

**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»**



**Методические рекомендации
для самостоятельной работы
обучающихся по дисциплине
«Прогнозирование опасных
факторов пожара»**

**(специальность 40.05.03 «Судебная экспертиза»,
специализация «Инженерно-технические экспертизы»)**

Иваново

Лапшин С.С. Методические рекомендации по изучению учебной дисциплины «Прогнозирование опасных факторов пожара» для обучающихся по специальности 40.05.03 «Судебная экспертиза» специализация «Инженерно-технические экспертизы». – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2021. – 26 с.

Методические рекомендации содержат краткое изложение дисциплины «Прогнозирование опасных факторов пожара» в соответствии с требованиями государственного стандарта и рабочих программ курса «Прогнозирование опасных факторов пожара», рекомендации по планированию и организации времени, необходимого на изучение дисциплины; рекомендации по изучению отдельных тем курса; рекомендации по использованию материалов учебно-методического комплекса; рекомендации по работе с литературой; рекомендации по подготовке к зачету; разъяснения по поводу работы с тестовой системой курса.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Лабораторный практикум как один из методов обучения.....	5
Общие рекомендации по работе с литературой.....	9
Методические рекомендации по изучению курса.....	10
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	11
МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАЧЕТУ.....	21
Перечень вопросов для промежуточной аттестации.....	21
ЛИТЕРАТУРА.....	24
Перечень основной литературы.....	24
Перечень дополнительной литературы.....	24
Перечень нормативной литературы.....	25
Базы данных, поисковые системы, электронно-библиотечные системы (электронные библиотеки) и электронные образовательные ресурсы.....	25
Логические принципы построения решения задач.....	26

ВВЕДЕНИЕ

«Прогнозирование опасных факторов пожара» является важной дисциплиной при подготовке обучающихся.

Данная дисциплина является прикладной и изучает принципы и методы математического моделирования взаимосвязанных термогазодинамических процессов, характеризующих в целом пожар в помещении (зданиях, сооружениях), как сложное физическое явление, при котором наряду с выделением тепловой энергии изменяется со временем температура газовой среды и содержание кислорода в помещении, образуются токсичные газы, в результате задымления меняются оптические свойства газовой среды, происходит газообмен помещения с внешней атмосферой (или со смежными помещениями) через проемы и прогреваются строительные конструкции.

Задачи дисциплины – теоретически и главное практически подготовить будущих специалистов к проведению научно обоснованного прогнозирования динамики опасных факторов пожара в помещениях (зданиях, сооружениях), а также к проведению исследований реально произошедших пожаров при их экспертизе.

Программа предусматривает усиление практической подготовки слушателей за счет широкого применения вычислительной техники при выполнении лабораторных работ.

Эффективность освоения дисциплины в значительной мере зависит от содержания лабораторного практикума как инструмента углубления и закрепления полученных теоретических знаний.

Численные исследования проводятся с помощью учебных прикладных программ «Intmodel», «RiskManager», «Fenix+ 3», «FireGuide», «Сигма ПБ», предназначенных для расчета динамики пожара в помещении.

Цель изучения дисциплины «Прогнозирование опасных факторов пожара» состоит в формировании научных знаний о принципах и методах математического описания (моделирования) взаимосвязанных термогазодинамических процессов, характеризующих в целом пожар в помещении (здании, сооружении) как сложное физическое явление, при котором наряду с выделением тепловой энергии (вследствие горения) изменяется со временем температура газовой среды и содержание кислорода в помещении, образуются токсичные газы, в результате задымления меняются оптические свойства газовой среды, происходит газообмен помещения с внешней атмосферой (или со смежными помещениями) через проемы и прогреваются строительные конструкции.

Задачами дисциплины являются теоретическая и практическая подготовка будущих специалистов (бакалавров):

- к проведению научно обоснованного прогнозирования динамики опасных факторов пожара (ОФП) в помещениях (зданиях, сооружениях).

- к проведению исследований реально произошедших пожаров при их экспертизе,
- разработки проектов технических условий, технических заданий, стандартов и нормативных документов.

