафедре инженерной графики и компьютерного моделирования НИУ МГСУ изучаются дисциплины с применением информационных технологий, таких как nanoCAD Renga и др.

При изучении дисциплины «Инженерная и компьютерная графика» для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 «Строительство», Рабочей программой дисциплины предусмотрено учебное задание, выполняемое в компьютерных классах университета на занятиях по компьютерному практикуму с использованием графического редактора nanoCAD модуль Строительство.

Модуль nanoCAD «Строительство» (nanoCAD BIM Строительство) – это приложение на базе платформы nanoCAD предназначенное для проектирования архитектурной и конструктивной частей зданий и сооружений с применением технологии информационного моделирования (BIM).

В рамках освоения дисциплины, студенты изучают управление интерфейсом программы nanoCAD (модуль Строительство), принцип работы различных команд, учатся читать, выполнять и оформлять строительные чертежи, формировать спецификации и экспликации, работать с таблицами.

Освоение перечисленных навыков осуществляется на примере выполнения чертежа жилого двухэтажного здания.

На первом этапе выполнения задания нужно по заданной схеме вычертить план здания. Для этого необходимо выполнить построение сетки координационных осей, по которой осуществляют привязку несущих наружных и внутренних стен.

Сетка осей создается с помощью инструмента «Оси», расположенного во вкладке «Архитектура» (рис. 1).

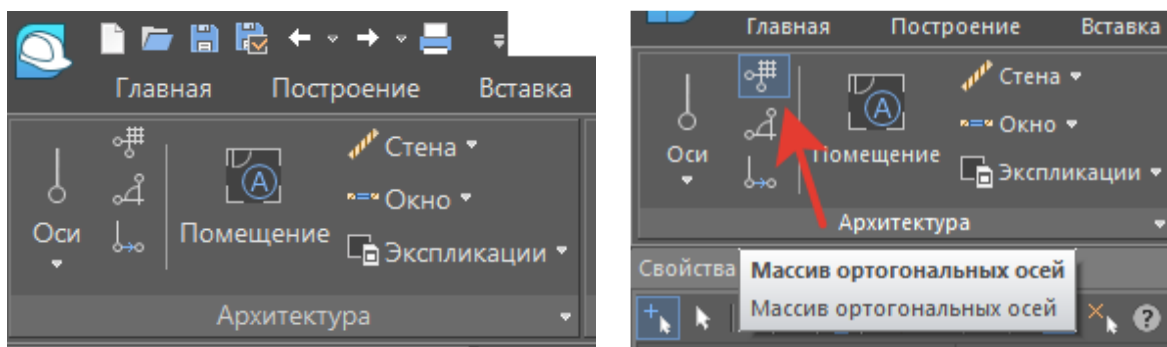


Рис. 1. Местоположение команды создания сетки координационных осей

Для построения сетки координационных осей целесообразнее использовать кнопку «Массив ортогональных осей», а в диалоговом окне ввести значения согласно заданию по расположению этих осей относительно друг друга (рис.1).

Результат построения сетки осей представлен на рис. 2.

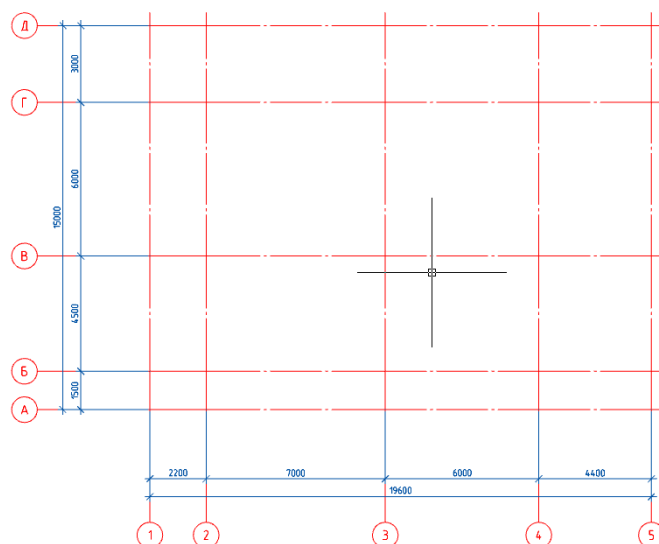


Рис. 2. Сетка осей

После построения сетки осей студенты выполняют привязку несущих наружных и внутренних стен, а затем вычерчивают перегородки. Для выполнения этого этапа работы используют инструмент «Стена», расположенный во вкладке «Архитектура» (рис. 3).

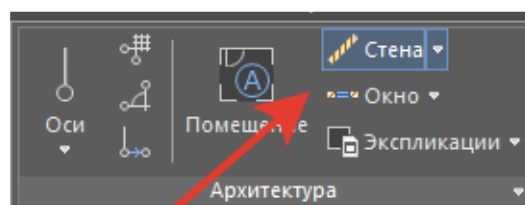


Рис. 3. Расположение инструмента «Стена»

Перед вычерчиванием стен нужно в окне «Свойства» настроить толщину стены, ее высоту и тип, после чего необходимо перейти в командную строку и настроить смещение относительно оси. Далее, чередуя толщину стен и привязку к оси, формируем контуры плана (рис.4).

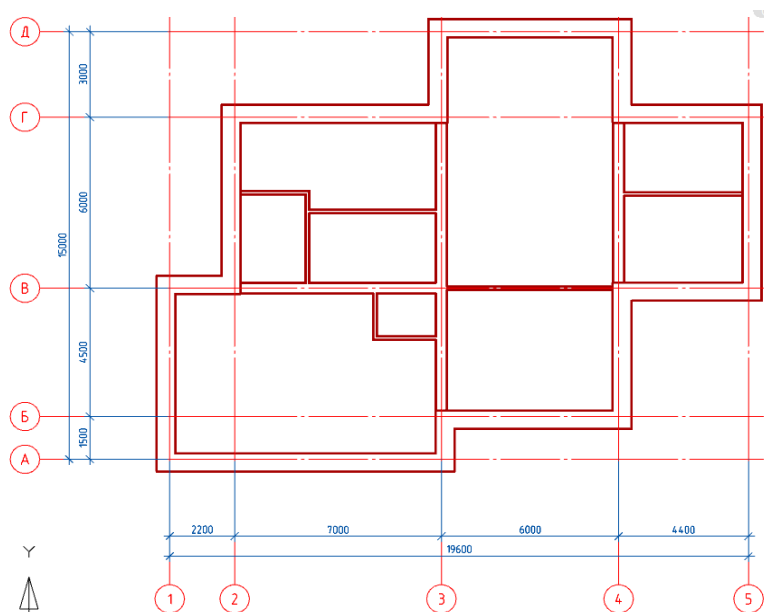


Рис. 4. Построение контура плана

Следующим этапом после создания контура плана является расстановка и заполнение оконных и дверных проемов. Для этого во вкладке «Архитектура» выбираем команду «Окно» или «Дверь» (рис. 5а).

Вызывая построение окна из базы элементов, можно выбрать различные конфигурации объекта. С помощью команды контекстного меню «Свойства» устанавливаются нужные значения. Вид диалога зависит от выбранной конфигурации окна.

Для отображения на чертеже маркировки окна/двери в меню «Свойства» нужно заполнить строку «Метка» (рис. 5б).

Маркирование окон/дверей на чертежах — это способ нумерации типов оконного/дверного заполнения. Марки расставляются на чертежах над окнами/дверями, затем марки собираются в спецификацию (рис. 6).

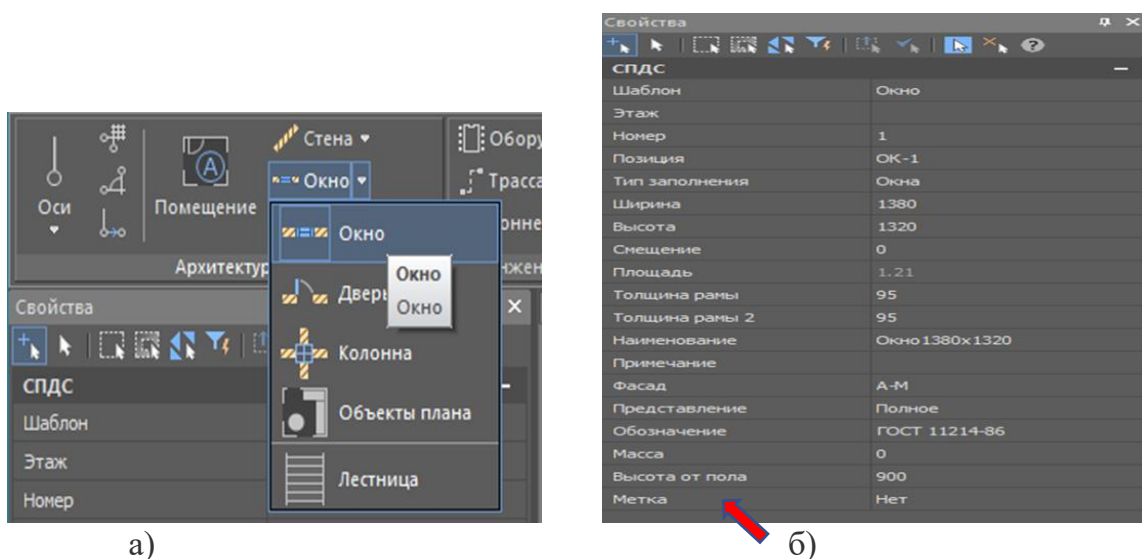


Рис. 5. Расположение в панели команды «Окно» и свойства окна

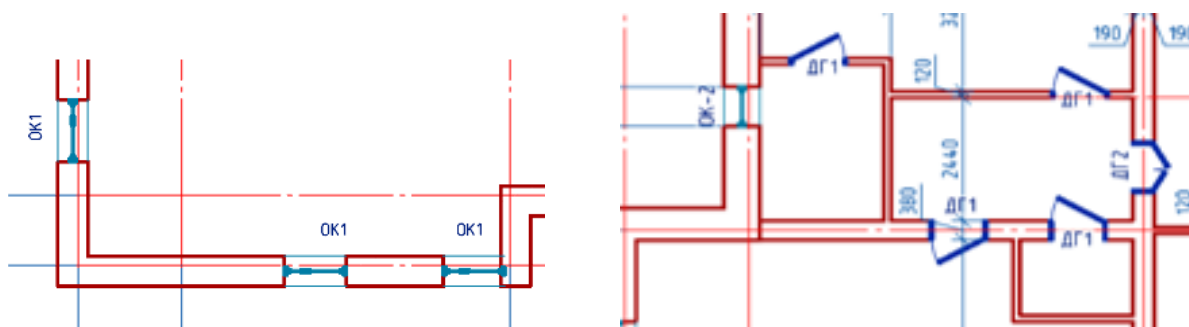


Рис. 6. Пример маркировки окон и дверей

На плане этажа необходимо предоставить информацию о помещениях. Допускается указывать наименования помещений и их площади (рис. 7а). Площадь помещения и категории приводят в экспликации помещений. В этом случае на планах вместо наименований помещений проставляют их номера (рис. 7б).

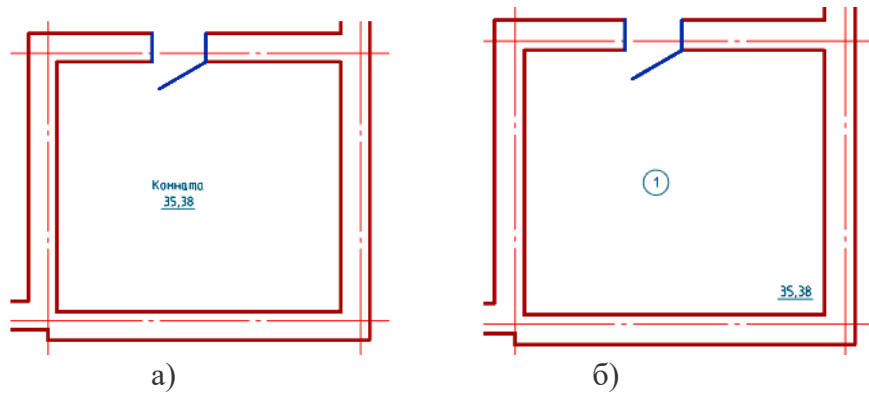


Рис. 7. Маркировка помещений

Модуль СПДС в nanoCAD позволяет автоматически создавать экспликации и спецификации. Для этого во вкладке «Архитектура» берется команда «Спецификация» либо «Экспликация» (рис. 8), что позволяет формировать нужные таблицы (рис. 9).

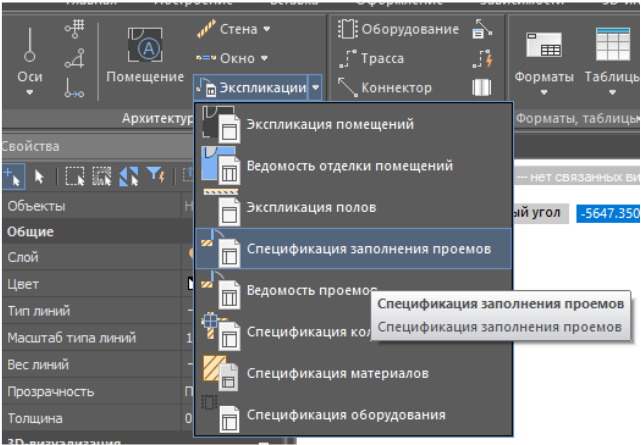


Рис. 8. Расположение команды спецификация и экспликация

Поз	Обозначение	Наименование	Всего ед. шт.	Примечание
Окна				
ОК-1	ГОСТ 11214-86	Окно 1380х1320	2	
ОК-2		Окно 780х1320	5	
ОК-3		Окно 1080х1320	1	
ОК-4		Окно 2380х1320	1	
Двери				
ДП-1	Дверь	ДП-1	1	
ДГ-1		Дверь 1000х2100	7	
ДГ-2		Дверь 1200х2100	1	

Экспликация помещений		
Номер помещения	Наименование	Площадь, м²
1	Кухня	45.94
2	Жилая комната	23.79
3	Коридор	10.47
4	Комната	18.63
5	Гостиная	49.04
6	Комната	9.78

Рис. 9. Спецификация элементов заполнения оконных и дверных проемов и экспликация помещений

Результатом выполнения задания студентами является чертеж плана здания с указанием на нем всех необходимых наружных и внутренних размеров, расстановкой санитарно-технического оборудования, оформленный рамкой и основной надписью (рис. 10). Чертеж также содержит спецификацию оконных и дверных проемов и экспликацию помещений.

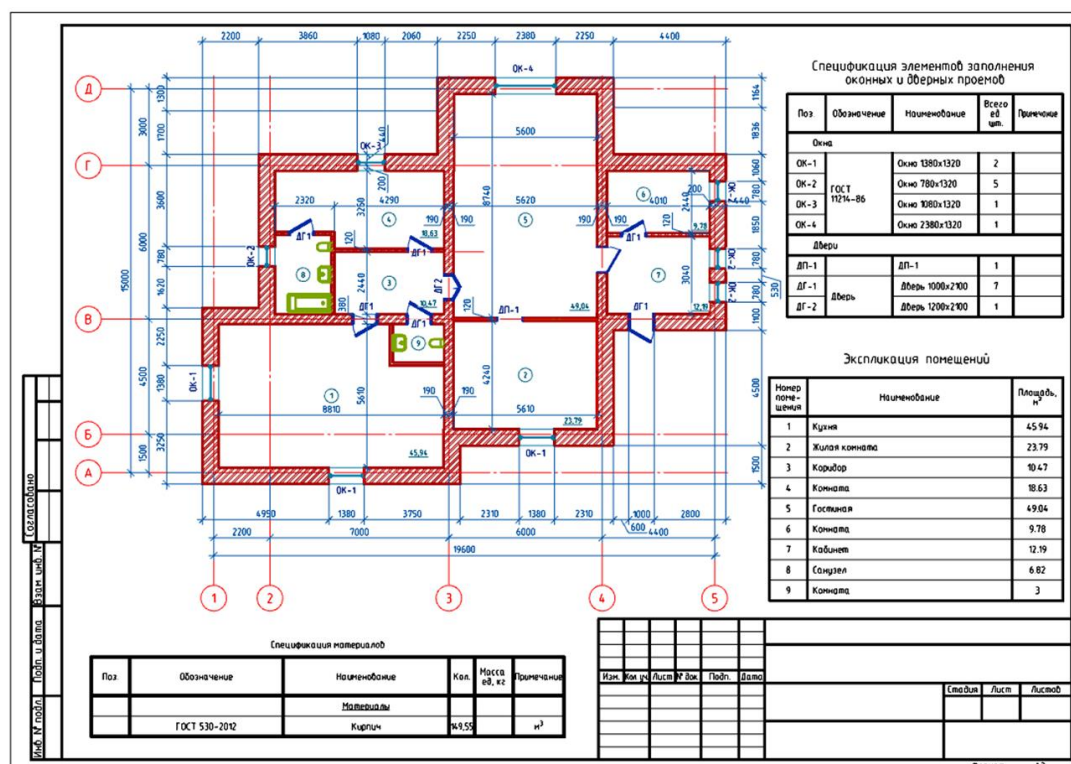


Рис. 10. Чертеж плана здания и спецификаций и экспликации

Полученные студентами знания и навыки при выполнении подобных заданий с использованием программного продукта nanoCad, способствуют формированию у них профессиональных компетенций будущих специалистов строительной отрасли, а также в процессе их обучения, найдут применение при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

Таким образом, внедрение в учебном процессе программного продукта nanoCad является важным шагом интеграции современных технологий в образование. Доступное и удобное программное обеспечение направлено на качественное обучение студентов, развитие их практических навыков, повышение конкурентоспособности на рынке труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю. В. Гущин Интерактивные методы обучения в высшей школе // Психологический журнал Международного университета природы, общества и человека «Дубна» Dubna Psychological Journal. 2012. №2. С. 1-18
2. С.А. Никитина Применение программы nanoCad в учебном процессе// Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 2024, С. 388-392.
3. С.А. Никитина Роль современных образовательных технологий в пространстве российского вуза, Иваново: Научный поиск: личность, образование, культура, 2024, № 2, С. 55-62
3. Информационные технологии в процессе обучения. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.griban.ru/blog/14-informacionnye-tehnologii-v-processe-obucheniija.html>
5. <https://www.nanocad.ru/products/bim/stroitelstvo/>

УДК: 004.02, 621.9

А.А. Романова, Е.В. Егорычева

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Аннотация: в условиях роста числа техногенных и природных катастроф актуальной задачей является цифровизация процессов оповещения и взаимодействия населения со службами МЧС. В данной статье рассматривается процесс разработки прототипа мобильного приложения, призванного сократить время реакции в чрезвычайных ситуациях. В работе представлены архитектура приложения, ключевые пользовательские сценарии и визуальные решения интерфейса. Результатом исследования является интерактивный прототип, который может быть использован для дальнейшей разработки полнофункционального программного продукта.

Ключевые слова: мобильное приложение, прототипирование, Figma, МЧС, чрезвычайные ситуации (ЧС), UI/UX-дизайн, пользовательский интерфейс.

A.A. Romanova, E.V. Egorycheva

DEVELOPMENT OF A MOBILE APP PROTOTYPE FOR RAPID RESPONSE IN EMERGENCY SITUATIONS

Abstract: in the context of an increasing number of man-made and natural disasters, the digitalization of notification processes and public interaction with the Ministry of Emergency Situations is an urgent task. This article explores the development of a prototype mobile application designed to reduce response times in emergency situations. The article presents the application's architecture, key user scenarios, and visual interface solutions. The result of the research is an interactive prototype that can be used for further development of a fully functional software product.

Keywords: mobile app, prototyping, Figma, Ministry of Emergency Situations, emergencies, UI/UX design, user interface.

Современный мир сталкивается с возрастающим количеством чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера. Эффективность спасательных операций напрямую зависит от скорости получения информации и оперативности реагирования. По статистике, большинство граждан в момент ЧС испытывают панику и не могут быстро сориентироваться, найти ближайшее убежище или вызвать помощь. Существующие решения (звонки по номеру 112, сайты МЧС) зачастую требуют времени и не предоставляют визуальной информации о местоположении опасных зон и путей эвакуации. Разработка специализированного мобильного приложения, ориентированного на простоту и скорость использования, является актуальной научно-практической задачей, способной повысить уровень защищенности населения [4, 5]. В данной статье рассматривается процесс создания прототипа мобильного приложения для оперативного реагирования в чрезвычайных ситуациях, начиная от анализа функциональных требований и заканчивая реализацией интерактивного макета в среде Figma. Особое внимание уделяется эргономике интерфейса в стрессовых ситуациях и

визуализации ключевых данных, при этом проектирование ведется в строгом соответствии с принципами человеко-ориентированного проектирования, закрепленными в ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016 «Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем» [2].

Перед началом проектирования был проведен комплексный анализ существующих мобильных приложений в сфере безопасности, включая приложения систем «Безопасный город», региональные разработки МЧС, а также зарубежные аналоги, такие как FEMA и приложения экстренного оповещения европейских стран. В результате анализа были выявлены их основные недостатки: перегруженность интерфейса второстепенными элементами, длительный процесс авторизации, отсутствие офлайн-карт и недостаточная адаптация для использования людьми в состоянии стресса.

Для формализации требований к разрабатываемому приложению была построена диаграмма вариантов использования (Use Case Diagram) в нотации UML (рис. 1).

Исходя из этого, были сформулированы ключевые требования к разрабатываемому прототипу, которые легли в основу технического задания. К ним относятся:

- минимальное количество действий для отправки сигнала бедствия (принцип «одного касания»);
- наличие крупных контрастных кнопок управления;
- автоматическая передача точных геоданных;
- информирование пользователя о ближайших убежищах и опасных зонах;
- возможность работы в условиях нестабильного интернет-соединения посредством кэширования картографической информации.

Указанные требования соответствует положению ГОСТ Р 22.7.01-2021 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Единая дежурно-диспетчерская служба» [1], регламентирующим порядок приема и обработки экстренных вызовов.

В качестве среды для разработки прототипа была выбрана Figma, что обусловлено рядом существенных преимуществ. Прежде всего, это кроссплатформенность, обеспечивающая доступность работы через браузер на различных операционных системах. Возможность командной работы и комментирования в реальном времени позволяет организовать эффективное взаимодействие между дизайнерами, аналитиками и потенциальными заказчиками. Наличие обширной библиотеки плагинов существенно упрощает создание анимации и

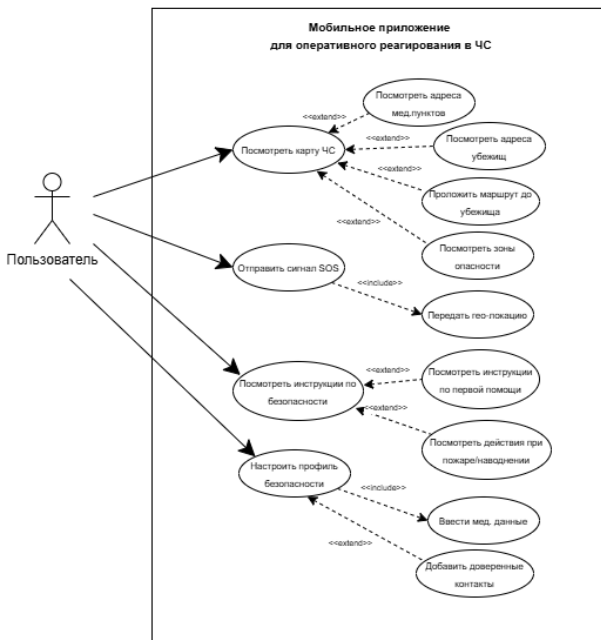


Рис. 1. Диаграмма вариантов использования

наполнение макетов контентом. Наконец, удобный режим презентации позволяет демонстрировать интерактивный прототип, имитирующий поведение готового приложения, что критически важно для сбора обратной связи на ранних этапах проектирования.

На этапе формирования информационной архитектуры была спроектирована навигационная структура приложения, ориентированная на минимизацию когнитивной нагрузки пользователя. Основной упор сделан на главный экран, который выполняет роль «панели управления». Ключевой сценарий — «Экстренный вызов» — реализован по принципу одного касания: большая контрастная кнопка SOS на главном экране не требует ввода пароля или разблокировки сложных меню, что критически важно в условиях ограниченного времени. Дополнительные пользовательские сценарии включают просмотр карты с наложенными слоями опасных зон (подтопления, пожары, техногенные аварии), доступ к интерактивным инструкциям по первой помощи и действиям в различных чрезвычайных ситуациях, а также настройку доверенных контактов для автоматического оповещения родственников при активации сигнала SOS.

Процесс проектирования интерфейса в Figma включал несколько последовательных этапов, каждый из которых решал определенные задачи. Первым этапом стало создание низкодетализированных вайрфреймов (Wireframes), на которых определялось расположение ключевых элементов без проработки визуального дизайна (рис. 2). На этом этапе решались эргономические задачи: позиция SOS-кнопки закреплялась в зоне, доступной для большого пальца при удержании смартфона одной рукой, проектировались карточки с инструкциями, определялась структура навигационного меню. Данный подход соответствует принципам итеративного проектирования, заложенным в ГОСТ Р ИСО 9241-210 [2].

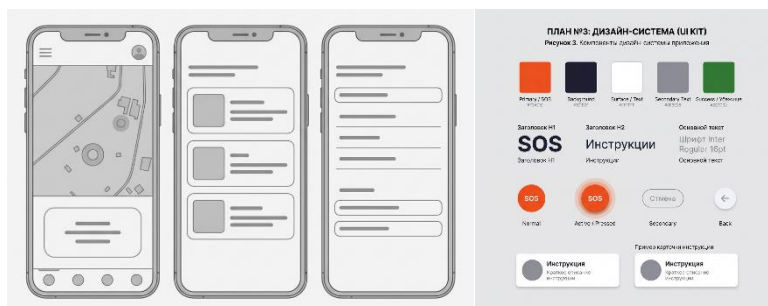


Рис. 2. Wireframe для экранов приложений и дизайн система

Следующим этапом стала разработка дизайн-системы и визуального оформления. Для приложения была выбрана цветовая гамма, ассоциирующаяся с безопасностью и вниманием: оранжевый как сигнальный цвет МЧС и темно-синий, создающий ощущение спокойствия и надежности. Шрифтовое решение основано на использовании гротесков (шрифтов без засечек), что обеспечивает лучшую читаемость на экранах мобильных устройств. В Figma были созданы повторно используемые компоненты: кнопки, карточки, иконки, поля ввода, что позволяет быстро вносить изменения во все экраны сразу и обеспечивает консистентность интерфейса. Особое внимание было уделено адаптации интерфейса под стрессовые сценарии использования. Интерфейс проектировался с учетом когнитивных особенностей

человека в состоянии стресса: сужения внимания, туннельного мышления и моторной заторможенности. Элементы управления выполнены крупными и контрастными с проверкой соответствия требованиям WCAG 2.1 по коэффициенту контрастности (не менее 7:1 для основного текста), текстовые блоки минимизированы, акцент сделан на пиктограммы и визуальные подсказки.

Итогом работы в Figma стал интерактивный кликабельный прототип, который имитирует поведение готового приложения (рис. 3). Пользователь может переходить между экранами, нажимать на кнопки и наблюдать реакцию интерфейса: анимированные переходы, появление модальных окон, всплывающие подсказки. Проведенное предварительное юзабилити-тестирование с участием пяти респондентов, не знакомых с проектом, показало, что время отправки сигнала SOS составило в среднем 4,2 секунды при целевом показателе 10 секунд, а 100% респондентов успешно справились с задачей без дополнительных подсказок, что подтверждает эффективность принятых проектных решений.

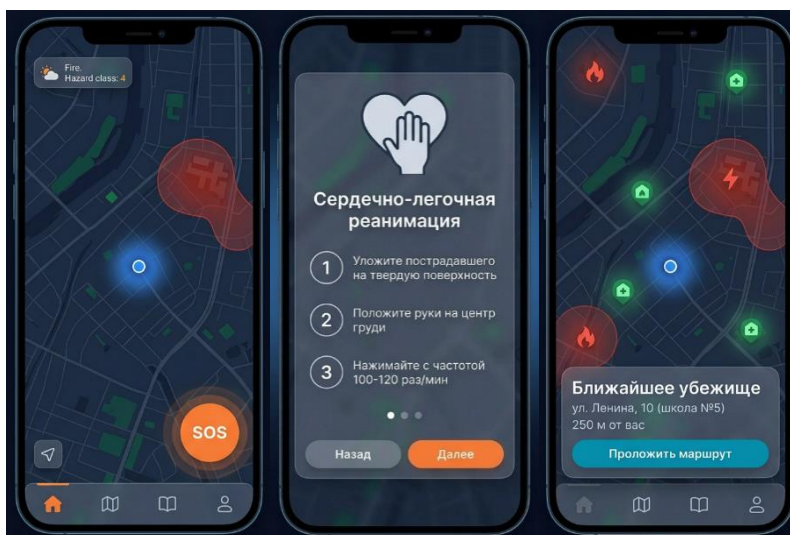


Рис. 3. Итоговые макеты экранов приложения

В ходе проведенной работы был разработан прототип мобильного приложения для взаимодействия населения со службами МЧС, учитывающий как современные требования к пользовательским интерфейсам, так и нормативную базу в области защиты от чрезвычайных ситуаций. Использование Figma позволило эффективно спроектировать пользовательский опыт, применяя итеративный подход и учитывая специфику использования приложения в экстремальных условиях. Созданный интерактивный прототип наглядно демонстрирует концепцию и может служить детализированным техническим заданием для разработчиков на следующих этапах реализации проекта при написании нативной или кроссплатформенной версии приложения. Дальнейшие исследования будут направлены на расширенное юзабилити-тестирование прототипа с участием респондентов различных возрастных групп, интеграцию с государственными геоинформационными системами (ГИС) и разработку архитектуры бэкенда для приема и обработки экстренных сигналов. Важным направлением также является адаптация интерфейса для лиц с ограниченными возможностями здоровья в соответствии с требованиями ГОСТ Р 52872-2019 «Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-

цифровой форме. Приложения для стационарных и мобильных устройств. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности» [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 22.7.01-2021 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Единая дежурно-диспетчерская служба».
2. ГОСТ Р ИСО 9241-210-2016 «Эргономика взаимодействия человек-система. Часть 210. Человеко-ориентированное проектирование интерактивных систем».
3. ГОСТ Р 52872-2019 «Интернет-ресурсы и другая информация, представленная в электронно-цифровой форме. Приложения для стационарных и мобильных устройств. Требования доступности для людей с инвалидностью и других лиц с ограничениями жизнедеятельности».
4. Егорычева Е.В. Инновационные образовательные технологии в техническом вузе / Е.В. Егорычева, С.Ю. Тюрина, А.А. Сидоров, Е.В. Орлова – Текст: непосредственный // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6-2. С. 312-316.
5. Романова А.А. Разработка цифровых макетов по противопожарной безопасности с созданием эффекта огня / А.А. Романова, Е.В. Егорычева // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XVI всероссийской науч.-практ. конф. Иваново, 2025. С. 307-310.

УДК: 004.02, 621.9

А.А. Романова, Е.В. Егорычева

Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина

РАЗРАБОТКА САЙТА ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ИИ

Аннотация: в данной работе рассматривается процесс проектирования и разработки сайта для генерации фотореалистичных изображений сцен чрезвычайных ситуаций (ЧС). Актуальность исследования обусловлена необходимостью визуализации учебных материалов для подготовки специалистов МЧС, отработки сценариев действий спасательных служб и моделирования последствий происшествий без угрозы для жизни и здоровья людей. В статье описаны этапы создания прототипа пользовательского интерфейса в среде Figma, выбор технологического стека на основе, а также интеграция с нейросетевыми моделями для генерации контента.

Ключевые слова: искусственный интеллект (ИИ), генерация изображений, чрезвычайные ситуации (ЧС), веб-разработка, нейросети, визуализация, пользовательский интерфейс, промпт-инжиниринг.

A.A. Romanova, E.V. Egorycheva

DEVELOPMENT OF A SITE FOR GENERATING IMAGES OF EMERGENCY SITUATIONS USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGY

Abstract: this paper discusses the process of designing and developing a website for generating photorealistic images of emergency situations (ES). The relevance of this research is due to the need to visualize training materials for training specialists of the Ministry of Emergency Situations, practicing scenarios of actions of rescue services and modeling the consequences of incidents without endangering people's lives and health. The article describes the stages of creating a prototype of a user interface in the Figma environment, the choice of a technological stack based on, as well as integration with neural network models for generating content.

Keywords: artificial intelligence (AI), image generation, emergency management (EM), web development, neural networks, visualization, user interface, and industrial engineering.

Актуальность разработки специализированного сайта для генерации изображений чрезвычайных ситуаций (ЧС) обусловлена совокупностью факторов, характерных для современного этапа развития информационных технологий и системы подготовки спасательных служб. Подготовка личного состава спасательных служб и проведение учений зачастую связаны с высокими финансовыми затратами и логистическими сложностями. Создание реалистичных макетов разрушений, пожаров или наводнений в полевых условиях требует значительных ресурсов и не всегда возможно в полном объеме. Существующие фотостоки и базы изображений, в свою очередь, не содержат специфического контента, необходимого для обучения или разработки сценариев. Параллельно с этим развитие технологий искусственного интеллекта (ИИ), а именно генеративно-состязательных сетей (GAN) и диффузионных моделей, открыло новые возможности для синтеза визуального контента по текстовому описанию (промпту). Однако использование универсальных нейросетей для узкоспециализированных задач не всегда эффективно, так как требует глубокого понимания промпт-инжиниринга и не учитывает специфику предметной области. В данной статье рассматривается разработка сайта, предназначенного для генерации изображений ЧС, что позволяет объединить возможности современных нейросетей с удобным, интуитивно понятным интерфейсом для решения конкретных профессиональных задач.

Проектирование пользовательского интерфейса разрабатываемой системы осуществлялось в среде Figma, выбор которой обусловлен возможностью создания интерактивных прототипов, поддержкой компонентного подхода и эффективной организацией коллективной работы над дизайн-системой. Ключевой задачей этапа проектирования являлась минимизация когнитивной нагрузки на пользователя при взаимодействии с нейросетевыми моделями, что предполагает создание интерфейса, трансформирующего дискретные пользовательские параметры в структурированный промпт [1, 4]. Архитектура интерфейса включает область ввода текстового описания, дополненную панелью параметризации, содержащей классификаторы типа ЧС (пожар, наводнение, землетрясение, техногенная авария), регуляторы степени разрушений, селекторы ракурса съемки и наличия специфических объектов (спасательная техника, пострадавшие). Разработанная структура интерфейса обеспечивает автоматическую компоновку промпта, что исключает необходимость глубокого погружения пользователя в семантику промпт-инжиниринга (рис. 1).

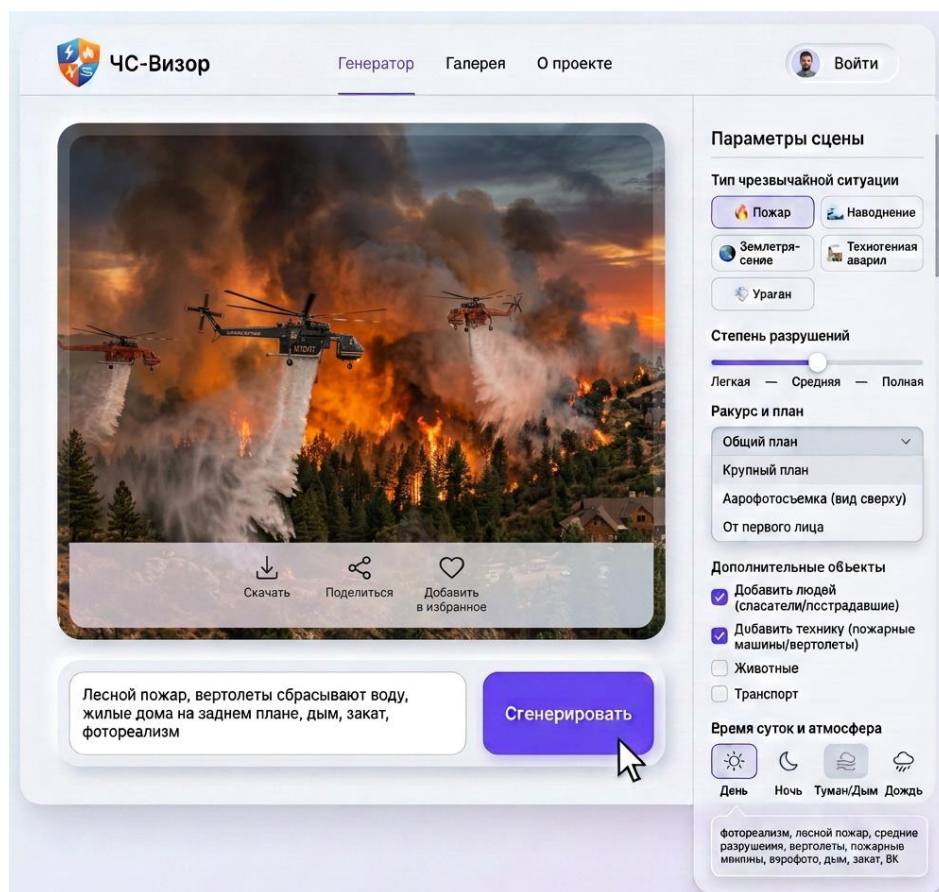


Рис. 1. Макет главной страницы сайта

Реализация клиентской части системы выполнена с использованием библиотеки React JS, компонентно-ориентированная архитектура которой обеспечивает декомпозицию пользовательского интерфейса на переиспользуемые модули, соответствующие элементам, спроектированным в Figma. Каждый графический примитив (кнопка, карточка изображения, поле ввода, селектор) реализован в виде React-компонента с инкапсулированной логикой и состоянием. Для обеспечения точного соответствия дизайн-макетам были применены CSS-модули в сочетании с препроцессором SASS, что позволяет изолировать стили компонентов и предотвращает конфликты именования [3].

В контексте асинхронной природы генерации изображений, критическое значение приобретает реализация системы состояний загрузки и обработки ошибок. В компонентах реализована конечная машина состояний, обрабатывающая статусы: «idle» (ожидание), «loading» (отправка запроса и генерация), «success» (успешное получение изображения), «error» (ошибка сети или API) [2]. Для управления асинхронными запросами на стороне клиента применяется связка хуков useState и useEffect, а также библиотека React Query для кэширования результатов и оптимизации повторных запросов.

Ключевым аспектом разработки является организация взаимодействия клиентской части с нейросетевыми моделями. Учитывая высокие требования к вычислительным ресурсам для обучения и эксплуатации генеративных моделей, архитектурно обоснованным решением является интеграция с существующими API. В качестве целевых нейросетевых бэкендов выбраны открытые модели семейства Stable Diffusion, развертываемые как на собственных серверах, так и через облачные

платформы Replicate, FusionBrain, и API Kandinsky, оптимизированный для работы с русскоязычными запросами [3, 4]. Архитектура взаимодействия построена по классической трехзвенной схеме с выделением промежуточного серверного слоя (backend). React-приложение инициирует асинхронный HTTP-запрос (метод POST) с использованием Fetch API к серверному приложению, разработанному на Node.js.

Серверное приложение принимает пользовательский запрос, осуществляет его предобработку и обогащение. На данном этапе был реализован алгоритм промпт-инжиниринга, заключающийся в добавлении к базовому пользовательскому описанию модификаторов, повышающих фотореалистичность и релевантность результата. В частности, к промпту автоматически добавляются лексемы: «photorealistic», «4k», «high resolution», «emergency scene», «disaster», «professional photography», а также технические параметры, соответствующие выбранному типу ЧС. После формирования итогового промпта серверное приложение отправляет запрос к целевому AI API [3]. Полученный от нейросети ответ (бинарные данные изображения в формате base64) сохраняется во временном хранилище сервера, после чего передается обратно клиентскому приложению для последующей визуализации в DOM-дереве (рис. 2).

Существенной научно-практической задачей в рамках представленной разработки является адаптация алгоритмов промпт-инжиниринга к предметной области ЧС. Универсальные нейросетевые модели демонстрируют недостаточную точность при интерпретации узкоспециализированных запросов, таких как «деформация несущих конструкций здания» или «разлив нефтепродуктов с локализацией боновыми загрязнениями». Для решения данной проблемы на серверном уровне разрабатывается система шаблонизации промптов, основанная на предварительно составленных семантических ядрах для каждого класса ЧС. Пользовательский ввод через параметрический интерфейс транслируется в формализованный запрос, включающий техническую лексику и терминологию, принятую в оперативной деятельности МЧС. Например, при выборе категории «пожар» и параметра «высотная застройка» система генерирует промпт, содержащий уточнения «огненный фронт, распространение пламени по фасаду, тепловой дым, работа пожарных расчетов с автолестниц».

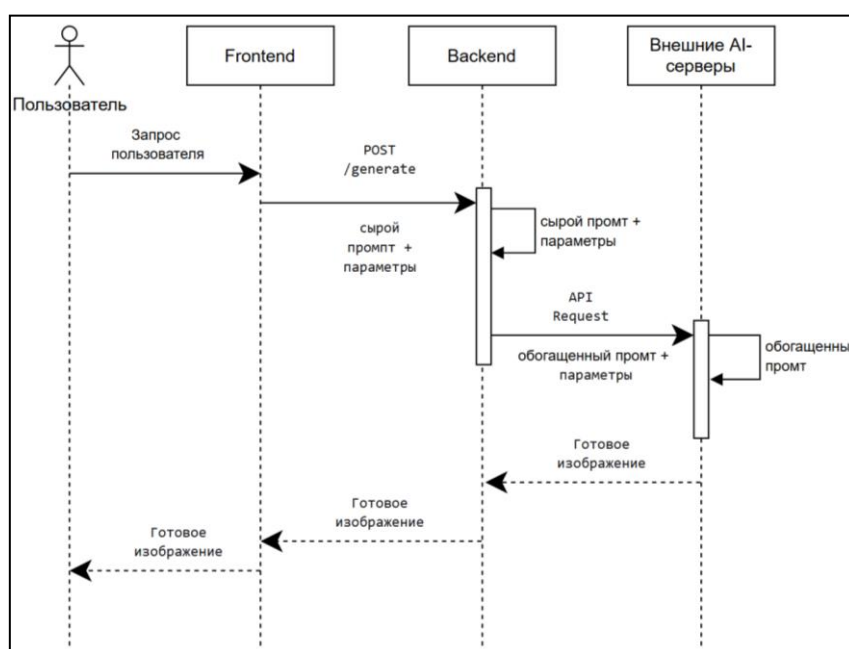


Рис. 2. Диаграмма последовательности

Существенной научно-практической задачей в рамках представленной разработки является адаптация алгоритмов промпт-инжиниринга к предметной области ЧС. Универсальные нейросетевые модели демонстрируют недостаточную точность при интерпретации узкоспециализированных запросов, таких как «деформация несущих конструкций здания» или «разлив нефтепродуктов с локализацией боновыми заграждениями». Для решения данной проблемы на серверном уровне разрабатывается система шаблонизации промптов, основанная на предварительно составленных семантических ядрах для каждого класса ЧС. Пользовательский ввод через параметрический интерфейс транслируется в формализованный запрос, включающий техническую лексику и терминологию, принятую в оперативной деятельности МЧС. Например, при выборе категории «пожар» и параметра «высотная застройка» система генерирует промпт, содержащий уточнения «огненный фронт, распространение пламени по фасаду, тепловой дым, работа пожарных расчетов с автолестниц».

Таким образом, предложенное архитектурное решение демонстрирует эффективность интеграции современных веб-технологий и методов искусственного интеллекта для создания прикладных систем в области безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций. Использование компонентной архитектуры React JS гарантирует модульность, масштабируемость и высокую производительность клиентской части приложения, а серверный слой с реализованными алгоритмами промпт-инжиниринга позволяет адаптировать универсальные генеративные модели к специфике предметной области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джеф Просиз Прикладное машинное обучение и искусственный интеллект для инженеров / Перевод с англ., «БНВ-СПб», 2024, 432 с.
2. Куэнка Педро, Пассос Аполинарио, Сансевьеро Омар, Уитакер Джонатан. Генеративный ИИ на практике: трансформеры и диффузионные модели / Перевод с англ., изд. «Эксмо», 2026, 400 с.
3. Николенко С.А. Глубокое обучение / «Питер», 2025, 480 с.
4. Саймон Принс Машинное обучение. От основ до продвинутых моделей / Перевод с англ., Библиотека MIT, «Эксмо», 2025, 608 с.

УДК 620.179: 37.091.33

Н.М. Твердынин, Л.Р. Шарифуллина, А.М. Смирнова

Академия гражданской защиты МЧС России имени генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ИЗУЧЕНИЯ КУРСАНТАМИ И СТУДЕНТАМИ АГЗ МЧС

Аннотация: рассмотрены различные аспекты преподавания курса «Эксплуатационные материалы» для студентов и курсантов ВУЗов системы МЧС. При этом особое внимание уделяется вопросам, связанным с учебно-лабораторным и демонстрационным экспериментом.

Дна основе полученных результатов дан ряд методических рекомендаций прикладного характера, позволяющих интенсифицировать учебный процесс.

Ключевые слова: эксплуатационные материалы, трение и износ, покрытия, методика преподавания учебный эксперимент, уплотнительные материалы, покрытия, оптико-цифровая микроскопия.

N.M. Tverdynin, L.R. Sharifullina., A.M. Smirnova

OPERATIONAL MATERIALS AND FEATURES OF THEIR STUDY BY CADETS AND STUDENTS OF THE AGZ OF THE EMERCOM OF RUSSIA

Abstract: Various aspects of teaching the course "Operational Materials" for students and cadets of universities of the Ministry of Emergency Situations system are considered. At the same time, special attention is paid to issues related to educational laboratories and demonstration experiments. Based on the results obtained, several methodological recommendations of an applied nature are given, which allow to intensify the educational process.

Keywords: operational materials, friction and wear, coatings, teaching methodology, educational experiment, sealing materials, coatings, optical-digital microscopy.

Необходимость изучения эксплуатационных материалов при подготовке бакалавров и специалистов по техносферной безопасности и робототехническим системам в Академии гражданской защиты МЧС России, далее АГЗ МЧС обусловлена не только спецификой подготовки, но и необходимостью более детального изучения надёжности эксплуатации машин и систем в условиях постоянного обновления номенклатуры современных материалов. В свою очередь такое обновление вызвано как постоянным наращиванием требований к качеству соответствующих изделий, включая не только механические характеристики, так и увеличения ресурса их эксплуатации. При подготовке курсантов и студентов по профилям обучения «Транспортные машины и комплексы» и «Робототехнические системы и комплексы» встал вопрос об изучении курсантами и студентами не только курса МТКМ (Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Практика работы выпускников показала необходимостью расширения базового уровня знаний по эксплуатационным материалам (ЭМ). Это вызвано тем, что эксплуатационная надёжность робототехнических систем в значительной степени зависит от комплекса взаимодействий различных деталей узлов и механизмов, работоспособность которых определяется как горюче-смазочными материалами, так и состоянием пар трения (триботехнические материалы), надёжной работой материалов разнообразных покрытий (защитных, функциональных и др.), уплотнительных материалов. При подготовке обучающихся по различным направлениям ЭМ часто рассматриваются как узкоспециализированное направление. Например, для специалистов в области химмотологии ЭМ часто рассматриваются как синоним данного термина и относятся лишь к маслам, смазкам, топливам, охлаждающим жидкостям и аналогичным материалам. Для строителей – это различные краски, стекло и другие материалы, которые по технологическому циклу имеют срок эксплуатации меньший, чем основные изделия (здания и сооружения). Сюда же относятся и различные покрытия. В строительстве это покрытия на основе лаков и красок, в машиностроении как

лакокрасочные, так, в первую очередь, гальванические и напылённые (гомотермические и др.)

В АГЗ МЧС был создан и апробирован курс по учебной дисциплине «Эксплуатационные материалы», куда включены сведения обо всех материалах, которые были перечислены выше: топливе, смазках, охлаждающих жидкостях, покрытиях триботехнических и уплотнительных материалах. Методологической основой курса об эксплуатационных материалах является оптимальное сочетание лекций, лабораторного практикума и практических занятий. В качестве основного критерия, определяющего принадлежность того или иного материала к эксплуатационным, рассматривается продолжительность работы данного материала по отношению к технологическому периоду эксплуатации всей конструкции, машины или механизма.

В настоящей статье основной упор делается на лабораторно-демонстрационный эксперимент при изучении студентами и курсантами триботехнических материалов, уплотнительных материалов и материалов различных покрытий. Ряд опытов, входящих в лабораторный практикум, имитирует реальные условия эксплуатации, но большинство лабораторно-исследовательских опытов моделирует их. При выборе того или иного учебно-лабораторно-демонстрационного эксперимента нельзя не учитывать, что время его проведения ограничено рамками учебного процесса.

В ходе проделанной работы были проанализированы современные методы изучения свойств эксплуатационных материалов при одновременной адаптации таких исследований не только к исследовательскому, но и учебно-лабораторному эксперименту. Для этого был проанализирован материал ряда современных исследований в области нанесения защитных и функциональных органических и неорганических покрытий различной функциональности, но с привязкой к понятию эксплуатационный материал.



Рис. 1. Внешний вид прибора НТ-6510Р для определения свойств лакокрасочного покрытия

Например, в работе [1, с. 21–27] можно отметить интересный подход для использования материала в лабораторном практикуме как для уплотнительных, так и для триботехнических материалов. Работы [2, с. 124–126; 3, с. 169–178] трудно адаптировать к лабораторному практикуму из-за сложного оборудования и дефицитных материалов. работа же [4, с. 33–37] может быть адаптирована к лабораторному практикуму по ЭМ, поскольку ряд характеристик образующейся при нанесении на основу полимерных композиций достаточно просто определяется на относительно недорогом приборе НТ-6510Р, а сам процесс испытаний определён ГОСТом. Внешний вид прибора показан на рис. 1.

Для максимальной наглядности лабораторно-исследовательского и лабораторно-демонстрационного эксперимента в лаборатории материаловедения кафедры химии и материаловедения АГЗ МЧС используется линейка оптико-цифровых микроскопов, (VGA Full HD, ADSM-301 и ряд других, включая упрощённые приспособления, которые обучающийся может подсоединить к своему мобильному телефону), позволяющая демонстрировать различные характеристики структуры поверхности материалов и покрытий при разнообразных технологических воздействиях, имитирующих реальную среду.

Благодаря специальной подставке-штативу возможно не только рассмотреть отдельные детали дефектов уплотнительных, изолирующих и антифрикционных покрытий при значительном увеличении, но и практически под любым углом, что крайне важно, например, при изучении дефектных деталей автомобильной техники беспилотных летательных аппаратов и других устройств. На рис. 2 показан внешний вид такого приспособления, а на рис. 3 – цифровая фотография дефекта лакокрасочного покрытия, переданная с микроскопа на экран ноутбука. Во время любых видов занятий (лекции, практические занятия, лабораторные работы) эти же изображения могут транслироваться через цифровой проектор и на большой экран.

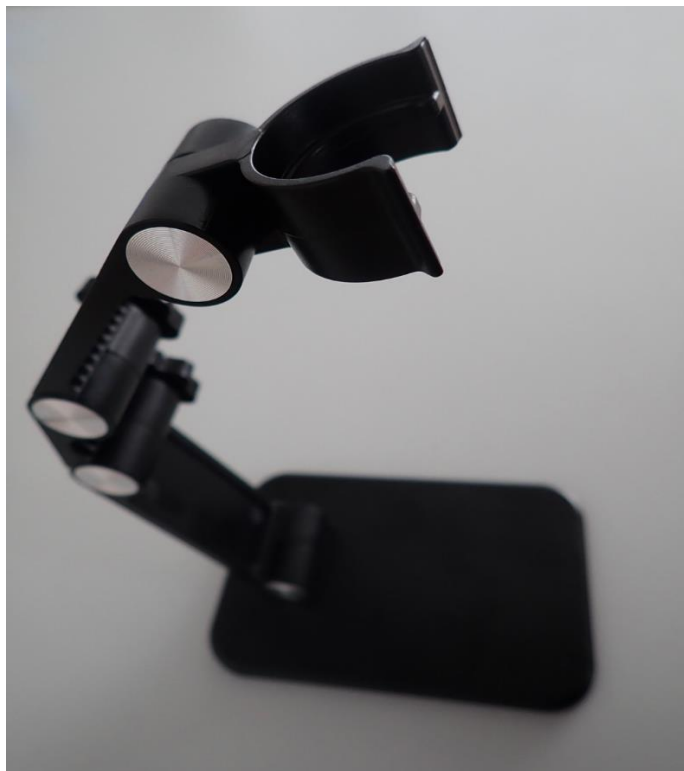


Рис. 2. Приспособление для фотографирования выносной камерой оптико-цифрового микроскопа под различными углами

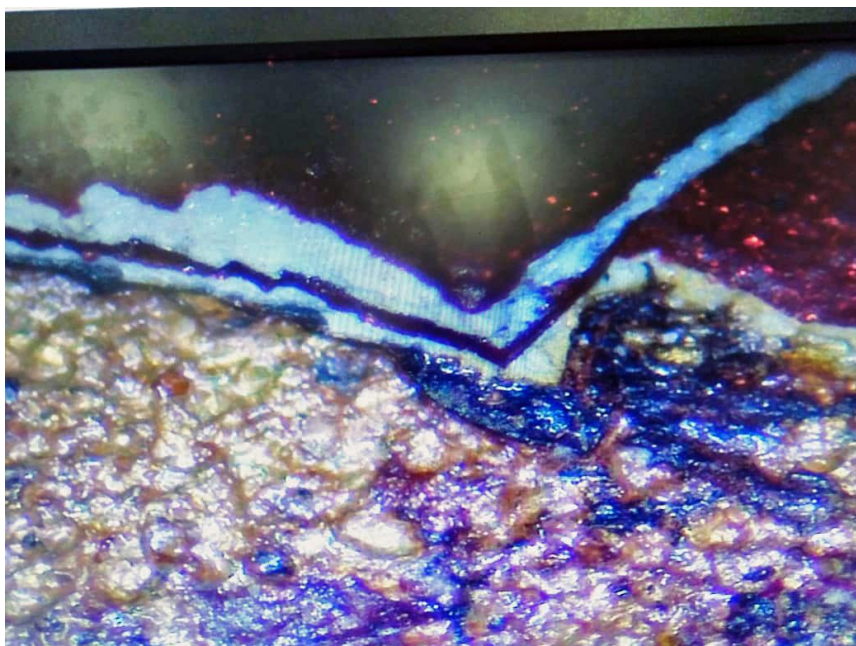


Рис. 3. Дефект лакокрасочного покрытия, сфотографированный под углом 90°. Увеличение X 145

В заключении следует отметить, что пятилетний опыт преподавания курса «Эксплуатационные материалы» показал, что существует значительная разница в его оценке между обучающимися (как студентами, так и курсантами) в зависимости от того имели ли они до обучения в АГЗ МЧС опыт практической работы, связанной с машинами, механизмами или робототехническими устройствами. Те из них, кто такого опыта не имел полезность данного, примета положительно оценивают лишь на 74 %, а те, кто имеет опыт работы, воспринимают полезность этой дисциплины на 96 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гильманов Т.И. Повышение триботехнических характеристик канатных смазочных материалов / Т. И. Гильманов, В. П. Головин, В. Ю. Шолом, А. Н. Абрамов // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению "новые материалы и энергетика в вооруженных Силах Российской Федерации" : Сборник статей научно-технической конференции, Анапа, 16–17 апреля 2025 года. – Анапа: Военный инновационный технополис "ЭРА", 2025. – С. 21–27.
2. Куксенова, Л. И. Роль эффекта Ребиндера в формировании структурно-механического состояния поверхностных слоев металлических материалов триботехнического назначения / Л. И. Куксенова, В. И. Савенко // Фундаментальные исследования и инновационные технологии в машиностроении : Научные труды VIII Международной научной конференции, Москва, 19–20 ноября 2024 года. – Москва: Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, 2024. – С. 124–126.
3. Ильющенко А. Ф. Исследования триботехнических свойств фрикционного композиционного материала на основе железа, содержащего порошки металлов и графита / А. Ф. Ильющенко, А. В. Лешок, А. И. Шевцов, А. Н. Роговой // Порошковая металлургия : Республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск : РУП "Издательский дом "Белорусская наука", 2024. – С. 169–178.
4. Рубан, Е. Р. Опыт лаборатории композиционных материалов ТОГУ в создании оборудования для проведения триботехнических исследований полимерных

композиционных материалов / Е. Р. Рубан, Д. В. Отмахов // Ученые заметки ТОГУ. – 2020. – Т. 11, № 3. – С. 33–37.

УДК 614.87

О.А. Тимофеева, А.В. Топоров

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ: АНАЛИЗ ПОДХОДОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА

Аннотация: В статье представлен обзор современных методов и технологий, применяемых при проведении аварийно-спасательных работ в горной местности. Рассмотрены объективные опасности горной среды, накладывающие специфические ограничения на спасательные операции. Проведен анализ традиционных подходов к поиску и спасению, выявлены их преимущества и недостатки. Особое внимание уделено перспективам внедрения беспилотных летательных аппаратов и их интеграции в единые информационно-управляющие комплексы на основе технологий искусственного интеллекта.

Ключевые слова: горная местность, аварийно-спасательные работы, беспилотные летательные аппараты, поисково-спасательные операции.

O.A. Timofeeva, A.V. Toporov

MODERN METHODS AND TECHNOLOGIES OF CARRYING OUT EMERGENCY RESCUE OPERATIONS IN MOUNTAIN AREAS: ANALYSIS OF APPROACHES AND PROSPECTS FOR USING UAVS

Abstract: The article provides an overview of modern methods and technologies used in emergency rescue operations in mountainous terrain. It examines the objective hazards of the mountain environment, which impose specific limitations on rescue operations. The article analyzes traditional approaches to search and rescue, highlighting their advantages and disadvantages. Special attention is given to the prospects for the use of unmanned aerial vehicles and their integration into unified information and control systems based on artificial intelligence technologies.

Keywords: mountainous terrain, emergency rescue operations, unmanned aerial vehicles, search and rescue operations.

Проведение аварийно-спасательных работ в горной местности традиционно относится к категории наиболее сложных и опасных видов деятельности спасательных служб [1, 2]. Горные регионы, занимающие значительную часть территории Российской Федерации, являются зонами активного туризма, рекреации и хозяйственной деятельности, что закономерно приводит к возникновению чрезвычайных ситуаций, связанных с необходимостью оперативного поиска и эвакуации пострадавших. Сложный рельеф, нестабильные метеорологические условия, высокая динамика природных процессов (лавины, камнепады, сели) формируют

уникальный комплекс объективных факторов, существенно ограничивающих возможности традиционных спасательных технологий [1].

Современный этап развития техники характеризуется активным внедрением беспилотных авиационных систем в практику спасательных подразделений. Высокая мобильность, способность функционировать в труднодоступных районах и оснащение широким спектром целевых нагрузок (тепловизоры, камеры высокого разрешения) делают БПЛА перспективным инструментом ведения разведки и поиска [3, 4]. Однако потенциал данных средств раскрывается в полной мере лишь при их грамотной интеграции с традиционными методами и использовании современных алгоритмов обработки информации. Целью настоящей работы является систематизация знаний о существующих методах АСР в горах и анализ перспективных направлений их развития на основе применения беспилотных технологий.

Горная среда представляет собой совокупность природных опасностей, которые могут быть классифицированы как объективные, то есть не зависящие от воли и действий человека. Эти факторы формируют фон, на котором разворачивается любая спасательная операция, и определяют требования к подготовке спасателей, выбору технических средств и организации работ.

К числу наиболее значимых объективных опасностей относятся, прежде всего, геоморфологические и литодинамические процессы. Камнепады и обвалы горных пород представляют собой частое явление, особенно в периоды активного таяния снега или после обильных осадков. Падение даже небольшого камня с высоты может нанести тяжелые травмы, а множественные камнепады создают угрозу для жизни спасателей и блокируют пути подхода к месту происшествия [1]. Не менее серьезную угрозу несут гляциологические процессы, в первую очередь лавины (рис. 1). Сход снежных лавин характеризуется высокой скоростью и разрушительной силой. Статистика неумолима: через два часа после попадания в лавину до 90 % пострадавших погибают, что предъявляет жесткие требования к оперативности поисковых работ [1].



Рис. 1. Лавина в горной местности

Особую сложность представляют гидрометеорологические факторы. Резкая континентальность горного климата выражается в значительных суточных перепадах температур, которые могут достигать десятков градусов, и быстрой смене погодных условий. Туман, сильный ветер, обильные осадки (дождь, снег) способны в течение короткого времени сделать невозможным применение авиационной техники и существенно затруднить передвижение наземных групп [2]. В высокогорье добавляется фактор пониженного парциального давления кислорода, что приводит к развитию высотной гипоксии у спасателей, снижает их физическую работоспособность и требует специальной акклиматизации. Интенсивная солнечная радиация, особенно в сочетании с отражением от снежного покрова, создает риски ожогов и световой слепоты, что также должно учитываться при экипировке личного состава [1]. Горные реки представляют собой серьезное препятствие из-за бурного течения, низкой температуры воды и наличия в потоке твердого материала. Форсирование таких преград требует специальных навыков и снаряжения [1].

Таким образом, совокупность перечисленных факторов формирует среду с высокой энтропией, где успех операции напрямую зависит от способности спасательных служб быстро адаптироваться к изменяющимся условиям и применять адекватные технические средства и тактические схемы.

На протяжении десятилетий основу проведения АСР в горах составляли традиционные методы, базирующиеся на непосредственной работе человека в зоне чрезвычайной ситуации. К ним относятся визуальное наблюдение, пешие поисковые группы и применение кинологических расчетов.

Пешие поисковые группы, укомплектованные опытными спасателями-альпинистами, остаются незаменимым инструментом для детального обследования локальных участков, особенно в условиях сложного скального или ледового рельефа, где применение любой техники невозможно [1, 2]. Эффективность таких групп базируется на высокой квалификации личного состава, владеющего навыками передвижения по скалам, ледникам, организации страховки и транспортировки пострадавших на носилках. Однако данный метод характеризуется низкой скоростью обследования территории и значительными временными затратами, что является критическим недостатком, когда счет идет на минуты.

Кинологические расчеты демонстрируют высокую эффективность при поиске людей под завалами или в лавинах. Чувствительность обоняния собаки позволяет обнаружить пострадавшего на значительной глубине под снегом или обломками пород. Так, группа спасателей с собакой способна обследовать участок площадью 1 гектар за 30 минут, тогда как пешая группа без собаки тратит на это в несколько раз больше времени [1]. Тем не менее, эффективность работы кинологов существенно снижается в условиях экстремально низких температур, сильного ветра и при глубоком промерзании снежного покрова, что ограничивает их применение в высокогорье [1].

Вертолетная авиация является одним из наиболее мобильных средств доставки спасательных групп и эвакуации пострадавших. Она позволяет в кратчайшие сроки преодолевать большие расстояния и высаживать людей непосредственно в районе проведения работ. Однако использование вертолетов сопряжено с рядом существенных ограничений. Главным из них является жесткая зависимость от метеоусловий: туман, сильный боковой ветер, низкая облачность делают полеты в горах невозможными [2]. Кроме того, высокая стоимость летного часа и ограниченное

количество площадок, пригодных для безопасной посадки в сложном рельефе, снижают оперативность применения авиации.

Анализ традиционных методов (таблица) показывает, что, несмотря на их неоспоримую ценность и необходимость применения, они обладают рядом фундаментальных ограничений, связанных с низкой скоростью разведки больших территорий, зависимостью от погоды и высокими рисками для личного состава.

Таблица. Сравнительный анализ традиционных методов АСР в горной местности

Метод	Основные преимущества	Ключевые ограничения
Пешие группы	Незаменимы на сложном рельефе, высокая детализация осмотра	Низкая скорость, большие временные затраты
Кинологический поиск	Высокая эффективность под завалами и снегом	Зависимость от погоды и физического состояния собаки
Вертолетная авиация	Высокая мобильность, скорость доставки	Зависимость от погоды, высокая стоимость, ограниченные площадки посадки

Внедрение беспилотных летательных аппаратов позволяет компенсировать многие недостатки традиционных подходов. Ключевым преимуществом БПЛА является их высокая оперативность и способность проводить разведку в условиях, недоступных или опасных для пилотируемой авиации и наземных групп [3]. Оснащение аппаратов тепловизионными камерами дает возможность вести поиск пострадавших в условиях плохой видимости (туман, дым) и в темное время суток, а камеры высокого разрешения позволяют идентифицировать человека и даже отдельные предметы его экипировки с высоты 50–150 метров [4].

Современным трендом, кардинально повышающим эффективность применения БПЛА, является отказ от использования одиночных аппаратов в пользу их группового применения – технология «роя» [3, 5]. Группа из 10–15 синхронизированных дронов, движущихся по заданному маршруту, способна сканировать полосу местности шириной до километра, обследуя за один вылет до 7–9 квадратных километров. Это на порядок увеличивает производительность поисковых работ по сравнению с одиночным облетом [5].

Однако генерация огромного массива данных (тысяч снимков) создает новую проблему – невозможность их оперативного анализа силами человека-оператора. Решением данной проблемы является интеграция БПЛА с системами искусственного интеллекта, а именно – с нейросетевыми алгоритмами компьютерного зрения (рис. 2) [4, 5].

Нейронная сеть, предварительно обученная на тысячах изображений людей и следов их деятельности в различных ландшафтных условиях, способна в автоматическом режиме производить первичный анализ снимков, выделяя на них потенциальные объекты, представляющие интерес для спасателей [5]. Такой подход позволяет за минуты обрабатывать результаты многочасового полета и в режиме реального времени передавать координаты обнаруженных аномалий координатору операции для последующей проверки наземными группами [4].



Рис. 2. Интеграция БПЛА с системами искусственного интеллекта

Таким образом, формируется концепция гибридной поисково-спасательной системы, в которой функции быстрого обследования больших территорий возлагаются на «рой» БПЛА, анализ полученной информации – на алгоритмы искусственного интеллекта, а функции детальной проверки и эвакуации остаются за традиционными пешими группами высокой квалификации. Такая концепция технологий и человеческого опыта представляется наиболее перспективной моделью развития АСР в горной местности [3, 5].

Проведенный анализ позволяет утверждать, что современные методы проведения аварийно-спасательных работ в горной местности находятся в стадии активной трансформации. Традиционные подходы, основанные на применении пеших групп, кинологических расчетов и вертолетной авиации, сохраняют свою актуальность, но их эффективность в условиях жесткого временного лимита и сложного рельефа оказывается недостаточной. Ключевым направлением повышения результативности спасательных операций является широкое внедрение беспилотных авиационных систем [3].

Переход от использования одиночных аппаратов к их групповому применению (роевым технологиям) в сочетании с автоматизацией обработки данных на основе нейросетевых алгоритмов позволяет на порядок увеличить скорость обследования территорий и минимизировать влияние человеческого фактора на этапе разведки [4, 5]. Дальнейшее развитие данной области должно быть направлено на совершенствование технических характеристик БПЛА (увеличение времени полета, улучшение энерговооруженности, повышение устойчивости к неблагоприятным погодным факторам), а также на создание унифицированных информационных платформ, обеспечивающих интеграцию всех участников спасательной операции – от беспилотных систем до наземных групп и координационного центра – в едином информационном пространстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Учебник спасателя / С. К. Шойгу, М. И. Фалеев, Г. Н. Кириллов и др.; под общ. ред. Ю. Л. Воробьева. — 2-е изд., перераб. и доп. — Краснодар: «Сов. Кубань», 2002. — 528 с.
2. Организация и ведение аварийно-спасательных и других неотложных работ : учебное пособие / Костромской государственный университет. — Кострома, 2023. — 120 с.
3. Саидов Ф.М., Береснев Д.С. Проведение поисково-спасательных работ с применением беспилотных летательных аппаратов // Проблемы техносферной безопасности. — 2024. — № 13. — С. 147-153.
4. Кочелаева И.Д., Хныченко К.Е. Поиск пострадавших в труднодоступных районах в результате ЧС с применением БАС // Применение авиационно-спасательных технологий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: сб. тр. XXXIII Междунар. науч.-практ. конф. — Химки: АГЗ МЧС России, 2023. — С. 99-105.
5. Вересов И.Н., Андреев К.Г., Андронов В.Г. Современные методы и подходы к вопросу обнаружения пропавших туристических групп // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: сб. науч. ст. VIII Всерос. науч.-практ. конф. — Курск: ЮЗГУ, 2024. — С. 157-163.

УДК 519.6

О.В. Токарева, Б.Л. Спирин

Академия ГПС МЧС России

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ

Аннотация: в статье рассмотрены современные технологии компьютерного моделирования, которые позволяют проводить расчётные исследования с высоким уровнем детализации и точности, начиная от элементарных вычислений и заканчивая комплексными системами уравнений.

Ключевые слова: прикладная механика, численные методы, инженерные задачи, дифференциальные уравнения, моделирование конструкций, нагрузки и напряжения.

O.V. Tokareva, B.L. Spirin

USE OF MODERN METHODS OF NUMERICAL MODELING WHEN SOLVING PROBLEMS OF APPLIED MECHANICS

Abstracts: the article considers modern computer modeling technologies that allow conducting computational studies with a high level of detail and accuracy, ranging from elementary calculations to complex systems of equations.

Keywords: applied mechanics, numerical methods, engineering problems, differential equations, structural modeling, loads and stresses.

Одними из основных задач прикладной механики являются расчеты на прочность, жесткость и устойчивость конструкций и ее элементов. Такие расчеты в настоящее время осуществляются с применением компьютерных технологий, которыми должны овладевать и обучающиеся высшей школы по данной дисциплине [1].

Проектирование – это один из важнейших этапов создания инженерных сооружений. Именно здесь закладываются основные решения, а вместе с ними выполняется большой пласт расчётов: от простых арифметических действий до более сложной математики – вычисления интегралов, решения систем алгебраических и дифференциальных уравнений [2], а также множества других инженерных задач. Изучение данной темы в курсе дисциплины прикладная механика дает возможность сформировать практические навыки применения численных методов при решении типовых инженерных задач.

Практически нередко встречаются задачи, выходящие за пределы традиционных вычислительных подходов, несмотря на частичное использование последних. Решая подобные проблемы, важно понимать, какие средства и возможности существуют для решения данных задач. Грамотное владение инструментами, знание их преимуществ и ограничений позволяет избежать безрезультатных действий по созданию новых решений.

Специализированным решением для вычислительных задач выступает профильное программное обеспечение. Одним из лидеров для выполнения математических расчетов, несомненно, MATLAB, который имеет встроенный язык для программирования математических операций, помимо этого в его состав входит большое количество встроенных процедур, перекрывающих практически все реальные потребности, возникающие при выполнении математических расчетов. Пакет имеет мощную систему для построения самых разных графиков и анимаций. Существенным ограничением является необходимость представления математических выражений в виде программных конструкций, что усложняет верификацию правильности записи выражений для инженера.

Для получения аналитических решений существуют системы позволяющие производить решение задач не только в численной, но и в символьной форме, такие как Maple и Mathcad. Mathcad. Они отличаются более привычным интерфейсом, представляя выражения в их естественной математической форме, удобной для восприятия обучающимся, не занимающимся программированием. Проявляя творческое мышление, возможно, разбивать сложные расчёты на простые этапы, которые легко проверить вручную, подобно традиционным методам вычисления. Система Maple позволяет решать достаточно большой круг задач непосредственно в символьном виде, осуществляя вывод значений не в виде конкретного числа, а в виде функции, что представляет большой интерес для исследователя. Однако изначальный ввод осуществляется в стиле программного кода, что создаёт определённые неудобства. Многие символьные функции Maple доступны по лицензии в MATLAB и MathCad.

Отдельного внимания заслуживают CAE-системы в составе САПР, которые предлагают готовые инструменты для автоматизации инженерных расчётов. Их особенность заключается в том, что работа ведется преимущественно с данными, которые система запрашивает в диалоговом режиме, а окончательный результат

представлен в виде чертежа, на котором отражены результаты расчетов. Разработчики таких систем стремятся минимизировать требования к квалификации пользователя. Сегодня в большинстве САЕ-систем основным инструментом численного расчёта остаётся метод конечных элементов (МКЭ). К самым популярным решениям, которые используют этот подход на практике, относятся ANSYS, NASTRAN, SolidWorks и ряд других продуктов. Эти пакеты помогают перейти от «идеи на бумаге» к проверенной модели: задать материалы и нагрузки, чтобы увидеть, как система поведёт себя в реальных условиях. На выходе, можно получить распределение напряжений и деформаций, оценку перемещений, запас прочности, а в более сложных постановках – картину теплопереноса, вибраций или устойчивости.

Различия между программами чаще всего заключаются не в методе конечных элементов, а в удобстве моделирования, качестве генерации сетки, ассортименте доступных элементов и решателей, а также возможности автоматизации расчетов. Одни программы лучше оптимизированы и поддерживают параметрический анализ, другие ориентированы на работу с крупными сборками, контактами и нелинейностями, третьи делают упор на интеграцию с CAD и простоту интерфейса для практических задач.

К недостаткам можно отнести закрытость архитектуры: не всегда очевидно, какие конкретно конечные элементы используются, и каким образом решается та или иная задача. Это усложняет проверку качества и точности результатов. Как правило, стремление к универсальности приводит к излишним вычислительным расходам. Современный инструментарий вычислительной механики представляет собой динамично развивающуюся область, где проверенные временем классические подходы, такие как методы конечных разностей, элементов или границ, гармонично сосуществуют с инновационными алгоритмами. Фундамент любого численного метода закладывается исходя из базовых физических законов и математических связей, определяющих его структуру. Огромным преимуществом таких систем является их высокая адаптивность к сложным геометрическим формам и вариативным силовым сценариям. Это позволяет оперативно анализировать, как именно структурные особенности или параметры нагрузки влияют на общее состояние механической системы. Однако учитывая, что численный эксперимент по своей природе дает лишь приближенную картину реальности, критически важным этапом работы становится верификация результатов. Исследование точности, сходимости и устойчивости полученных решений остается приоритетной задачей, гарантирующей надежность и практическую применимость сделанных выводов.

Последние годы характеризуются повышенным интересом к разработке гибридных вычислительных подходов, объединяющих несколько методов сразу. Их основное достоинство состоит в способности эффективно комбинировать сильные стороны каждого метода. Главная цель численного моделирования в механике – не просто расчет параметров, а глубокое понимание физической сути и логики происходящих процессов.

Любая реальная конструкция обладает бесчисленным количеством нюансов: особенностями геометрии, характеристиками материала, условиями нагружения и внешней среды. Однако в инженерной практике учесть их полностью невозможно. Надёжный результат достигается тогда, когда исходный объект заменяют физической моделью, в которой оставляют лишь ограниченный набор идеализированных признаков. Так, если изменение нагрузок не приводит к появлению заметных

инерционных эффектов, разумно считать, что силы приложены статически. Таким образом, создание физической модели заключается в целенаправленном принятии предположений относительно характеристик материала, природы внешних сил, особенностей взаимодействия конструкции с нагрузками.

На основе выбранной физической модели формируется расчетная схема, которая становится графическим и математическим воплощением требуемых допущений. На этом этапе происходит окончательная геометрическая схематизация: сложные объемные детали превращаются в стержни, пластины или оболочки. Мелкие элементы сознательно игнорируются, концентрируясь на главных размерах, которые определяют жесткость и прочность всей системы.

Важным аспектом становится и идеализация связей. В реальности узлы крепления всегда обладают некоторой степенью податливости, однако для большинства задач их представляют в виде идеальных шарниров или абсолютно жестких заделок. В данном случае необходимо создание математического описания, которое будет достаточно понятным для анализа, но при этом сохранит необходимый уровень достоверности.

Важнейшим этапом решения задач является построение либо подбор подходящей механико-математической модели изучаемого объекта, представляющей собой систему математических уравнений, адекватно отражающих свойства и динамику соответствующей физической системы. Переход от реального объекта к его математическому аналогу даёт возможность преобразовать исследовательскую проблему в строго математически формулируемую задачу. Обычно архитектура механико-математической модели строится на базе систем дифференциальных или интегральных уравнений, которые описывают поведение дискретных систем либо сплошных сред. В этом контексте фундаментом численного моделирования становится критически важный этап – переход от абстрактных непрерывных функций к конкретным дискретным значениям. Этот прием называют дискретизацией. Суть дискретизации области – в приближении непрерывного пространства (и времени) набором конечных элементов, где потом рассчитываются значения искомых параметров. Сами формулы для этих расчетов возникают из дискретизации уравнений системы, что позволяет перевести плавные непрерывные модели в удобную дискретную форму.

Следующая стадия процесса численного моделирования заключается в формировании и решении систем алгебраических уравнений, где такие системы зачастую включают большое число переменных. Увеличение количества неизвестных позволяет добиться большей точности решений, однако усложняет систему уравнений, повышая риск возникновения ошибок расчета. По завершении вычислений возникает необходимость обработки и анализа большого объема данных для удобства представления информации для последующего изучения. Поэтому дальнейший ключевой шаг представляет собой обработку и визуализацию рассчитанных данных. Когда результаты приобретают вид, удобный для восприятия и анализа, проводится проверка их количественных и качественных показателей, так как на предыдущих стадиях возможно появление ошибок. Только убедившись в надежности проведенного численного моделирования путем тщательного анализа и проверки полученных данных, можно переходить к интерпретации результатов и формулированию итоговых выводов.

Сегодня для решения механических задач используются разнообразные численные подходы, которые принято классифицировать на две группы. Первую группу составляют континуальные методы, основанные на законах механики сплошных сред, включающие:

- метод конечных разностей (МКР),
- метод конечных элементов (МКЭ),
- метод граничных элементов (МГЭ),
- метод конечных объемов (МКО).

Вторую группу образуют дискретные методы, допускающие нарушения непрерывности среды при её деформации:

- метод дискретных элементов (МДЭ),
- метод сеток дискретных трещин (МСДТ).

Кроме того, стремительно развивается направление гибридных технологий, объединяющих оба подхода:

- гибридные МКЭ/МГЭ-модели,
- гибридные МДЭ/МГЭ-модели,
- гибридные МКЭ/МДЭ-модели [3].

Численные методы становятся универсальным инструментом, открывающим доступ к решению научных и инженерных проблем, непосильных классическому математическому анализу. Там, где точные формулы отсутствуют, численные алгоритмы эффективно справляются с любыми задачами.

В основе всех этих подходов лежит один и тот же принцип: упрощение до дискретных, измеримых величин. В этом цифровом пространстве сложные производные превращаются в понятные разности, громоздкие интегралы заменяются конечными суммами, а сложные функции могут быть представлены рядами простых многочленов. По сути, происходит перевод языка высшей математики на язык понятной арифметики, сохраняя при этом практическую ценность результата. Например, производная может быть заменена на разность функций с использованием шага аргумента Δx :

$$f'(x) = \frac{f(x + \Delta x) - f(x)}{\Delta x}$$

Обычно при численном решении задачи шаг аргумента задаётся h , от величины которого зависит обычно точность решения (рисунки).

В инженерных расчетах для сооружений любого типа почти всегда приходится решать дифференциальные уравнения. Они моделируют поведение несущих конструкций. Под силовой конструкцией понимается та ее часть, которая принимает на себя все нагрузки: от ветра и снега до тяжести самого здания. Размеры таких элементов подбирают, тщательно взвешивая требования к прочности, жесткости, устойчивости, сроку службы и другим параметрам.

В описании любой конструкции фигурируют параметры, которые потом вводят в то самое дифференциальное уравнение, плюс большое количество ограничений на них – так называемые краевые условия. Сюда входят проектные размеры, величины перемещений (или деформаций), а также нагрузки с напряжениями.

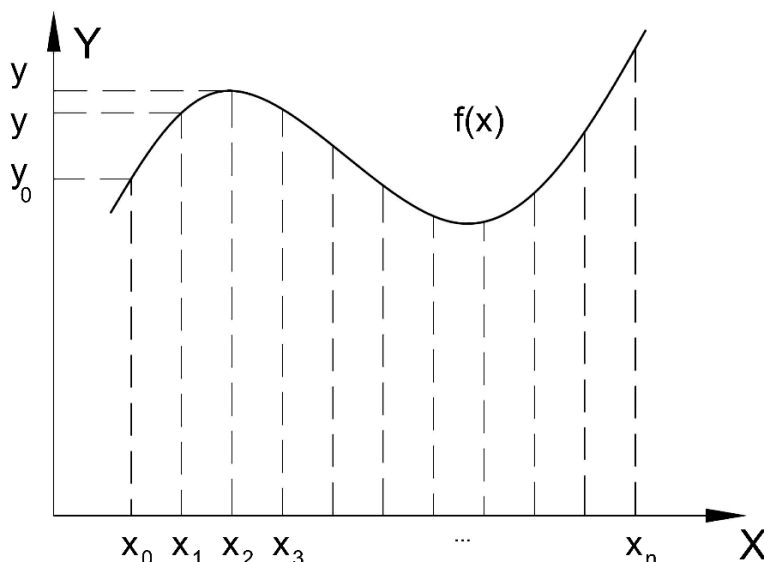


Рисунок. Переход от функции непрерывного аргумента к функции дискретного аргумента

Проектные параметры объединяют в себе физическую форму конструкций и внутреннюю суть материалов. Здесь важны не только базовые габариты, но и их производные: от площади сечения и веса элементов до общей жесткости, которая рождается на стыке геометрии и свойств выбранного материала.

Нагрузки же диктуют свои условия через сложную систему внешних воздействий. Это не только привычные распределенные или сосредоточенные силы, но и целая совокупность взаимозависимых внутренних факторов: от продольных усилий до изгибающих и крутящих моментов, а также реакций опор и возникающих в деталях напряжений.

Динамику системы отражают параметры перемещений – линейные и угловые сдвиги или деформации. Важно понимать, что все эти показатели не статичны. Они вступают в тесную взаимосвязь, где нагрузки и перемещения постоянно подстраиваются под геометрию и материал. Возникает своего рода непрерывный «диалог» между формой изделия и действующими на него силами, где каждое изменение одного элемента неизбежно откликается во всей структуре.

Использование современных методов численного моделирования существенно расширило возможности решения задач прикладной механики. Успех реализации таких методов напрямую зависит от квалификации специалиста, умения грамотно выбирать подходящую модель и интерпретировать полученные результаты.

Применение современных технологий численного моделирования значительно повысило потенциал проектировщиков. Однако эффективность использования этих методов определяется уровнем профессиональной подготовки инженера, способностью правильно подобрать соответствующую модель и корректно проанализировать итоговые данные. Следует учитывать, что принятые при построении модели упрощения и предположения обязаны иметь четкое обоснование и соответствовать поставленным задачам проекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Токарева, О. В. Трехмерное моделирование в прикладной механике / О. В. Токарева, С. В. Фролов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2025. – Т. 1. – С. 182-183.
2. Малова Н. А. Численные методы решения инженерно-технических задач в строительстве [Электронный ресурс] : учеб.-практ. пособие /Н. А. Малова ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2022. – 128 с.
3. Журавков М.А. Современные численные методы в механике. Курс лекций // Кафедра теоретической и прикладной механики. Минск: БГУ. – 2022. – 132 с.

УДК 744:62:004.92(075.8)

О.В. Токарева, С.М. Червонооккая
Академия ГПС МЧС России

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ГРАФИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЯХ НА ОСНОВЕ ИНТЕГРАЦИИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГРАФИКЕ

Аннотация: в статье обобщен опыт внедрения трехмерного моделирования в курс инженерной графики для обучающихся образовательных организаций противопожарного профиля. На примере конкретных учебных заданий показано, как работа с 3D-моделями влияет на скорость чтения чертежей и качество их выполнения. Особое внимание уделено сравнению традиционного подхода (ручное черчение) и экспериментального (моделирование в КОМПАС-3D с последующим созданием ассоциативных чертежей). Рассмотрены практические проблемы, с которыми сталкиваются преподаватели при цифровизации графических дисциплин, и предложены пути их решения.

Ключевые слова: инженерная графика, 3D-моделирование, чтение чертежей, методика преподавания, КОМПАС-3D, импортозамещение графических программ, искусственный интеллект.

O.V. Tokareva, S.M. Chervonookaya

IMPROVING THE QUALITY OF GRAPHIC TRAINING IN FIRE AND RESCUE EDUCATIONAL ORGANIZATIONS BASED ON THE INTEGRATION OF 3D MODELING IN ENGINEERING GRAPHICS

Abstracts: the article summarizes the experience of introducing three-dimensional modeling into the course of engineering graphics for students of educational organizations of a fire-fighting profile. Specific tutorials show how working with 3D models affects the speed of reading drawings and the quality of their execution. Particular attention is paid to comparing the traditional approach (manual drawing) and experimental (modeling in COMPAS-3D with the subsequent creation of associative

drawings). Practical problems faced by teachers in digitalization of graphic disciplines are considered, and ways to solve them are proposed.

Keywords: engineering graphics, 3D modeling, reading drawings, teaching methods, COMPAS-3D, import substitution of graphic programs, artificial intelligence.

Геометро-графическая подготовка является базовым элементом инженерного образования, формируя навыки пространственного мышления и работы с технической документацией. Внедрение САПР в учебный процесс позволяет адаптировать образовательные программы к требованиям цифровой трансформации. Однако переход на новые программные продукты, такие как отечественный «Компас-3D», сопряжен с необходимостью разработки эффективных педагогических подходов, направленных на преодоление когнитивных барьеров и стимулирование самостоятельного обучения [1].

Стремительная цифровизация ставит перед педагогическим сообществом ряд серьезных вопросов. Не приведет ли увлечение трехмерной графикой к утрате фундаментальных навыков черчения? Не превратит ли оно обучающихся в оператора компьютера, не способного мыслить пространственно без помощи «цифровой визуализации»? Поиск баланса между традициями и инновациями составляет основную научную проблему данного исследования.

Традиционные методы обучения, основанные исключительно на плоскостном черчении, не всегда позволяют курсанту в полной мере осознать конструктивные особенности узлов пожарной техники или деталей оборудования. С 2023 по 2025 год на кафедрах инженерной графики ряда ведомственных вузов проводилась работа по обновлению учебных пособий. В основу был положен принцип «от объема — к плоскости»: изучение детали начинается не с готового чертежа, а с вращающейся трехмерной модели [2].

В процессе выполнения графической документации обучающемуся сложно представить деталь по чертежу, понять алгоритм решения задачи на чертеже без ее пространственного визуального образа. Эти проблемы связаны с уровнем развития пространственного мышления обучаемого. Традиционный способ подачи материала с помощью определений, теорем, алгоритмов решения пространственных задач на чертеже, выполнение графических работ на бумаге с помощью чертежных инструментов в настоящих условиях не очень эффективен [3].

При выполнении чертежей детали курсант 1-го курса зачастую впервые видит достаточно сложный сборочный чертеж. На листе, как правило, изображено несколько видов, разрезов и сечений, а также условности и упрощения, о которых надо знать, чтобы правильно прочесть чертеж. Необходимо мысленно выбрать из этого плоского изображения деталь, понимая при этом всю конструкцию. Для новичка это сложнейшая задача. Именно здесь на помощь приходят 3D-модели.

Чтобы понять реальную пользу 3D-моделирования, мы сравнили две группы курсантов. Первая группа (традиционная) выполняла задания классическим способом: лист ватмана, карандаш, линейка, циркуль. Вторая группа (экспериментальная) сначала создавала трехмерную модель детали в программе КОМПАС-3D, а затем на ее основе строила чертеж.

Задание было одинаковым для всех — выполнить чертежи деталей по сборочному чертежу. Для примера рассмотрим чертеж «штуцера» (поз.2) по сборочному чертежу клапана предохранительного (рис.1). При анализе конфигурации детали обучающимся было необходимо обратиться к трем изображениям на чертеже,

сгруппировать всю информацию в одно целое и приступить к выполнению задания, не исключая консультации с преподавателем. И вот на этом этапе выявляются все трудности выполнения чертежа:

- невозможность однозначно определить форму деталей;
- отсутствие необходимых размеров;
- недостаточная детализация мелких элементов;
- некоторые элементы изображаться условно, что усложняет процесс чтения

Деталь имеет резьбовые поверхности, технологические элементы — фаски и проточки, которые необходимо восстановить при выполнении чертежа детали.

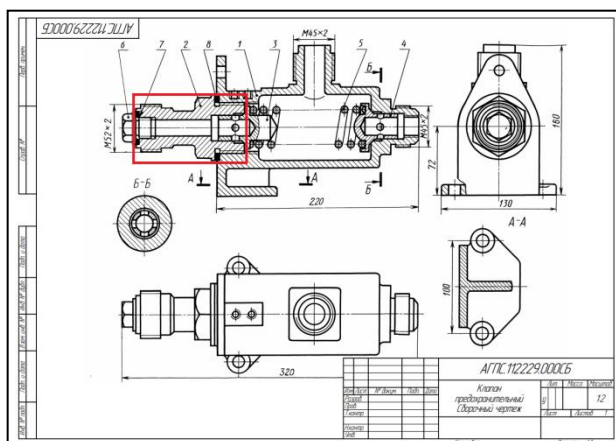


Рис. 1. Сборочный чертеж клапана предохранительного

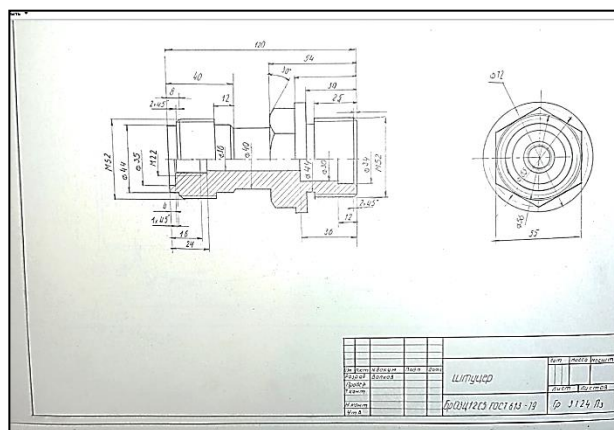


Рис. 2. Пример выполнения чертежа
штуцера традиционным способом

Проводя оценку качеству и трудоемкости выполнения чертежа «штуцера» традиционным путем с помощью карандаша и бумаги (рис. 2), обучающимися было потрачено около 5 академических (акад.) часов при неоднократной консультации с преподавателем.

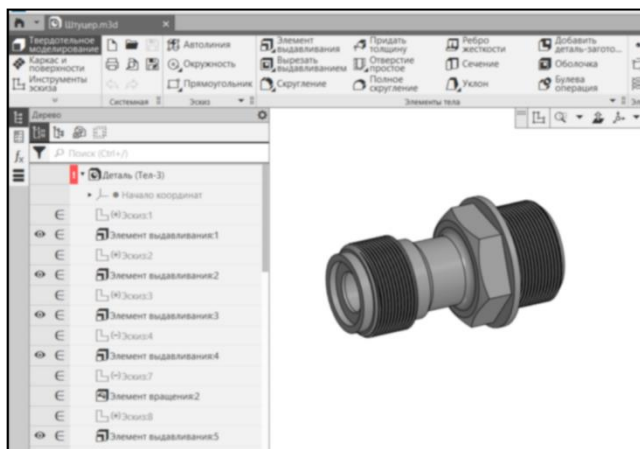


Рис. 3. Создание 3D-модели штуцера в Компас-3D

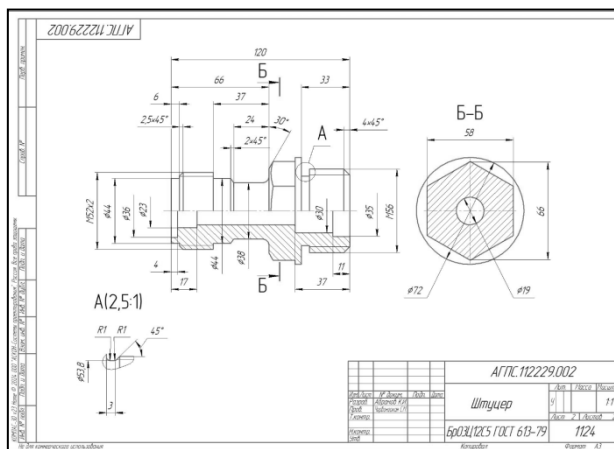


Рис. 4. Создание чертежа штуцера в Компас-3D

При построении 3D-модели данной детали (рис. 3), использовалось «Приложение вставки конструктивного элемента» в графическом редакторе Компас-3D, что значительно упростило работу при построении проточки детали (рис. 4), используя понятийные параметры для поиска необходимой информации в библиотеке. Любую редакцию при моделировании данного изделия, возможно, изменить в процессе построения без ухудшения качества чертежа. Время на выполнения данного штупера заняло около 4 академических часов.

Были собраны данные за два года: 2022–2023 гг., когда использовалась традиционная методика, и 2024–2025 гг., когда применялись 3D-модели (таблица). Участники первой группы (традиционной) работали стандартным методом: выполняли чертежи вручную на ватмане с помощью карандаша, линейки и циркуля. Во второй группе (экспериментальной) участники сначала моделировали деталь в трёхмерном пространстве с помощью программы КОМПАС-3D, а затем на ее основе строили чертеж.

**Таблица. Сравнительная динамика успеваемости
при традиционном и экспериментальном обучении**

Критерий оценки	Традиционная методика, 2022-2023 гг.	С использованием 3D-моделей, 2024-2025 гг.
Среднее время выполнения контрольного чертежа	6,5 акад. часов	5,0 акад. часов
Ошибки в построении разрезов	30 % работ	12 % работ
Качество оформления (соответствие ЕСКД)	60 % работ	85 % работ
Скорость чтения чертежа (тест-опрос)	40 % правильных ответов	78 % правильных ответов

Цифры говорят сами за себя: те, кто использовал 3D-модель, не только быстрее справлялся с чертежом, но и делали эти чертежи качественней, на более высоком профессиональном уровне: использовали стандарты и ГОСТы, заложенные в библиотеке графической программы, для выполнения различных конструктивных элементов.

Здесь мы подходим к самому главному вопросу, который волнует всех преподавателей «старой школы»: не потеряем ли мы фундаментальные навыки, если уберем ручное черчение? Не превратим ли обучающегося в оператора компьютера, который умеет нажимать кнопки, но не понимает сути?

Опасения эти не беспочвенны. Один из авторов методики, канд. техн. наук, доцент, начальник кафедры механики, ремонта и деталей машин (в составе УНК «Пожаротушение») ИПСА ГПС МЧС России П. В. Пучков, приводит такой пример: курсант легко создает эффектную 3D-модель, но когда его просят начертить простейшую деталь от руки, теряется и допускает грубые ошибки [2]. Компьютер сделал за него всю «черновую» работу по проецированию, и пространственное мышление просто не включилось.

Поэтому в нашей методике мы сознательно сохраняем ручное черчение на начальном этапе. Первые задания — самые простые: построение точек и линий на поверхностях, пересечение поверхностей, виды, разрезы, сечения, простановка

размеров — курсанты выполняют карандашом. Нужно прочувствовать, как строится проекция, как связаны между собой виды, как наносить размеры по ГОСТу.

Несмотря на очевидные преимущества, внедрение 3D-технологий сопряжено с рядом серьезных проблем, без решения которых качественная подготовка специалиста невозможна.

Цифровая трансформация опережает педагогическую науку. На сегодняшний день отсутствуют утвержденные федеральные методики, регламентирующие соотношение «классики» и «цифры» в курсе инженерной графики. Каждый вуз вынужден действовать методом проб и ошибок, что создает разрыв в уровне подготовки выпускников разных учебных заведений [4].

Внедрение современных цифровых технологий при создании 3D-моделей требуют от преподавателей уверенное владение современными программными продуктами и соответственно, методиками преподавания. Чтобы быть на уровне цифровой грамотности необходимо постоянно проходить курсы повышения квалификации, что увеличивает нагрузку занятости преподавателей при дефиците времени.

Активно развиваются технологии искусственного интеллекта, который на основе заданных параметров сам предлагает оптимальные формы конструкций. Загрузка в популярные браузеры условия задания, дает возможность найти аналоги решения данных задач по созданию чертежей. Искусственный интеллект — это мощнейший инструмент, но он не отменяет необходимости понимания основ. Инженер будущего должен уметь:

- грамотно ставить задачу для ИИ (формулировать техническое задание);
- критически оценивать предложенное ИИ решение (обладать фундаментальными знаниями сопромата, деталей машин);
- принимать окончательное проектное решение и нести за него ответственность.

Внедрение трехмерного моделирования в курс инженерной графики для будущих сотрудников МЧС является объективной необходимостью, продиктованной требованиями времени. Представленная статистика доказывает, что грамотное использование 3D-инструментов способствует ускоренному чтению чертежей и повышению качества проектной документации.

Однако цифровизация не должна заменять полностью инженерное мышление и навыки. 3D-моделирование служит средством развития пространственного мышления.

В вузах необходимо решение вопросов переподготовки кадров для внедрения в учебный процесс новейших цифровых технологий и разработки методик обучения для повышения уровня знаний и навыков при изучении инженерной графики.

Дальнейшее развитие методики видится в создании единой базы 3D-моделей пожарно-технического вооружения и интеграции элементов дополненной реальности непосредственно в процесс выполнения чертежных работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Червоноокая, С. М. Педагогические стратегии интеграции САПР в инженерно-графическое образование: мотивационные механизмы и формирование цифровых компетенций // Естественные науки и пожаробезопасность: проблемы и перспективы исследований: Сборник материалов II Всероссийской научно-

практической конференции с международным участием, Иваново, 27 февраля 2025 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2025. – 594 с.

2. Пучков, П. В., Иванов В. Е., Легкова И. А. Компьютерная графика: 3D-моделирование деталей машин : учебное пособие. — Иваново : Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. — 104 с.

3. Токарева, О. В. Визуальный анализ трехмерных объектов в коммуникационном и учебном процессах / О. В. Токарева // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 15 апреля 2021 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2021. – С. 347-35.

4. Инженерная 3D-компьютерная графика : учебник и практикум для вузов / А. Л. Хейфец [и др.]. — 3-е изд. — М. : Юрайт, 2026. — 596 с.

УДК 614.841.4

Г.Н. Ункилов, А.А. Покровский

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ОСОБЕННОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯМИ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ НА КРУПНЫХ ПОЖАРАХ

Аннотация: в статье проанализирована специфика крупных пожаров, рассмотрен процесс формирования оперативного штаба. Подчеркнуты важность распределения ролей в команде и то, какой вклад это вносит в принятие решений. Показаны методы оценки рисков и ситуационного анализа, позволяющие принимать обоснованные решения, опираясь на фактические данные и сценарные прогнозы. Отражена роль коммуникации между различными подразделениями и ее влияние на скорость реакции и качество принимаемых решений.

Ключевые слова: пожар, оперативный штаб, риск, ситуационный анализ, коммуникация.

G.N. Unkilov, A.A. Pokrovsky

FEATURES OF DECISION-MAKING IN MANAGING FIRE PROTECTION UNITS AT MAJOR FIRES

Abstracts: The article analyzes the specifics of major fires and examines the process of forming an emergency response team. It highlights the importance of assigning roles within the team and how this contributes to decision-making. It presents risk assessment and situational analysis methods that enable informed decision-making based on factual data and scenario forecasts. It also highlights the role of communication between various departments and its impact on response speed and the quality of decisions.

Keywords: fire, emergency response center, risk, situational analysis, communication.

Сегодня, когда угрозы природных катастроф и экстренных ситуаций становятся обычным делом, эффективное управление в таких условиях может спасти не только имущество, но и жизни людей. Понимание механизмов принятия решений в условиях стресса и неопределенности помогает разработать более эффективные стратегии для тушения крупных пожаров и минимизации их воздействия на окружающую среду.

Цель данной работы заключается в анализе ключевых аспектов принятия решений в контексте работы пожарной охраны при крупных пожарах. Мы стремимся определить лучшие практики, которые помогут повысить эффективность действий оперативных служб. Для достижения этой цели будет поставлено несколько задач: изучить специфику крупных пожаров, рассмотреть формирование оперативного штаба, а также выявить методы оценки рисков и важность коммуникации между подразделениями.

Объектом исследования является процесс управления пожарной охраной в условиях крупных пожаров. Это конкретные действия и стратегии, которые применяются в ходе тушения. Предметом исследования выступают качества и свойства этих действий, включая методы оценки рисков, организацию работы штаба, а также использование технологий в процессе принятия решений.

Крупные пожары являются сложными и многофакторными явлениями, которые значительно отличаются от обычных случаев возгораний. Основной особенностью таких пожаров является их способность разрастаться и наносить значительный ущерб. На практике, несмотря на то что крупные пожары составляют лишь небольшую долю от общего числа возгораний, их влияние на общество и экономику пропорционально велико. Например, статистические данные показывают, что около 50% общего материального ущерба от пожаров в России связано именно с крупными пожарами. Именно поэтому анализ их специфики становится крайне актуальным для оперативных служб [1].

Основой для понимания механизма возникновения крупных пожаров является анализ факторов, способствующих их росту. Главным образом это связано с особенностями горючих материалов и условий, в которых они хранятся. Например, увеличение выборки пожаров по площади показало, что большинство случаев происходят в складских зданиях, где сосредоточены большие объемы горючих веществ. Условия низкой огнестойкости и неудовлетворительного водоснабжения лишь усугубляют ситуацию, приводя к тому, что многие пожары достигают больших размеров прежде, чем их удастся локализовать. Проводимые исследования показывают, что задержка в обнаружении и реагировании на пожар может способствовать его масштабному развитию, что подчеркивает важность своевременной реакции [2].

Также следует учитывать, что крупные пожары чаще всего требуют более сложного управления ресурсами. Статистические данные подтверждают, что для успешной локализации пожаров с большой площадью усилия и ресурсы пожарных подразделений необходимо наращивать в процессе тушения. Оперативное управление требует тщательного планирования и оценки потребностей, включая количество используемых стволов и способ подачи огнетушащих веществ. Эта сложность определяется не только масштабом пожара, но и спецификой здания, что в свою очередь создает дополнительные трудности в планировании и организации тушения [3].

Второй важной особенностью крупных пожаров является необходимость эффективного мониторинга и контроля за ситуацией. В современных условиях важно использовать передовые технологии, такие как спутниковые системы и дистанционное зондирование, для получения актуальных данных о состоянии пожара. Эти данные могут значительно улучшить процесс принятия решений и позволить оперативным службам более эффективно выделять ресурсы и реагировать на развитие ситуации. Исследования показывают, что применение современных информационных систем может повысить эффективность тушения крупных пожаров, обеспечивая полноту и точность информации, что в свою очередь способствует быстрому принятию решений [1].

Важным аспектом, который требует особого внимания, является анализ структуры и алгоритмов принятия решений на местах тушения. Во время крупных пожаров часто наблюдается необходимость координации между разными оперативными службами, что может осложняться различиями в подходах и методах работы. Исследования показывают, что четкость и согласованность действий всех участников чрезвычайной ситуации является критически важным фактором для успешной локализации и тушения пожара. Эффективные алгоритмы поддержки принятия решений могут существенно упростить сотрудничество между различными службами и ускорить процесс реагирования [3].

Исходя из вышеизложенного, становится очевидным, что крупные пожары представляют собой сложные административные и технические задачи. Они требуют интеграции высоких технологий, мультидисциплинарного подхода и, что немаловажно, обучение кадров, готовых работать в условиях неопределенности. Опираясь на статистику и предыдущие исследования, можно утверждать, что грамотная организация действий служб пожарной охраны и четкая координация усилий всех задействованных сторон являются ключом к успешному управлению и минимизации урона от крупных пожаров.

Формирование оперативного штаба начинается с определения необходимых участников и распределения ролей. В условиях крупного пожара, где риски высоки, наличие специализированного штаба критически важно для обеспечения координации и эффективности действий. Средства информационного обеспечения, такие как системы управления и коммуникации, помогают собрать и обработать данные, необходимые для принятия решений. Это требует от руководителя не только знаний и опыта, но и быстрых, взвешенных решений при перегруженности информации. В частности, недостаток точных данных о пожаре может сильно исказить ситуацию и повлиять на качество принятых решений [4].

Наличие хорошо организованного штаба позволяет оперативно реагировать на изменения в обстановке. Например, руководителю тушения пожара (РТП) необходимо быстро оценивать распространение огня, погодные условия и возможности для устранения угрозы. Состав штаба может варьироваться в зависимости от размера пожара и юрисдикции, но в любом случае в него должны входить специалисты, способные оценивать обстановку, а также координаторы для взаимодействия с другими службами и подразделениями. Четкое распределение ролей помогает избежать путаницы и задержек в принятии решений, что, в свою очередь, может сократить время, необходимое для ликвидации пожара [4].

Следующим ключевым аспектом является разработка оперативных планов пожаротушения. Эти планы составляются заранее и служат основой для быстрого

реагирования в экстренной ситуации. Они учитывают не только текущее состояние объекта, но и потенциальные риски, связанные с развитием пожара. Продуманная структура оперативного штаба и его планы действий на основе анализа возможного развития ситуации позволяют сосредоточить силы и средства туда, где они наиболее нужны. Это способствует более точному развертыванию пожарных подразделений и тем самым повышает эффективность борьбы с огнем и минимизирует ущерб [4].

Наконец, важным вкладом в эффективность работы штаба является регулярное проведение тренировок и симуляций. Это помогает команде отработать взаимодействие в условиях стресса, улучшает коммуникацию между участниками и способствует выработке важных навыков. Адекватный опыт работы в аналогичных ситуациях позволяет членам штаба действовать более уверенно и быстро реагировать на возникающие сложности. Таким образом, постоянная тренировка и анализ прошлых операций помогают формировать более устойчивую и эффективную систему оперативного управления, готовую к любым вызовам, связанным с тушением крупных пожаров. Важно, что проведение таких мероприятий становится неотъемлемой частью подготовки кадров, что, в свою очередь, ведет к созданию более опытных и компетентных команд, способных принимать квалифицированные решения в критических ситуациях [4].

Методы оценки рисков и ситуационного анализа при управлении пожарными подразделениями на крупных пожарах играют ключевую роль в принятии обоснованных и эффективных решений. Современные подходы к оценке рисков варьируются от качественных до количественных методов. Первый шаг в этом процессе – это формализация информации, которая включает как качественные, так и количественные данные. Например, теория игр и теория массового обслуживания предоставляют мощные инструменты для анализа сложных ситуаций и прогнозирования поведения. К тому же, методы теории вероятностей помогают оценить возможные исходы в условиях неопределенности и вероятностного характера процессов, что особенно актуально при тушении лесных пожаров [4].

Качественные методы, такие как экспертные оценки и анализ по методам теории нечётких множеств, позволяют обработать данные, которые не всегда можно выразить в цифрах. Эти методы особенно важны, когда доступные данные ограничены или трудно прогнозируемы. Например, использование нечётких множеств для оценки ситуации на пожаре позволяет учитывать множественные факторы, влияющие на принятые решения, что в итоге способствует более точному планированию и координации действий аварийных служб [5].

Помимо этого, статистические методы сбора данных о лесорастительных условиях и характеристиках пожаров также имеют большое значение. Они служат основой для создания математических моделей, которые анализируют динамику лесных пожаров и предсказывают их поведение на основании исторических данных. Так, качественные и количественные методы вместе создают комплексный подход к оценке рисков [6].

Ситуационный анализ находится в центре процесса принятия решений в пожарной охране. Принимая решение, руководители должны сосредотачиваться на качестве информации, которая должна быть своевременной, достаточной и достоверной. Опытные руководители понимают, что спешка в принятии решения на основании первой же информации может привести к ошибкам. Им нужно постоянно отслеживать и критически переоценивать ситуацию, что включает в себя не только

анализ текущих обстоятельств, но и прогнозирование будущих изменений. Таким образом, способность сравнивать различные сценарии и варианты действий позволяет выбрать наилучшее решение [4].

Хороший ситуационный анализ требует также наличия систем поддержки принятия решений (СППР). Эти системы помогают интегрировать различные данные и предоставляют рекомендации по выбору стратегий, опираясь на опыт и знания специалистов в области. Они обеспечивают структурированный подход к проблемам и позволяют учитывать множество критериев при анализе [7]. Чаще всего это осуществляется через блок-схемы алгоритмов, которые направляют пользователей по этапам принятия решения, учитывая различные параметры и ситуации (табл. 1).

Таблица 1. Методы оценки рисков и примеры их применения

Метод	Описание	Примеры применения
Качественные	Методы, основанные на мнениях экспертов и оценках, зачастую в количественном выражении.	Экспертные оценки, методы нечётких множеств.
Количественные	Методы, использующие статистические данные и модели для оценки рисков.	Моделирование динамики лесных пожаров, анализ исторических данных.
Ситуационный анализ	Методы, фокусирующиеся на сборе и анализе актуальной информации.	Использование СППР и множество сценариев вариантов действий.
Иерархический анализ	Метод, учитывающий важность и значимость множества критериев.	Оценка множественных факторов влияния на принятие решений.

Одним из наиболее эффективных методов ситуационного анализа является иерархический анализ, предложенный Т. Саати. Этот метод позволяет учитывать множество критериев и оценивать их значимость для принятия решения. На практике он может давать возможность формировать более качественные интегральные критерии, что приводит к более обоснованному выбору [6]. Следовательно, использование иерархического анализа в сочетании с другими методами предостерегает от поспешных решений и улучшает шансы на успешную борьбу с крупными пожарами.

Эффективная коммуникация между подразделениями пожарной охраны является критически важным аспектом при организации тушения крупных пожаров. В условиях высокой динамики происходящих событий и необходимости быстрых решений взаимодействие между различными службами должно быть четко налажено. Прежде всего, это связано с тем, что каждый уровень управления должен активно получать и передавать информацию о текущей ситуации. Без достаточной информации руководители не смогут адекватно оценивать обстановку и принимать верные решения по организации тушения. Коммуникация становится тем связующим звеном, которое позволяет предотвратить ошибки и снизить риски [4].

Одним из ключевых моментов в организации эффективной коммуникации является использование специализированных систем связи и передачи данных. Современные технологии, такие как радиосвязь, мобильные приложения и системы управления, играют важную роль в оперативности передачи информации. Эти инструменты помогают быстрее обмениваться данными о ходе тушения пожара, состоянии сил и средств, тактических решениях и изменениях в обстановке. Такой

уровень организации связи обеспечивает более высокую степень реагирования на возникающие вызовы [6].

Не менее важен и аспект взаимодействия разных подразделений в процессе тушения. Руководители должны быть уверены не только в том, что информация поступает своевременно, но и что все участники понимают свою роль и задачи в общей операции. Для этого необходимо проводить регулярные тренировки и учения, на которых отрабатываются сценарии взаимодействия. Это позволяет всем участникам быть на одной волне и, в конечном итоге, сократить время на принятие решений и их выполнение [4].

Второй важный момент, касающийся коммуникации между подразделениями – это четкость и однозначность команд. Принимаемые решения на всех уровнях должны быть четко сформулированы и поняты всеми исполнителями. Это обеспечит высокую степень выполнения задач, что крайне важно в условиях, когда время играет критическую роль. Например, когда идет речь о помощи при тушении пожара в крупных складских помещениях, где нужно мгновенно реагировать на изменения в обстановке. Малейшая неясность в передаче команд может привести к несогласованности действий, что увеличивает риск [8].

На практике это значит, что руководство должно внедрять стандарты формулирования команд и обязательное подтверждение их восприятия исполнителями. Также актуально применение единого командного языка, который исключает возможность недопонимания. Важно, чтобы каждая команда проходила через систему обратной связи, где все участники могут подтвердить свое понимание и готовность к выполнению поставленных задач [4].

Наконец, стоит выделить необходимость постоянного анализа эффективности коммуникаций после завершения операций. Это включает в себя как анализ сбоев во взаимодействии, так и оценку успешных кейсов. Подобный анализ помогает выявить сильные стороны существующей системы и области для улучшения. На основе полученных данных могут быть разработаны рекомендации по совершенствованию коммуникационных протоколов, что в свою очередь повысит эффективность управления в будущем [6].

Подводя итог, важность коммуникации между подразделениями пожарной охраны едва ли можно переоценить. Четкая, быстрая и надежная система обмена информацией обеспечивает не только эффективность тушения, но и безопасность всех участников процесса. Подобные улучшения – это не только технические процессы, но и культурные установки, которые должны быть восприняты всеми уровнями, начиная от рядовых сотрудников и заканчивая руководством.

Современные технологии играют решающую роль в процессе принятия решений при управлении подразделениями пожарной охраны, особенно в условиях крупных пожаров. Они не только повышают эффективность управления, но и обеспечивают более высокое качество принятых решений. В первую очередь стоит рассмотреть, как информационные системы умеют поддерживать решения в сфере пожарной безопасности и как они меняют представления о быстром реагировании.

Информационно-советующие системы поддержки принятия решений, о которых говорится в научной литературе, становятся незаменимыми инструментами в борьбе с пожарами. Эти системы обрабатывают огромные объемы данных, что позволяет руководителю оперативно оценивать ситуацию. Например, такие системы могут «подсказывать» оптимальные варианты действий на основе заданных параметров и

предварительно загруженной информации. Это особенно важно в условиях, когда время играет критическую роль, а каждая секунда может повлиять на жизнь людей и сохранность имущества [4]. С помощью анализа данных о текущем состоянии пожара, погодных условиях и наличии ресурсов РТП получает не просто информацию, а структурированные рекомендации по различным сценариям тушения.

Для эффективного принятия решений важна не только информация, но и ее качество. Профессиональные системы, используемые в различных отраслях, такие как медицинские или военные, доказали свою эффективность благодаря анализу данных с помощью различных математических методов [4]. Эти методы, такие как теории вероятностей и нечеткие множества, позволяют формализовать и учитывать риски, что критически важно при угрозе жизни людей. В пожарной охране, где каждое решение требует максимально полной оценки обстоятельств, использование таких математических моделей позволяет избежать простых, но неэффективных решений.

Еще одним важным аспектом является интеграция современных технологий в структуру управления пожарной охраной. Современные системы обработки данных включают в себя базы знаний, которые содержат как исторические данные о пожарах, так и безопасных методах их тушения. Эти базы помогают РТП не только принимать решения на основе имеющихся данных, но и обращаться к накопленному опыту, что значительно увеличивает шансы на успешное завершение операции [4]. Например, информация о предыдущих пожарах может быть использована для формирования прогноза об успешности тех или иных тактических решений в текущей ситуации.

Технологии не только влияют на качество решений, но также значительно ускоряют процесс реагирования. В оперативном управлении пожарными подразделениями требуется быстрое и четкое взаимодействие между всеми участниками процесса. Информационные технологии облегчают этот процесс через создание единой сети коммуникаций, позволяющей оперативно передавать данные и команды от зоны происшествия к центру управления и обратно. Такая система оперативной связи позволяет избежать задержек, которые могут быть критическими в условиях дефицита времени. Важно отметить, что, согласно исследованиям, эффективная коммуникация является одним из ключевых факторов при тушении крупных пожаров (табл. 2), и технологии здесь служат связующим звеном [6].

Таблица 2. Роль технологий в принятии решений при тушении пожаров

Технология	Функция	Преимущества
Информационные системы	Обработка данных и поддержка решений	Упрощение оценки ситуации и предложение сценариев
Математические модели	Формализация рисков	Углубленная оценка и избегание простых решений
Базы знаний	Анализ исторических данных	Увеличение шансов на успешное завершение операции
Системы связи	Коммуникация между участниками	Снижение задержек и критичности информации

Кроме того, использование технологий решает проблему недостатка информации в критические моменты. Часто неопытные руководители принимают решения на основании первой поступившей информации, что может привести к неэффективным действиям. Передовые системы обеспечивают не только сбор данных, но и их критическую оценку, что позволяет получать полную картину пожарной

обстановки на основании актуальных данных [4]. Это особенно актуально, когда речь идет о высоком риске и возможных угрозах для жизни. Хорошо разработанные системы поддержки принятия решений способны анализировать поступившую информацию и выстраивать несколько стратегий одновременно. Таким образом, возможность выбора оптимального варианта оказывается не просто теоретической, а практической реальностью.

Подводя итог, можно смело утверждать, что современным технологиям в управлении пожарной охраной отводится центральная роль. Они не только облегчают процесс принятия решений, но и кардинально повышают качество этих решений, что особенно важно в кризисных ситуациях. Информационные системы поддержки принятия решений становятся незаменимыми помощниками РТП, позволяя не только принимать более обоснованные решения, но и делать это быстрее и безопаснее для всех участников событий.

Анализ факторов, способствующих разрастанию крупных пожаров, выявил, что оперативная реакция и грамотное управление ресурсами являются ключевыми для успешной локализации. Задержка в обнаружении и реагировании может привести к масштабным последствиям. Поэтому важно принять во внимание, что своевременность действий и распределение ресурсов критически влияют на результат.

Современные технологии, такие как системы спутникового наблюдения и информационно-аналитические платформы, значительно улучшают процесс принятия решений. Эти системы обеспечивают оперативный доступ к данным о состоянии пожара и способствуют более обоснованному выбору тактики тушения. Внедрение таких инструментов становится важным условием повышения эффективности действий пожарных служб.

Координация между различными службами при тушении крупных пожаров оказывается важнейшим фактором. В нашем исследовании подчеркивается, что четкость команд и взаимопонимание между подразделениями существенно влияют на скорость реагирования и минимизацию ущерба. Для этого необходимо проводить регулярные тренировки, которые помогут отработать взаимодействие в условиях стресса.

Наконец, важность анализа и оценки принятых решений после завершения операции не может быть недооценена. Обратная связь помогает выявить слабые места в системе управления и улучшить эффективность будущих операций. Анализ успешных кейсов и ошибок позволяет оперативно корректировать действия и адаптировать стратегии.

Таким образом, результаты нашего исследования подчеркивают многогранность подхода в управлении пожарной охраной на крупных пожарах. Эта деятельность требует интеграции технологий, навыков эффективного коммуникационного взаимодействия и гибкости в принятии решений, что, в конечном счете, повышает шансы на успешное тушение пожара и защиту жизни людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А.В. Модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений при мониторинге крупных пожаров // Автореферат ГПС МЧС России. – 2023. – С. 1-3.
2. Денисов А.Н., Нгуен М.Х., Пигусов Д.Ю. Управление пожарными подразделениями при тушении пожаров в быстровозводимых складских зданиях 4-5

степени огнестойкости //Технологии техносферной безопасности. – 2015. – №. 4. – С. 34-42.

3. Котельников Р.В., Лупян Е.А. Особенности дистанционно оцениваемых распределений площадей лесных пожаров для территорий с различным уровнем пожарной охраны //Соврем. проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – №. 4. – С. 75-87.

4. Тетерин И.М. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах //Технологии техносферной безопасности. – 2008. – №. 4. – С. 7.

5. Доррер Г.А. Система управления подразделениями пожарной охраны в условиях современного технологического уклада //Сборник материалов международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 12.

6. Денисов А.Н., Захаревская С.Н. Принятие управленческого решения при тушении пожара //Технологии техносферной безопасности. – 2014. – №. 3. – С. 10.

7. Тараканов Д.В. Поддержка принятия управленческих решений при тушении крупных пожаров на основе многокритериальной оптимизации: автореферат дис. кандидата технических наук. – Москва, 2011. – 23 с.

8. Покровский А.А., Киселев В.В., Кропотова Н.А. Разработка компоновки мобильного средства на базе легкового шасси повышенной проходимости для тушения ландшафтных пожаров // Сборка в машиностроении, приборостроении. - 2025. - № 1 (306). - Т.8 - с. 3-6.

УДК 621.8

Е.М. Фишер, В.П. Зарубин

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТДЕЛЬНОГО СТАЦИОНАРНОГО ПОСТА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА ДТП ДЛЯ ШТАТНЫХ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ СУБЪЕКТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Аннотация: в статье рассмотрен вопрос оперативного реагирования спасателей на дорожно-транспортное происшествие, для обеспечения высокой степени готовности и оперативности действий аварийно-спасательных служб предлагается организовать стационарные посты на наиболее аварийно-опасных участках автомобильных дорог, предлагаемые решения основаны на нормативных правовых актах, предусматривают интеграцию новых технологий и использование современного спасательного оборудования.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, дорожно-транспортное происшествие, служба спасения, время реагирования, безопасная транспортная среда, стационарный пост.

E.M. Fischer, V.P. Zarubin

DESIGN OF A SEPARATE STATIONARY POST FOR RAPID RESPONSE TO ROAD ACCIDENTS FOR INTERNAL RESCUE FORCES OF THE RUSSIAN FEDERATION

Abstract: the article discusses the issue of rapid response by rescuers to traffic accidents. To ensure a high level of preparedness and efficiency of emergency response services, it is proposed to establish stationary posts at the most dangerous sections of highways. The proposed solutions are based on regulatory legal acts and involve the integration of new technologies and the use of modern rescue equipment.

Keywords: emergency, traffic accident, rescue service, response time, safe transportation environment, stationary post.

В условиях современного общества отмечается ежегодный прирост используемых для передвижения транспортных средств. Увеличение количества транспорта приводит к увеличению интенсивности и плотности движения на автомобильных дорогах, что косвенно вызывает увеличение дорожно-транспортных происшествий (ДТП). Рост количества ДТП требует от специальных служб переработки механизмов реагирования и разработки новых способов и тактических приемов для быстрого реагирования на происшествия. Решить задачу по оперативному реагированию спасателей на дорожно-транспортное происшествие возможно с помощью создания стационарного поста, который будет служить основным звеном в системе оперативного реагирования на дорожно-транспортные происшествия (далее ДТП), обеспечивая высокую степень готовности и оперативности действий аварийно-спасательных служб. Вопрос создания специализированных постов актуален не только из-за увеличения количества ДТП. Ключевым фактором, указывающим на необходимость создания постов, является скорость прибытия на место происшествия спасателей. Временной показатель скорости реагирования очень важен с точки зрения возможности оказания необходимой медицинской помощи. Каждая минута, в аварийной ситуации, может быть решающей и повлиять на возможность сохранения здоровья и жизни пострадавшим. Таким образом, проектирование стационарного поста является важным шагом к созданию более безопасной транспортной среды.

Необходимость создания более эффективной системы реагирования подтверждают статистические данные дорожно-транспортных происшествий. Так, ежегодно в ДТП погибает около 1,2 миллиона человек по всему миру [5]. Возраст пострадавших, в основном, это молодые люди от 18 до 30 лет. Это указывает на необходимость целевого подхода к ликвидации последствий ДТП и является определяющим фактором при проектировании стационарных постов и их оснащении необходимым инструментом и оборудованием [1].

Сокращение времени реагирования на происшествие, является определяющим фактором в результате операции по спасению человека. Оперативное получение сигнала и своевременное прибытие на место ДТП увеличивает шансы на спасение человека. Сократить время получения сигнала можно с помощью применения автоматизированных систем фиксации аварий и передачи информации на пульт служб спасения [4]. А время прибытия на место происшествия, возможно сократить, при правильном расположении поста к возможному месту аварии [3].

Обзор автономных округов, областей и других территорий Российской Федерации с интенсивным использованием транспорта указывает на то, что не везде организованы отдельные посты спасателей для оперативного реагирования на аварии. Так, например, на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (далее ХМАО-Югра) отсутствуют стационарные посты для оперативного реагирования на ДТП поисково-спасательных формирований, в связи с этим дать оценку оснащенности их специальным оборудованием не представляется возможным.

Анализ динамики произошедших дорожно-транспортных происшествий на территории ХМАО-Югра за последние 5 лет, указывает на рост количества ДТП и последствий от них. ХМАО-Югра занимает 7 место в рейтинге регионов, где на 100 000 единиц автотранспорта приходится 54 ДТП с пострадавшими, а число пострадавших (погибших и раненых) в ДТП на 100 000 жителей составляет 44 человека. На протяжении рассматриваемого периода 2023 год отмечен как пиковый по числу погибших, что является тревожным сигналом и требует дополнительных мер по повышению безопасности на дорогах [1].

Эффективное использование информационных технологий и совместных алгоритмов действий позволят значительно сократить время отклика на чрезвычайные ситуации, что уже доказано в рамках экспериментов с программами, разработанными ФГУ ВНИИ ГОЧС [2].

Оптимизация процессов реагирования обеспечивается за счет реализации программно-технического комплекса, который не только упрощает процессы маневрирования силами и средствами, но и способствует улучшению информационного обмена между участниками ликвидации последствий ДТП. Реальные примеры внедрения таких систем показывают значительное увеличение эффективности реагирования, что подчеркивает необходимость их активного использования в новой структуре управления [2].

Системы управления постом должны включать в себя как технологические, так и организационные аспекты. К ним относится создание вертолетных площадок для экстренной медицинской помощи, что особенно критично на загруженных автомагистралях, где время реагирования может означать разницу между жизнью и смертью [7]. Совместно с этими мерами важно также усилить подготовку специалистов в области оказания первой помощи и реабилитационной работы, делая акцент на быструю и эффективную помощь пострадавшим [6].

Территориальное расположение подразделений МЧС России, реагирующих на ДТП, утверждается нормативной документацией в соответствии с территориально - административным делением РФ. Размеры зон обслуживания определяются на основании статистических данных о количестве и масштабах аварий, а также возможностей подразделений МЧС России. Кроме этого, необходимо предусмотреть возможность оказания помощи сразу несколькими подразделениями или перекрытие дорожного зонами ответственности.

В целях сокращения времени реагирования на возможные чрезвычайные ситуации, связанные с дорожно-транспортными происшествиями, минимизации времени оказания помощи попавшим в беду людям ликвидации дорожно-транспортных происшествий рассмотреть возможность выделения мест под дополнительные трассовые аварийно-спасательные пункты (ТАСП) на участках автомобильных дорог общего пользования федерального и регионального значения

исходя из наличия аварийно-опасных участков и максимальной удаленности ближайших пожарно-спасательных подразделений от рассматриваемых участков.

Для обеспечения деятельности каждого ТАСП предлагается предусмотреть аварийно-спасательный автомобиль, укомплектованный необходимым аварийно-спасательным инструментом и оборудованием, а именно: гидравлическим инструментом и насосными станциями для него, (подъемными устройствами, в частности домкратами, силовыми гидравлическими цилиндрами, расширителями, резаками, кусачками, ножницами, расширитель-ножницами, спасательными эластомерными силовыми конструкциями, защитными экранами и средствами для оказания первой помощи. С учетом мест дислокации вышеуказанных ТАСП, предлагается рассмотреть вопрос создания вблизи постов - вертолётных площадок для оперативной доставки пострадавших в ДТП в лечебные учреждения, в связи с дальним расстоянием до лечебных учреждений. А также возможность дислоцирования совместно с постом личного состава и техники от «Центра медицины катастроф» для оказания своевременной первой помощи пострадавшим.

Таким образом, проектирование стационарного поста для оперативного реагирования на ДТП является сложной, но крайне важной задачей, требующей комплексного подхода. Все рассмотренные аспекты играют ключевую роль в создании эффективного механизма реагирования служб спасения на дорожно-транспортные происшествия. Реализация предложенных рекомендаций и разработок может значительно повысить уровень безопасности на дорогах и, в конечном итоге, спасти жизни людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. М. Е. Бабич, А. В. Чуваев, М. В. Мёдов Совершенствование системы реагирования пожарно-спасательных подразделений на дорожно-транспортные // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2019. №10.

2. Тхакохов А.А., Перевозчиков А.В. Предложение по оснащению спасательных подразделений для повышения эффективности реагирования на дорожно-транспортные происшествия // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. №6-3 (81).

3. Бирюков Д.С., Заславская О.В. Оптимальное размещение и комплектация аварийно-спасательных служб для реагирования на чрезвычайные ситуации // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. 2013. №39 (1012).

4. Легкова, И. А. Предложение по оптимизации сбора и выезда личного состава по тревоге / И. А. Легкова, В. П. Зарубин, В. В. Анисимова // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : Материалы VIII Международной научно-практической конференции, в 2 ч., Москва, 17–18 марта 2022 года. Том Часть 1. – Москва: Академия ГПС МЧС РФ, 2022. – С. 136-140.

5. Трусова, В. В. К вопросу современной профессиональной подготовки в области пожарной безопасности / В. В. Трусова, В. П. Зарубин // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России, Иваново, 21 апреля 2020

года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2020. – С. 432-436.

6. Шевцов, В. А. К вопросу выбора оборудования для постов технического обслуживания пожарных автомобилей / В. А. Шевцов, В. П. Зарубин // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, Иваново, 29–30 ноября 2018 года. Том Часть 1. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ, 2018. – С. 566-568.

7. Использование программы ArchiCAD при моделировании чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных объектах / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, В. П. Зарубин, Н. А. Кропотова // Актуальные проблемы пожарной безопасности : материалы XXVIII международной научно-практической конференции: в 2 частях, Ногинск, 19–20 мая 2016 года. Том Часть 1. – Ногинск: Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2016. – С. 417-421.

УДК 614.84:614.841

Д.М. Халилов, И.В. Сараев

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

АНАЛИЗ ОПЕРАТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ГОРОДА КАЗАНЬ

Аннотация: в статье проведён анализ потока выездов и временных характеристик функционирования 7-го пожарного-спасательного отряда города Казань. Рассмотрены: количество боевых выездов, среднее время следования, локализаций и ликвидаций пожара. Исследован ежемесячный поток выездов за 2024 год, что позволяет выявить динамику и нагрузку каждого подразделения в течении в течений года.

Ключевые слова: пожарно-спасательные подразделения, поток выездов, оперативное реагирование, временные характеристики, пожарно-спасательный отряд, город Казань, боевые выезды, время следования, локализация пожара.

Khalilov D.M., Saraev I.V

ANALYSIS OF THE OPERATIONAL ACTIVITIES OF FIRE AND RESCUE DEPARTMENTS IN THE CITY OF KAZAN

Abstracts: the article analyzes the flow of departures and the time characteristics of the 7th Fire and Rescue Unit in the city of Kazan. It examines the number of combat departures, the average travel time, the localization and elimination of fires. The monthly flow of departures for 2024 is studied, which allows for the identification of the dynamics and workload of each unit throughout the year.

Keywords: Fire and rescue units, flow of departures, prompt response, time characteristics, fire and rescue unit, city of Kazan, combat departures, travel time, fire localization.

Повышению эффективности деятельности пожарно-спасательных подразделений МЧС России (ПСП) посвящено множество научных исследований [1-9]. При этом загруженность ПСП может значительно различаться в зависимости от его расположения и района выезда. Поэтому целью исследования является снижение загруженности ПСП за счёт проведения анализа оперативной деятельности пожарно-спасательных подразделений города Казань и предложений по корректировке районов выезда ПСП.

Согласно проведенному анализу местного Казанского пожарно-спасательного гарнизона, пожарные формирования города входят в состав 7 ПСО ФПС ГПС и состоят из 12 пожарно-спасательных подразделений [10, 11]. На рис. 1 рассмотрим расположение пожарно-спасательных формирований в границах города Казань, входящих в состав 7 ПСО ФПС ГПС

Проведем анализ основных усредненных временных показателей оперативного реагирования пожарно-спасательных подразделений города Казань (табл. 1).

Согласно проведенному исследованию наблюдаем, что наибольшее количество боевых выездов (186) в границах города Казань пришлось на ПСЧ-6, а наименьшее (24 выезда) на ПСЧ-10. Также наибольшее среднее время следования пожарных подразделений к месту пожара приходится на ПСЧ-6, что связано с наибольшим количеством выездов, при этом наименьшее значения приходится на ПСЧ-2.

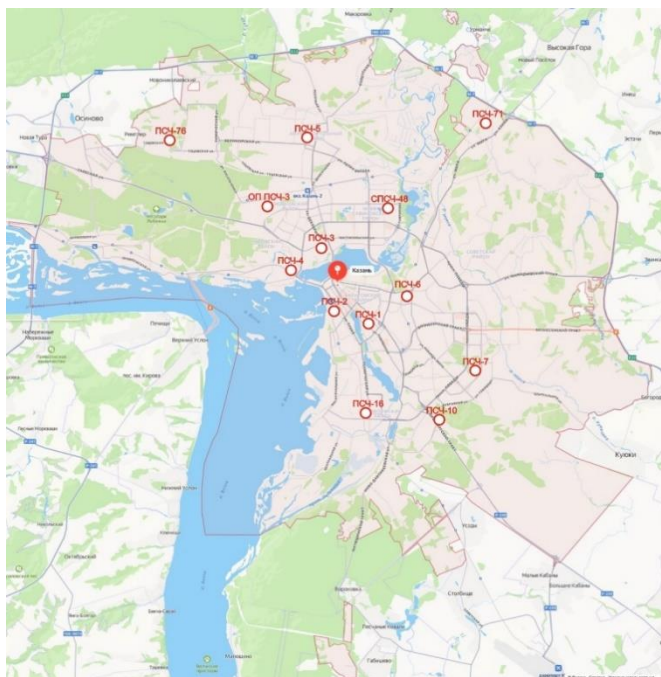


Рис. 1. Расположение пожарно-спасательных подразделений города Казань

Таблица 1. Боевая деятельность пожарно-спасательных подразделений города Казань [10, 11]

Подразделение	Кол-во боевых выездов	Ср. время следования	Ср. время локализации	Ср. время ликвидации ОГ	Ср. время ликвидации ПП	Ср. время тушения
ПСЧ-1	52	06:14	08:22	10:16	36:07	18:38
ПСЧ-2	62	04:51	05:07	04:00	17:29	09:07
ПСЧ-3	95	06:22	04:34	04:10	12:35	08:44
ПСЧ-4	75	06:22	09:35	08:16	27:36	17:51
ПСЧ-5	141	12:07	11:57	12:30	40:46	24:27
ПСЧ-6	186	33:40	16:41	17:38	41:59	34:19
ПСЧ-7	82	30:22	19:42	24:23	1:07:18	44:05
ПСЧ-10	24	07:57	14:17	13:30	31:30	27:47
ПСЧ-16	110	09:10	14:23	11:30	48:14	25:53
СПСЧ-48	109	07:08	06:05	04:41	19:40	10:46
ПСЧ-76	62	07:45	07:10	06:56	30:10	14:06
ПСЧ-71	63	08:40	07:41	06:45	25:29	14:37

Более детально рассмотрим количество боевых выездов в подразделениях по месяцам. Тем самым проведем исследование потока всех выездов пожарно-спасательных подразделений города, в том числе боевых выездов для каждой части в 2024 году и отобразим данные в табл. 2 и табл. 3 соответственно.

Для наглядности полученные данные представим в виде диаграммы на рис. 2.

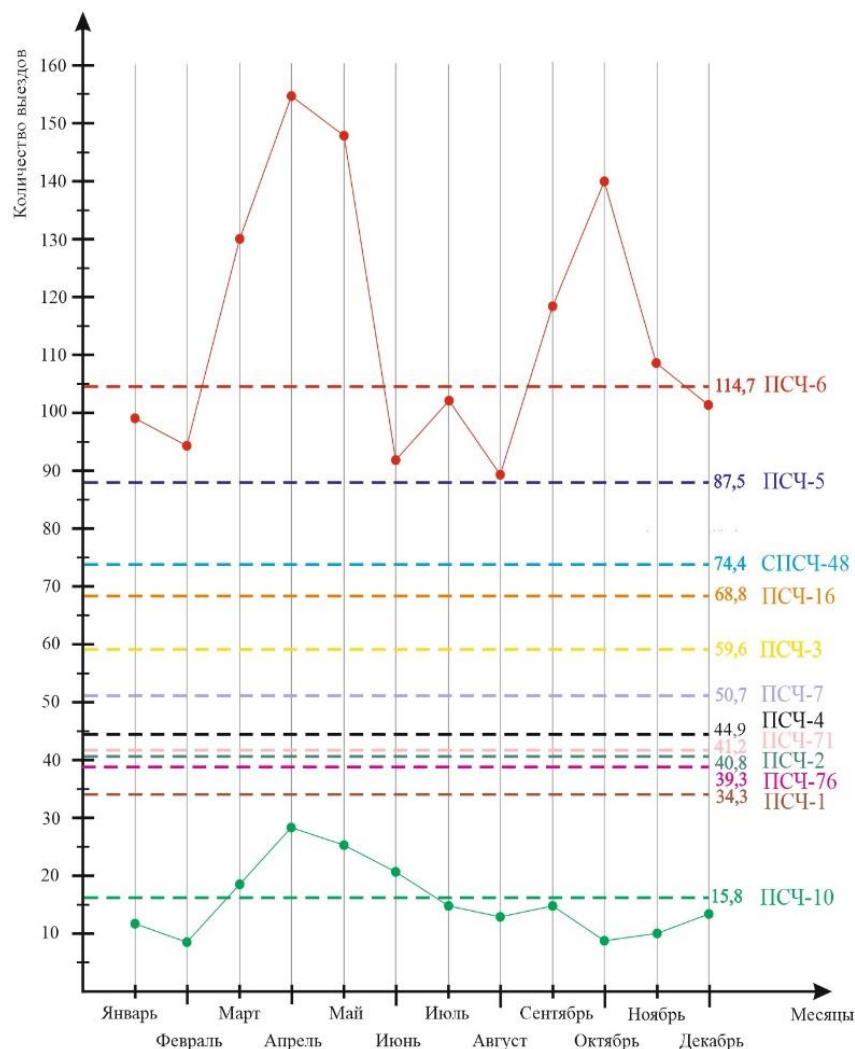


Рис. 2. Распределение всех выездов пожарно-спасательных подразделений города Казань в 2024 году

Таблица 2. Поток всех выездов пожарно-спасательных подразделений города Казань по месяцам [10, 11]

	ПСЧ-1	ПСЧ-2	ПСЧ-3	ПСЧ-4	ПСЧ-5	ПСЧ-6	ПСЧ-7	ПСЧ-10	ПСЧ-16	СПСЧ-48	ПСЧ-76	ПСЧ-71
Январь	44	48	52	32	96	99	44	12	51	77	37	30
Февраль	38	37	60	51	71	94	30	9	52	71	39	28
Март	36	46	69	44	88	130	37	18	74	63	44	55
Апрель	32	29	68	43	111	155	66	29	77	101	32	37
Май	57	37	70	50	128	148	81	26	91	90	36	52

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

	ПСЧ-1	ПСЧ-2	ПСЧ-3	ПСЧ-4	ПСЧ-5	ПСЧ-6	ПСЧ-7	ПСЧ-10	ПСЧ-16	СПСЧ-48	ПСЧ-76	ПСЧ-71
Июнь	37	44	59	37	74	91	96	21	68	62	44	55
Июль	25	37	43	37	91	103	45	15	74	68	52	29
Август	23	48	66	64	96	88	41	13	59	61	37	37
Сентябрь	26	39	74	66	73	118	59	15	61	67	33	33
Октябрь	30	56	63	37	66	140	41	9	68	74	45	56
Ноябрь	27	37	51	37	82	109	38	10	93	88	36	49
Декабрь	37	32	40	41	74	101	30	13	57	71	37	33
ВСЕГО	412	490	715	539	1050	1376	608	190	825	893	472	494
	8064											

Таблица 3. Поток боевых выездов пожарно-спасательных подразделений города Казань по месяцам [10, 11]

	ПСЧ-1	ПСЧ-2	ПСЧ-3	ПСЧ-4	ПСЧ-5	ПСЧ-6	ПСЧ-7	ПСЧ-10	ПСЧ-16	СПСЧ-48	ПСЧ-76	ПСЧ-71
Январь	6	7	5	4	13	10	6	1	5	9	5	4
Февраль	3	5	9	7	8	12	4	0	3	9	5	4
Март	3	7	12	6	12	19	5	3	10	6	6	8
Апрель	4	1	8	6	15	21	9	5	11	14	3	5
Май	8	5	11	7	20	24	11	4	15	12	3	8
Июнь	5	6	8	5	10	10	13	3	9	8	6	7
Июль	3	5	5	5	12	14	6	2	10	7	7	5
Август	2	7	9	10	13	12	6	0	7	7	5	5
Сентябрь	3	3	10	9	6	16	8	2	8	6	5	5
Октябрь	6	8	11	5	9	19	5	1	10	10	6	7
Ноябрь	4	5	3	5	13	15	5	1	14	11	4	5
Декабрь	5	3	4	6	10	14	4	2	8	10	4	5
ВСЕГО	52	62	95	75	141	186	82	24	110	109	59	68
	1063											

Для наглядности полученные данные представим в виде диаграммы на рис. 3.

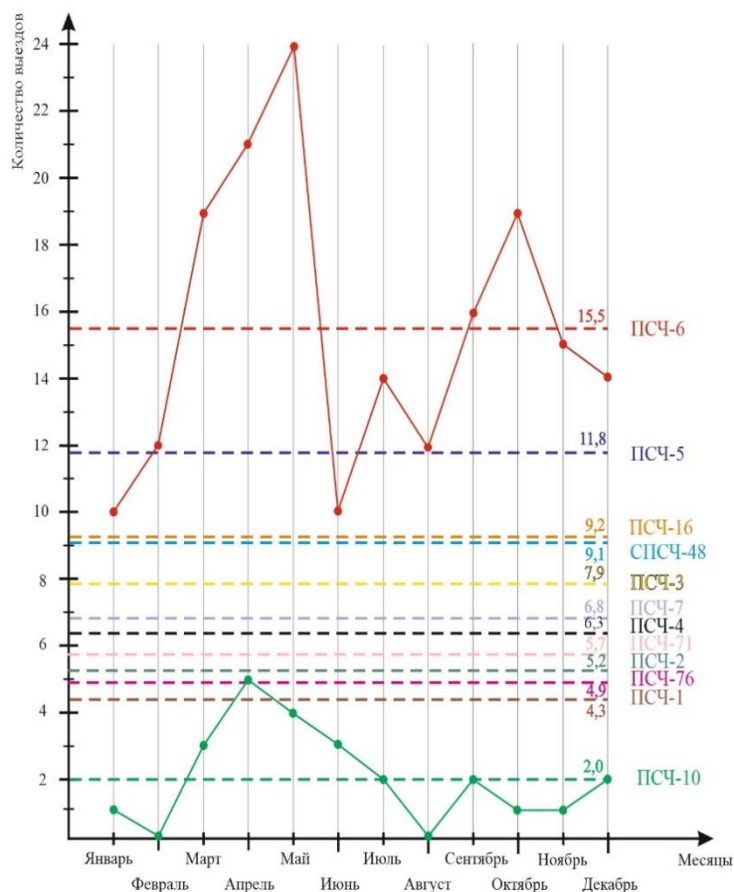


Рис. 3. Распределение боевых выездов пожарно-спасательных подразделений города Казань в 2024 году

Дальнейшему анализу подвергнутся две пожарно-спасательные части наиболее и наименее «загруженными». Под «загруженностью» понимается число боевых выездов в единицу времени (за год). Исходя из представленных данных проведенного исследования определено, что наиболее «загруженной» является 6 ПСЧ, а наименее «загруженной» 10 ПСЧ. При дальнейшем исследовании оперативной деятельности пожарно-спасательных подразделений города Казань будут предложены мероприятия по перераспределению нагрузки между вышеуказанными ПСЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности восстановления технической готовности напорных пожарных рукавов / И. В. Сараев, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов, А. А. Краснов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2025. – № 2(416). – С. 294-301. – DOI 10.47367/0021-3497_2025_2_294.
2. Заполнение пенообразователем резервуаров мобильной техники / А. Д. Семенов, А. Г. Бубнов, И. В. Сараев, А. О. Семенов // Российский химический журнал. – 2025. – Т. 69, № 2. – С. 120-128. – DOI 10.6060/rcj.2025692.14.
3. Сараев, И. В. Алгоритм боевых действий по тушению пожара на автомобильном транспорте / И. В. Сараев, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов // Технологии техносферной безопасности. – 2025. – № 3(109). – С. 59-73. – DOI 10.25257/TTS.2025.3.109.59-73.

4. Анализ конструктивных особенностей и способов заполнения пенобака пожарного автомобиля / А. П. Губанов, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов, И. В. Сараев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2025. – № 2(55). – С. 40-47.

5. Патент на полезную модель № 224906 U1 Российская Федерация, МПК А62С 33/00, В21J 15/38, В21J 15/46. приспособление для оперативного ремонта напорных пожарных рукавов : № 2024100692 : заявл. 10.01.2024 : опубл. 08.04.2024 / И. В. Сараев.

6. Рымаров, Д. С. Разработка технического решения по повышению эффективности ранцевых огнетушителей для тушения лесных и ландшафтных пожаров / Д. С. Рымаров, И. В. Сараев // Надежность и долговечность машин и механизмов : Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2024 года. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы МЧС РФ, 2024. – С. 210-213.

7. Сараев, И. В. Методический подход для обоснования оснащения подразделений пожарной охраны средствами индивидуальной защиты органов дыхания и зрения / И. В. Сараев, А. Г. Бубнов, А. Д. Семенов // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – № 12. – С. 72-78. – DOI 10.24000/0409-2961-2024-12-72-78.

8. Долгих, Е. С. Анализ надежности средств индивидуальной защиты органов дыхания пожарных / Е. С. Долгих, А. Г. Бубнов, И. В. Сараев // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2024. – № 2. – С. 23-33. – DOI 10.61260/2218-130X-2024-2-23-33.

9. Семенов, А. Д. Оценка тактико-технических характеристик модернизированного противопожарного ранца / А. Д. Семенов, А. Г. Бубнов, И. В. Сараев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – № 4(53). – С. 39-48.

10. Итоги деятельности Главного управления МЧС России по Республике Татарстан за 2024 год. Казань. МЧС России, 2025. 153 с.

11. Пожары и пожарная безопасность в 2024 г. Статистика пожаров и их последствий: информационно-аналитический сборник. Балашиха: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. 112 с.

УДК 66.063.8

О.В. Чагин, В.А. Васильев, М.Ю. Колобов

Ивановский государственный химико-технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ СОВМЕСТНО С RFID-МЕТКАМИ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ В ПРОСТРАНСТВЕ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация: Статья посвящена применению дополненной реальности для ориентации в пространстве по RFID-меткам в условиях задымления, туманообразования и затенения. Применение данной технологии позволяет осуществлять ориентацию в пространстве при отсутствии визуального контакта с элементами окружающей обстановки на основе построения объектов окружающей обстановки методами дополненной реальности.

Ключевые слова: осложненные условия, ориентация в пространстве, дополненная реальность, RFID-метки

O.V. Chagin, V.A.Vasiliev, M.Yu. Kolobov

USE OF ADDITIONAL REALITY IN COMBINATION WITH RFID TAGS FOR SPATIAL ORIENTATION IN COOL CONDITIONS

Abstract: The article is devoted to the use of augmented reality for spatial orientation using RFID tags in conditions of smoke, fog and shading. The use of this technology allows for orientation in space in the absence of visual contact with elements of the environment based on the construction of environmental objects using augmented reality methods.

Keywords: difficult conditions, spatial orientation, augmented reality, RFID tags

Дополненная реальность – это среда, в реальном времени дополняющая физический мир, каким мы его видим, цифровыми данными с помощью каких-либо устройств - планшетов, смартфонов или других, и программной части. В дополненной реальности виртуальные объекты проецируются на реальное окружение. Виртуальная реальность создает свой мир, куда может погрузиться человек, а дополненная добавляет виртуальные элементы в мир реальный. Выходит, что ВиАр взаимодействует лишь с пользователями, а ЭйАр - с всем внешним миром [1-3].

Применение дополненной реальности (AR) при ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) значительно повышает эффективность спасательных работ за счет наложения цифровых данных на реальное окружение. Технология помогает находить пути эвакуации, идентифицировать коммуникации, проводить видеоконференции в реальном времени и моделировать ситуацию для быстрого принятия решений.

Основные направления применения AR при ЧС:

- **Навигация и визуализация:** Использование HMD-устройств (шлемов) позволяет спасателям видеть пути эвакуации, планы зданий и расположение опасных объектов поверх реальной картинки.

- **Управление операциями:** Координация действий подразделений в реальном времени, видеоконференцсвязь между спасателями на месте ЧС и штабом.

- **Оценка обстановки:** Моделирование «обстановки в зоне ЧС», включая отображение зон задымления, пожаров или угрозы обрушения.

- **Обучение и тренировки:** Создание симуляций ЧС для профессиональной подготовки персонала, моделирование ситуационных задач.

Преимущества использования AR:

- **Сокращение времени** принятия решений за счет оперативного получения информации.

- **Повышение безопасности** спасателей за счет информирования о скрытых угрозах.

- **Визуализация скрытых объектов**, например, коммуникаций за стенами, с использованием электронных паспортов зданий.

AR-технологии позволяют эффективнее осуществлять поиск пострадавших и деблокирование, что критически важно в первые минуты после происшествия/

Для позиционирования в пространстве в осложненных условиях, когда объекты скрываются дымом, пылью, туманом и другими неблагоприятными условиями, предлагается использовать так называемые RFID-метки. А для улучшения радио контрастности поле, на котором располагается данная метка, покрывается краской, поглощающее электромагнитное излучение. Данные метки наклеиваются на объекты, или вблизи их, и несут информацию о местоположении объекта в пространстве, его назначении, а также позволяют на основе этой информации достроить на HMD-устройстве геометрию объекта, скрытого от глаз наблюдателя неблагоприятными факторами окружающей среды.

Надо отметить, что плохие условия окружающей среды для современных RFID-меток не являются фактором риска. Всепогодность, устойчивость к перепадам температур, в том числе, воздействие экстремальных температур и ультрафиолетовых лучей – уже не считаются чем-то уникальным для данного типа меток.

Практически все RFID-продукты нового поколения сейчас проектируются чаще всего с индексом IP (Ingress Protection Rating, англ. – степень защиты от проникновения) на уровне 68, что означает полную защиту от пыли и воды. Это обеспечивается большим выбором и высоким качеством исходных материалов, комбинация которых и даёт такой эффект. У каждого производителя в арсенале имеется свой собственный уникальный набор различных пластиков – поликарбонат, полипропилен, АВС, эластомер и т.д. Путём расчётов и экспериментов под разные изделия подбирается отдельный состав ингредиентов с учётом тех условий, в которых будет эксплуатироваться. Компоненты, из которых состоит корпус современной метки, позволяют сделать её низкобюджетным продуктом, при этом она имеет компактный размер и обеспечивает достаточно большую дальность считывания для меток подобного типа – до 15 м.

RFID-метки активно применяются в чрезвычайных ситуациях (ЧС) для повышения эффективности эвакуации, поиска людей, учёта пострадавших и управления ресурсами. Эта технология позволяет бесконтактно считывать данные с меток, закреплённых на объектах или людях, что особенно важно в условиях ЧС.

RFID-метки используют для автоматизации учёта людей при эвакуации из зданий при пожаре или задымлении. Например, самоспасатели (средства защиты органов дыхания и зрения) могут маркироваться RFID-метками. При срабатывании сигнала тревоги сотрудник берёт закреплённый за ним самоспасатель и покидает здание. На выходе ответственный сотрудник со считывающим устройством (мобильным терминалом) фиксирует метки, что позволяет в режиме реального времени определить количество эвакуированных и предположить, сколько человек осталось в здании. Точность определения местоположения человека может достигать 10 метров.

В заключении можно сказать, что первые опыты по применению дополненной реальности совместно с RFID-метками для ориентации в пространстве в осложненных условиях дали обнадеживающие результаты. Что позволило авторам подать заявки на изобретение для данной технологии, а также для краски, поглощающей электромагнитное излучение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыкова Е.С. Технология RFID в логистике научная статья по специальности «Экономика и бизнес».

2. Zara B. Its Business Around RFID 'Fast Fashion' Meets Smarter Inventory; Retailer Learns From Others' Wall Street Journal Business Section (Sept 2014).

3. Серов Т.Д. Основные этапы цифровизации логистической деятельности предприятия // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2019. - № 12-3 (58). – С.51-55.

УДК 614.8:004.8:629.7

Р.А. Юрченко

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЕМ ЛИКВИДАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ БАС

Аннотация: В статье предложен подход к поддержке принятия управленческих решений руководителем ликвидации чрезвычайной ситуации на основе данных интеллектуальной беспилотной авиационной системы. Предложена схема «ИБАС – сайт – искусственный интеллект – рекомендации». Показано, что автоматизированная обработка телеметрии, визуальных и тепловизионных данных позволяет формировать прогнозы обстановки и повышать оперативность управления в условиях ЧС.

Ключевые слова: РЛЧС, ИБАС, телеметрия, мониторинг, прогнозирование, рекомендации, искусственный интеллект.

R.A. Yurchenko

DECISION SUPPORT FOR THE HEAD OF EMERGENCY RESPONSE BASED ON DATA FROM AN INTELLIGENT UNMANNED AIRCRAFT SYSTEM

Abstract: The article examines an approach to decision support for the head of emergency response operations based on data from an intelligent unmanned aircraft system. The scheme «IUAS – website – artificial intelligence – recommendations» is proposed. Automated processing of telemetry, visual, and thermal imaging data enables situation forecasting and improves the efficiency of operational management during emergencies.

Keywords: emergencies, decision-making, IUAS, telemetry, monitoring, forecasting, recommendations.

Введение

В современных условиях ликвидации чрезвычайных ситуаций эффективность действий руководителя ликвидации чрезвычайной ситуации во многом определяется полнотой, достоверностью и оперативностью поступающей информации [6, 7]. При пожарах, техногенных авариях и природных опасностях обстановка изменяется динамично, поэтому задержка в получении данных снижает обоснованность управленческих решений и повышает риск потери времени и ресурсов [8, 10]. Одним из наиболее перспективных средств оперативного мониторинга являются беспилотные авиационные системы, позволяющие получать телеметрические, визуальные и

тепловизионные данные из опасной зоны без непосредственного пребывания личного состава в районе воздействия поражающих факторов [1-4]. Однако практическая ценность таких данных определяется не только фактом их получения, но и возможностью последующей автоматизированной обработки, интеграции на веб-платформе и аналитической интерпретации [5, 9, 12]. В этой связи возрастает роль алгоритмов искусственного интеллекта, способных выявлять признаки развития обстановки, формировать прогнозы и предлагать руководителю ликвидации чрезвычайной ситуации возможные варианты действий [9, 10].

Целью статьи является обоснование подхода к построению контура поддержки принятия управленческих решений на основе данных интеллектуальной БАС, сайта визуализации и интеллектуального модуля обработки. Предлагаемый подход ориентирован на сокращение времени оценки обстановки и повышение качества управления. Его реализация позволяет перейти от простого наблюдения к интеллектуальному сопровождению РЛЧС, при котором первичные сведения преобразуются в рекомендации, прогнозные оценки и основания для выбора приоритетных оперативных действий [5, 9, 10].

Научная новизна работы заключается в предложении контура преобразования телеметрических, визуальных и тепловизионных данных интеллектуальной БАС в структурированные прогнозные выводы и рекомендации для РЛЧС

Обоснование актуальности темы

Актуальность темы обусловлена необходимостью повышения оперативности и обоснованности решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций. В условиях дефицита времени, высокой неопределенности и быстро меняющейся обстановки РЛЧС нуждается в достоверных данных о развитии опасных факторов [6, 7, 10]. Беспилотные авиационные системы позволяют выполнять дистанционный мониторинг и получать телеметрические, визуальные и тепловизионные данные без риска для личного состава [1-5]. Однако большой объем информации требует автоматизированной обработки и интеллектуального анализа [9, 12]. Использование контура «ИБАС – сайт – искусственный интеллект» способствует формированию прогнозов и рекомендаций, сокращает время оценки обстановки и повышает качество управления [5, 9, 10].

Материалы и методы исследования

В работе рассматривается контур поддержки принятия управленческих решений руководителем ликвидации чрезвычайной ситуации на основе данных интеллектуальной беспилотной авиационной системы. Объектом исследования является процесс информационного обеспечения управления в зоне ЧС, предметом исследования — методы преобразования телеметрических, визуальных и тепловизионных данных в рекомендации и прогнозные оценки, пригодные для использования РЛЧС [1–5, 9, 10].

Методическая основа исследования включает структурно-функциональный анализ контура «ИБАС – сайт – модуль интеллектуальной обработки – пользовательский интерфейс», а также подход к выделению информативных признаков обстановки по поступающим данным. В качестве исходной информации рассматриваются координаты, параметры полета, видеопоток, тепловизионные данные и временные характеристики изменений наблюдаемой обстановки. Обработка данных

ориентирована на выявление признаков опасного развития ситуации, оценку уровня риска и формирование прогнозных выводов для поддержки управленческих решений в реальном времени [5, 9, 12].

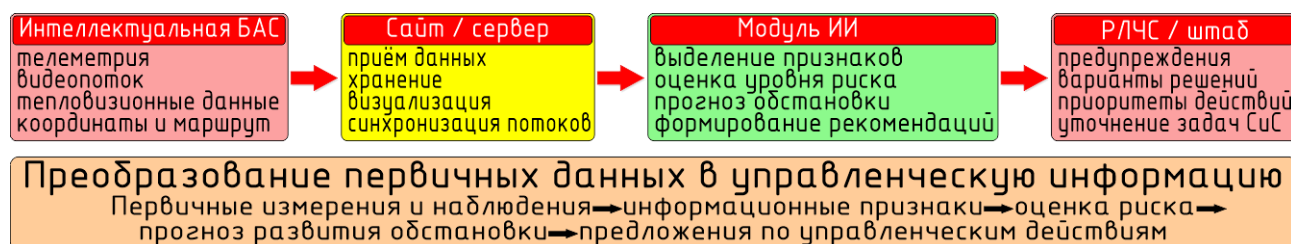


Рисунок. Функциональная схема поддержки принятия управленческих решений на основе данных интеллектуальной БАС

Результаты: формирование информационных признаков и прогнозных выводов

В результате анализа данных, поступающих от интеллектуальной БАС, установлено, что наибольшее значение для поддержки принятия управленческих решений имеют не исходные телеметрические, визуальные и тепловизионные данные сами по себе, а формируемые на их основе информационные признаки обстановки. К таким признакам относятся координаты и границы контролируемого участка, наличие и интенсивность тепловых аномалий, динамика изменения температуры, визуальные признаки задымления и горения, а также изменение площади опасной зоны во времени [1–5]. Их интеграция на сайте обеспечивает переход от разрозненных измерений к единому информационному представлению обстановки, пригодному для последующей интеллектуальной обработки [9, 12].

Таблица. Преобразование данных интеллектуальной БАС в управленческие предложения

Вид данных	Выделяемый признак	Аналитический вывод	Предложение РЛЧС
Телеметрия полета	координаты, высота, сектор наблюдения	уточнение зоны контроля	назначить приоритетный участок разведки
Тепловизионные данные	рост температуры, локальное тепловое пятно	возможный прогрев конструкций	ограничить работу сил в опасной зоне
Видеопоток	усиление дымовыделения, открытое горение	рост интенсивности пожара	скорректировать расстановку сил и средств
Данные во времени	увеличение площади опасной зоны	неблагоприятная динамика	провести повторную разведку, предупредить штаб
Сводная оценка ИИ	уровень риска: низкий / средний / высокий	прогноз развития обстановки	выдать предупреждение и вариант решения

На следующем этапе модуль искусственного интеллекта выполняет классификацию выявленных признаков по уровням риска и формирует прогнозные выводы, ориентированные на использование РЛЧС. В качестве выходной информации могут быть сформированы предупреждения о росте интенсивности опасных факторов, расширении опасной зоны, вероятности дальнейшего ухудшения обстановки и необходимости уточняющей разведки [5, 9, 10]. Таким образом, результатом обработки становится не только визуализация текущего состояния объекта, но и выдача структурированных рекомендаций, обеспечивающих сокращение времени оценки обстановки и повышение обоснованности управленческих решений в зоне чрезвычайной ситуации [9, 10, 12].

Обсуждение: практическая значимость для управления в ЧС

Практическая значимость предлагаемого подхода заключается в повышении оперативности, обоснованности и адресности управленческих решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций. Использование интеллектуальной БАС в сочетании с веб-платформой и модулем искусственного интеллекта позволяет организовать непрерывный цикл получения, передачи, обработки и интерпретации данных, необходимых для оценки текущей обстановки и прогнозирования ее развития [5, 9, 12]. При этом речь идет не только о расширении возможностей дистанционного наблюдения, но и о создании единого информационно-аналитического контура, в рамках которого первичные данные преобразуются в форму, непосредственно пригодную для управленческого использования.

В отличие от традиционного наблюдения, при котором руководитель вынужден самостоятельно сопоставлять разрозненные сведения, поступающие из различных источников, предложенный контур обеспечивает автоматизированное преобразование телеметрических, визуальных и тепловизионных данных в структурированные предупреждения, уровни риска и рекомендации по действиям [8–10]. Это особенно важно в условиях дефицита времени, высокой неопределенности и быстро меняющейся оперативной обстановки, когда задержка в анализе информации может привести к снижению эффективности управления силами и средствами. Автоматизация предварительной аналитической обработки позволяет уменьшить когнитивную нагрузку на РЛЧС и сосредоточить внимание на выборе приоритетных решений, а не на первичном разборе больших массивов поступающих данных [9, 10].

Для РЛЧС практический эффект выражается в сокращении времени на оценку обстановки, более точном определении приоритетных участков разведки, своевременном выявлении опасных зон и повышении согласованности управления силами и средствами [6, 7, 10]. Существенным преимуществом является также возможность оперативного уточнения границ опасного воздействия, фиксации неблагоприятной динамики и выявления признаков, требующих немедленного реагирования. В результате повышается качество информационного обеспечения управления, а принимаемые решения приобретают более обоснованный и адресный характер.

Кроме того, формирование прогнозных выводов на основе данных ИБАС создает условия для перехода от реактивного управления к упреждающему, что особенно важно при динамичном развитии пожара или иной чрезвычайной ситуации [1–5]. Возможность раннего выявления признаков ухудшения обстановки позволяет не только своевременно корректировать действия подразделений, но и заранее планировать перераспределение сил, уточнение маршрутов выдвижения, изменение приоритетов

наблюдения и проведение повторной разведки наиболее опасных участков. Таким образом, система обладает прикладной значимостью как инструмент информационно-аналитической поддержки управления в ЧС, ориентированный на повышение устойчивости и эффективности работы РЛЧС в сложной оперативной обстановке [9, 10, 12].

Заключение

В статье рассмотрен подход к поддержке принятия управленческих решений руководителем ликвидации чрезвычайной ситуации на основе данных интеллектуальной беспилотной авиационной системы. Показано, что практическая ценность применения ИБАС определяется не только возможностью дистанционного получения телеметрических, визуальных и тепловизионных данных, но и организацией их последующей интеграции, автоматизированной обработки и аналитической интерпретации в интересах управления силами и средствами в зоне ЧС [1–5].

Установлено, что наибольшую значимость для РЛЧС имеют не исходные массивы данных, а формируемые на их основе информационные признаки: пространственные характеристики опасной зоны, динамика температурных аномалий, признаки задымления и горения, а также изменения обстановки во времени. Их обработка с использованием веб-платформы и модуля искусственного интеллекта позволяет перейти от разрозненного наблюдения к формированию структурированных предупреждений, прогнозных выводов и рекомендаций по управленческим действиям [5, 9, 12].

Практическая значимость предложенного подхода заключается в сокращении времени оценки обстановки, повышении обоснованности принимаемых решений, более точном определении приоритетных участков разведки и своевременном выявлении опасных зон. Это создает предпосылки для перехода от реактивного реагирования к упреждающему управлению, что особенно важно при быстром развитии пожаров и иных чрезвычайных ситуаций [6–10]. Предлагаемый контур «интеллектуальная БАС – сайт – искусственный интеллект – рекомендации РЛЧС» может рассматриваться как перспективное направление развития информационно-аналитических средств обеспечения управления в ЧС [9, 10, 12].

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением перечня анализируемых признаков, повышением достоверности автоматического распознавания опасных состояний, совершенствованием алгоритмов прогнозирования развития обстановки, а также с разработкой механизмов адаптивной выдачи рекомендаций в зависимости от типа чрезвычайной ситуации и текущей тактической задачи. Дополнительное развитие данного направления позволит повысить эффективность информационной поддержки РЛЧС и качество управления при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций [5, 9, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорова, М. А. Задачи беспилотных авиационных систем при мониторинге зон чрезвычайных ситуаций / М. А. Григорова, А. Г. Крадинов // Совершенствование авиационно-спасательных технологий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : сборник трудов XXXV Международной научно-практической конференции,

Химки, 26 февраля 2025 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, 2025. – С. 34–41. – EDN AENXBK.

2. Крадинов, А. Г. Анализ перспектив расширения функционала БАС в ЧС / А. Г. Крадинов, А. Н. Ханина, Т. Р. Ахатов // Применение авиационно-спасательных технологий при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций : сборник трудов секции № 24 XXXII Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2022 года. – Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. – С. 23–28. – EDN QWMBPO.

3. Ахмедьянов, А. Р. Анализ применения БВС при разведке пожара / А. Р. Ахмедьянов, А. Г. Крадинов // Применение авиационно-спасательных технологий для предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций : сборник трудов секции XXXIV Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2024 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д. И. Михайлика, 2024. – С. 12–17. – EDN JJGHDY.

4. Кузнецов, А. В. Технологии дистанционного мониторинга крупных пожаров с использованием беспилотных авиационных систем : монография / А. В. Кузнецов, Н. Г. Топольский, М. О. Баканов [и др.]. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 124 с. – ISBN 978-5-6042853-5-0.

5. Мартемьянов, С. И. Применение беспилотных летательных аппаратов для поддержки управления противопожарными действиями в условиях чрезвычайных ситуаций / С. И. Мартемьянов, О. С. Маторина, О. В. Стрельцов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 1(139). – С. 112–120. – DOI 10.23670/IRJ.2024.139.5.

6. Ничепорчук, В. В. Информационное обеспечение управления природно-техногенной безопасностью // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2016. – № 1. – С. 49–54.

7. Ничепорчук, В. В. Системный анализ информационных потоков органов управления РСЧС регионального уровня / В. В. Ничепорчук, А. В. Яровой // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2016. – № 2. – С. 41–46.

8. Коморовский, В. С. Информационная система поддержки принятия решений подразделениями МЧС России при угрозе природных пожаров // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2016. – № 1. – С. 19–24.

9. Ноженкова, Л. Ф. Технологии комплексной поддержки управления природно-техногенной безопасностью / Л. Ф. Ноженкова, В. В. Ничепорчук // Вычислительные технологии. – 2023. – Т. 28, № 4. – С. 109–121. – DOI 10.25743/IST.2023.28.4.009.

10. Апарин, А. А. Базовые положения поддержки принятия решений при управлении подразделениями пожарной охраны // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – Вып. 3(93). – С. 88–102. – DOI 10.25257/TTS.2021.3.93.88-102.

11. Брушлинский, Н. Н. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе : учебник / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов. – Москва: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 173 с.

12. Бабенышев, С. В. Информационные технологии поддержки принятия решений в чрезвычайных ситуациях : учебное пособие / С. В. Бабенышев, Е. Н. Матеров. – Железногорск: ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2024. – 145 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, МЕХАНИЗМОВ, АГРЕГАТОВ, МАШИН

<i>Байлагасов Е.А., Сержинмаа А.А., Куртов С.О.</i> Методы повышения надежности и долговечности пожарных автомобилей путем совершенствования системы технического обслуживания	3
<i>Бараиш А.Л.</i> Адаптивные методы прогнозирования надежности машин.....	8
<i>Борисов А.В., Малышев В.А.</i> Система показателей качества базового шасси пожарных автомобилей	12
<i>Будакова В.М., Бершанская Е.С., Дюльдина А.Н., Чекан Г.В.</i> Надежность систем измерения и контроля на АЭС и ТЭС.....	19
<i>Горбунов Н.Д., Киян П.И., Котков К.Т., Чекан Г.В.</i> Надежность автотрансформатора АТМН на Белоярской АЭС	23
<i>Деменчук И.А., Гавриленко М.А., Белов А.С.</i> Применение аддитивных технологий для восстановления критически нагруженных деталей пожарной техники: увеличение ресурса и сокращение простоев	27
<i>Жирнова Е.А., Снежко А.А.</i> Обеспечение надежности на основе расчета неопределенности при калибровке Fluke 5502E многофункционального калибратора	32
<i>Зотова А.М., Белов А.С.</i> Исследование проблемы уровня качества пожарно-технического вооружения в подразделениях пожарной охраны малых сельских населённых пунктов	38
<i>Капов Р.Р., Иванов В.Е.</i> Анализ герметиков резьбы для защиты резьбовых соединений пожарных автомобилей	41
<i>Каприльянц А.А., Ведерникова И.И.</i> Влияние термической обработки на прочность детали	46
<i>Косарев А.Д., Чекан Г.В.</i> Повышение надежности оборудования в условиях эксплуатации атомных станций	50
<i>Нагорнов И.В., Зарубин В.П.</i> К вопросу повышения качества подготовки металлических деталей пожарных автомобилей под покраску	53
<i>Пучков П.В., Покровский А.А.</i> Повышение работоспособности резьбовых соединений за счет применения консистентных смазочных материалов.....	58
<i>Резанов Я.А., Егоров С.А.</i> Проектирование защиты трубопроводов охлаждения электростанций от электрохимической коррозии	62
<i>Сырейщиков Н.А., Кнутов М.С.</i> Разработка и внедрение системы термоизоляции основного силового агрегата пожарной техники для повышения эксплуатационной надежности	65

Тазбаев Х.В., Кропотова Н.А. Инженерные решения по снижению химического сопротивления деталей машин при их эксплуатации	69
Татаринцев В.А. Оценка характеристик надежности элементов транспортных машин при различных видах отказов	75
Яблоков К.П., Волков И.В., Чекан Г.В. Обеспечение надежности электроснабжения панелей питания электрооборудования систем противопожарной защиты	80

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И КОНСТРУИРОВАНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ. МОДЕЛИРОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ, АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Алиев Э.Ф. оглы, Кропотова Н.А. Разработка канавного подъемника и роликового ложементов для облегчения ремонта пожарной техники в пожарно-спасательной части	86
Альбах В.А. Универсальная система впрыска топлива F.I 1.3.....	91
Батенков К.А., Козленко А.В. Анализ систематической ошибки измерения RTT в переходных режимах работы сетевых узлов	93
Беляков О.А., Кропотова Н.А. Анализ технического состояния пожарной техники. Предложения по созданию единой информационной системы данных состояния техники в гарнизоне.....	97
Волокушин Р.В., Бараиш А.Л. Методы прогноза и коррекции при прогнозировании надежности механических систем	102
Воробьев П.А., Ноздрин М.А. Пути совершенствования современных теплообменных аппаратов	106
Гарелина С.А., Скрынников А.Ю. Подвижный комплекс локализации и переработки нефти и нефтесодержащих отходов при чрезвычайных ситуациях	110
Грачев И.А., Казаков Ю.Б. Возможности многофакторной диагностики электромагнитных повреждений турбогенератора	115
Губанов А.П., Бубнов А.Г., Семенов А.Д. Процесс заполнения пенобаков пожарных автомобилей: анализ существующих проблем и перспективы внедрения новых технологий	119
Данилов С.П., Бобраков Е.Ю., Топоров А.В. Разработка фрикционного устройства для самоспасения	124
Зайцев А.В., Легкова И.А. Предложения по выбору специального оборудования для ремонта пожарных автомобилей	127
Каприльянц А.А., Ведерникова И.И. Автоматизированное проектирование зуборезного инструмента в САД системе КОМПАС–3д	131
Каприльянц А.А., Павлюкова Н.Л. Разработка конструкции машины для литья пластика под давлением	134
Колобов М.Ю., Кокурина Г.Н., Сахарова С.Г., Колобова В.В. Влияние технологических параметров на эффективность очистки суспензии.....	138

Колобов А.Б., Огурцов Ф.Б. Моделирование динамических процессов в подшипнике качения	142
Коломенский А.Б., Шахов С.В., Коломенский Б.А., Емельянов И.И. О работоспособности сварных соединений из низколегированных титановых сплавов.....	146
Копосов В.Н., Романов А.В., Левинский Д.А. Влияние компоновочных решений автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС на число управляемых координат технических средств транспортирования инструментов .	150
Котов Ю.Ю., Топоров А.В. Разработка приспособлений для ремонта и обслуживания напорных пожарных рукавов	154
Кочетова А.А., Тельманова М.А., Ноздрин М.А. Исследование влияния термомеханических характеристик материалов в конструкциях теплообменных аппаратов	159
Кузнецов Я.М., Фомичев Л.Ю., Фомичев Ю.Н. Автоматизация испытаний и диагностики противопожарных систем как фактор повышения их надежности на объектах хранения нефти и нефтепродуктов.....	163
Кукушкина В.А., Нартова А.П. Современные тенденции развития композитных материалов	167
Куртов С.О. Определение граничных параметров безопасной работы центробежного пожарного насоса при перекачке воды по схеме «из насоса в насос»	170
Лацев Я.Х-Х., Топоров А.В. Разработка устройства для транспортировки узлов и агрегатов при проведении ремонта пожарной техники	173
Лашкин М.Д., Топоров А.В., Легкова И.А. Разработка работа шарнирно-сочлененной конструкции.....	177
Легкова И.А., Зарубин В.П., Никифоров А.Л. Исследование прочности отремонтированного участка пожарного рукава.....	181
Леонова П.А., Пучков П.В. Разработка проекта самоходной роботизированной платформы на колесном движителе для транспортировки пострадавших из зоны ЧС	185
Марков А.И., Натарева С.В. Математическое моделирование процесса абсорбции в насадочном абсорбере	190
Межидов И.И., Зарубин В.П. Усовершенствование конструкции подъемных устройств для решения задач по техническому обслуживанию пожарных автомобилей.....	195
Мельчаков В.Г., Иванов В.Е. Эргономическое проектирование и подготовка к прочностному анализу многофункционального пожарного инструмента в среде NanoCAD	199
Менделеев Д. И., Потапов А. А., В.Г. Кашин Вопросы организации эксплуатации и контроля первичных средств пожаротушения на производственном объекте	204

Муратов И.В., Натарева С.В. Расчет подогревателя для органической жидкости	209
Муртазина И.Ч., Ведерникова И.И. Повышение качества литых заготовок путем целенаправленного введения легирующих и модифицирующих добавок	213
Наумов И.И. Особенности эксплуатации пожарной и аварийно-спасательной техники в ГУ МЧС России по Иркутской области.....	218
Нидличев Э.А., Кропотова Н.А. Инженерно-технические решения по усовершенствованию поста технического обслуживания и ремонта пожарной техники.....	223
Павлова К.А., Белов А.С. Перспективные материалы пожарной безопасности.....	229
Пеньков И.А., Хиль Е.И., Григорьев А.В. Научное обоснование тактико-технических характеристик робототехнического средства для тушения пожаров.....	232
Постникова И.В., Колобов М.Ю. Влияние технологических параметров на эффективность разделения пылевоздушной смеси в циклоне	236
Сайкин М.С. Выбор параметров магнитного поля магнитожидкостного уплотнителя на основе эксплуатационных требований	239
Сафонова Н.Л., Кузнецова Н.Н. Обзор тестирования систем на кристалле со смешанными сигналами	243
Ситников Е.В., Иванов В.Е. Сравнительный анализ программных комплексов для проектирования теплодымокамер в условиях импортозамещения	247
Скоморохов А.Д., Сараев И.В. Применение комплексного критерия относительной общей пользы для определения наиболее предпочтительного ГАСИ	252
Смирнова Ю.М. Возможности использования мощных электрических полей в процессе создания алмазоподобных покрытий	259
Сооц В.Ю., Дашкевич Е.И. Особенности передачи телеметрических данных с интеллектуальной БАС на веб-сайт в режиме реального времени.....	262
Спендер П.В., Сайкин М.С. Основные подходы к конструированию магнитожидкостных датчиков вибраций	268
Старобор Р.А., Кропотова Н.А. Инженерно-технические решения по усовершенствованию подъемника в пожарно-спасательной части.....	272
Стюфляев В.Е., Кукушкина В.А. Перспективы применения аддитивных технологий в различных отраслях	278
Тангатаров И.Ф., Пучков П.В. Разработка роботизированных комплексов для тушения пожаров и ликвидации ЧС. Первые шаги.....	282
Токарев А.В. Определение тесноты связи на основе корреляции при испытаниях инструмента.....	288
Топоров А.В. Расчёт распределения температуры при горении резервуаров с нефтепродуктами методом конечных элементов	291

Чагин О.В., Пятачков А.А., Колобов М.Ю. Экспериментальное исследование получения эмульсии в статическом смесителе вихревого типа.....	295
Чухнин В.М., Рябинов А.А., Натарева С.В. Расчет химического реактора колонного типа.....	299
Шмелева Т.В., Зарубина Е.В., Репин Д.С., Земеров О.Е. О взаимосвязи между скоростями выхода материала и формированием настила.....	303
Щербаков К.Д., Романов А.В., Власов А.М. Применение программного комплекса для определения жесткостных характеристик шлицевого соединения	308

ПРОБЛЕМЫ ИЗНОСА В МАШИНАХ И МЕХАНИЗМАХ

Белова А.А., Терентьев В.В., Андронов Д.С. Исследование коррозионного влияния очищенных трансмиссионных масел на стальные поверхности	312
Гигальский Н.И., Белов А.С. Современные методы диагностики износа деталей машин и их эффективность.....	317
Грабовенко Б.Ю., Егоров С.А. Снижение риска возгорания теплоизоляции трубопроводов заменой смазки подшипниковых узлов	322
Гулин Д.Р., Егоров С.А. Анализ температурных и силовых зависимостей в процессе течения конструкционных материалов	326
Егоров С.А., Гулин Д.Р., Филатов А.М. Исследование температурной зависимости режущего инструмента от скорости при тчении	330
Жовниренко З.А., Терентьев В.В. Исследование влияния плазмохимической обработки на триботехнические характеристики полимерного композита	333
Каковкин Д.В., Ананьева Т.В. Физически-информированные нейронные сети (PINNs) в задачах моделирования деградации механических систем: идентификация повреждений и прогнозирование остаточного ресурса	339
Минлигалин В.Е., Бубнов А.Г., Семенов А.Д. Обеспечение необходимой вязкости моторного масла для двигателя пожарного автомобиля, эксплуатируемого в районах с пониженной температурой окружающей среды.....	346
Панченко С.Л., Сушков Я.Г. Снижение температуры масла в авиационном газотурбинном двигателе за счет охлаждения воздухом.....	351
Репин Д.С., Шабунин С.А., Бубнов В.Б., Зарубина Е.В. Снижение шероховатости поверхности при сверлении труднообрабатываемых материалов за счет активации СОТС коронным разрядом.....	356
Романов А.В., Ведерникова И.И. Методы минимизации использования смазочно-охлаждающих жидкостей, энергопотребления и отходов.....	360
Сопот В.Н., Трегубов А.А., Шкондин А.Е. Изнашивание в машинах и механизмах: основные понятия, явления и классификация	365
Топоров А.В. Исследование процесса трения полимерных образцов, изготовленных при помощи аддитивных технологий по металлу	371

Тютюкин С.А., Терентьев В.В., Аконова О.Б. Влияние на триботехнические показатели пластичной смазки легирующей добавки фталоцианина никеля 374

ПЕДАГОГИКА И МЕТОДОЛОГИЯ ОБЩЕЙ И СПЕЦИАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЖАРНЫХ И СПАСАТЕЛЕЙ

Березин В.С., Никифоров А.Л., Легкова И.А. Разработка способов предотвращения пожаров на автомобильном транспорте, вызванных электротехническими причинами.....379

Бойков А.А., Бяко В.А., Филюк А.С. Анализ методов геометрической аппроксимации применительно к созданию сферического экрана 383

Голишников А.И., Юрченко Р.А. Выявление опасных зон для звеньев ГДЗС по данным БАС и ИИ: предупреждения для РТП в реальном времени 387

Искакова А., Джораева Д., Чекан Г.В. Безопасны ли пауэрбанки и беспроводные наушники? 393

Кайбичев И.А. Анализ обстановки с пожарами источниками которых стали автоматические выключатели 396

Кайбичев И.А. Анализ обстановки с пожарами источниками которых стали трансформаторы и стабилизаторы 401

Кайбичев И.А. Анализ обстановки с пожарами, источниками которых стали электрораспределительный щит и электросчетчик.....406

Лизан М.А., Покровский А.А. Разработка концепции устройства для тушения степных пожаров.....410

Лях Р.В., Наминов В.А., Иванов В.Е. Инновационные и традиционные подходы к сушке пожарных рукавов 413

Мамонова С.А., Легкова И.А., Беглов Р.А. Анализ оборудования для сушки боевой одежды пожарного 418

Никитин А.Ю., Федяшина М.А., Гулева Л.В., Птюшкин Д.А. Организация и проведение Академией ГПС МЧС России межвузовской олимпиады «Компьютерное 2D-моделирование в инженерной графике» 422

Никитина С.А. Внедрение информационных технологий в учебный процесс вуза 429

Романова А.А., Егорычева Е.В. Разработка прототипа мобильного приложения для оперативного реагирования в чрезвычайных ситуациях 435

Романова А.А., Егорычева Е.В. Разработка сайта для генерации изображений чрезвычайных ситуациях с применением технологий ИИ.....439

Твердынин Н.М., Шарифуллина Л.Р., Смирнова А.М. Эксплуатационные материалы и особенности их изучения курсантами и студентами АГЗ МЧС.....443

Тимофеева О.А., Топоров А.В. Современные методы и технологии проведения аварийно-спасательных работ в горной местности: анализ подходов и перспективы применения БПЛА 448

Токарева О.В., Спирин Б.Л. Использование современных методов численного моделирования при решении задач прикладной механики	453
Токарева О.В., Червоноокая С.М. Повышение качества графической подготовки в пожарно-спасательных образовательных организациях на основе интеграции 3D-моделирования в инженерной графике	459
Ункилов Г.Н., Покровский А.А. Особенности принятия решений при управлении подразделениями пожарной охраны на крупных пожарах.....	464
Фишер Е.М., Зарубин В.П. Проектирование отдельного стационарного поста для оперативного реагирования на ДТП для штатных поисково-спасательных формирований субъекта Российской Федерации	472
Халилов Д.М., Сараев И.В. Анализ оперативной деятельности пожарно-спасательных подразделений города Казань	476
Чажин О.В., Васильев В.А., Колобов М.Ю. Применение дополненной реальности совместно с RFID-метками для ориентации в пространстве в осложненных условиях	481
Юрченко Р.А. Поддержка принятия управленческих решений руководителем ликвидации чрезвычайной ситуации на основе данных интеллектуальной БАС....	484

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ XVII ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ,
ПОСВЯЩЕННОЙ ПРАЗДНОВАНИЮ 60-ЛЕТИЯ
ИВАНОВСКОЙ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
ГПС МЧС РОССИИ
ИВАНОВО, 16 АПРЕЛЯ 2026 г.**

Издается в авторской редакции

Подготовлено к изданию 12.05.2026 г.
Формат 60×90 1/8. Усл. печ. л. 62,1. Заказ № 343

Отделение координации научной
и редакционно-издательской деятельности
научно-технического отдела
Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России
153040, г. Иваново, пр. Строителей, 33

ISBN 978-5-907764-11-8



9 785907 764118 >