Дисциплина «Прогнозирование опасных факторов пожара» является основной для изучения таких профилирующих дисциплин, как «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре», «Пожарная безопасность в строительстве», «Пожарная безопасность технологических процессов», «Производственная и пожарная автоматика», «Пожарная тактика» и др.

Изучение дисциплины базируется на знаниях, полученных учащимися при изучении дисциплин: «Высшая математика и информатика», «Физика», «Химия», «Теплотехника», «Теория горения и взрыва», «Физико-химические основы развития и прекращения горения».

Лабораторный практикум как один из методов обучения

Лабораторная работа относится к *неимитационным* активным методам.

Лабораторная работа имеет целью практическое освоение и закрепление теоретических знаний слушателями и курсантами научно-теоретических положений дисциплины, овладение ими методикой проведения численных экспериментальных исследований и анализа полученных результатов, приобретение навыков работы со специальными прикладными компьютерными программами.

При лабораторных работах на первый план выступает самостоятельная деятельность обучаемых. Однако эта деятельность направляется и контролируется преподавателем. Преподаватель определяет цель, план лабораторной работы, готовит компьютеры, разрабатывает необходимую методическую документацию.

Лабораторный практикум – существенный элемент учебного процесса в Институте, в ходе которого курсанты и слушатели фактически впервые сталкиваются с самостоятельной практической деятельностью в конкретной области. Лабораторные занятия, как и другие виды практических занятий, являются как бы средним звеном между углубленной теоретической работой обучающихся на лекциях и применением знаний на практике. Эти занятия удачно сочетают элементы теоретического исследования и практической работы.

Выполняя лабораторные работы, курсанты и слушатели лучше усваивают программный материал, так как многие расчеты и формулы, казавшиеся отвлеченными, становятся вполне конкретными, происходит соприкосновение теории с практикой, что в целом содействует уяснению сложных вопросов науки и становлению курсантов и слушателей как будущих профессиональных специалистов.

Ни одна из форм учебной работы не требует от обучающихся такого проявления инициативы, наблюдательности и самостоятельности в принимаемых решениях, как лабораторная работа.

Проведением лабораторных работ с курсантами и слушателями достигаются следующие цели:

- углубление и закрепление знания теоретического курса путем практического применения изложенных в лекции математических моделей пожара;
- приобретение навыков проведения численных экспериментов, анализа полученных результатов;
- практическое ознакомление со специальными программами и методами работы с ними;
- формирование первичных навыков организации, планирования и проведения научных исследований.

Перед обучающимися при выполнении лабораторной работы ставится задача овладеть в ходе обучения двумя группами навыков: общенаучными и общеинженерными.

Общенаучные навыки (преимущественно эмпирические – наблюдение, эксперимент) включают постановку проблемы, выдвижение гипотезы, выбор физической или математической модели, проведение численного эксперимента, правильную запись результатов измерений, их обработку и анализ, оценку возможных погрешностей и границ применения используемой модели.

Общеинженерные навыки – это навыки правильного выбора программы, необходимой для проведения эксперимента, его планирования, освоения правил работы с программой, графического и аналитического представления результатов экспериментов. Их формирование осуществляется в ходе выполнения всех лабораторных работ по данной дисциплине.

Успех лабораторных занятий зависит от многих слагаемых, в частности от степени подготовленности самих курсантов и слушателей, их активности на занятии.

Особенности подготовки к лабораторному занятию обучающихся

Задача на подготовку к лабораторной работе ставится на лекции или на предыдущей лабораторной работе. Обучающиеся осуществляют подготовку к лабораторной работе в часы, отведённые для самостоятельной работы, используя лабораторный практикум.

Разделы указанных методических материалов отражают учебные вопросы, краткие сведения по теории, программу выполнения работы, содержание отчета, вопросы для подготовки и литературу, рекомендуемую обучающимся для подготовки к занятию. В них также ставятся задачи, которые обучающиеся должны решить при подготовке к работе, в процессе численного эксперимента и при обработке полученных результатов.

В указаниях о порядке оформления отчета определяются форма отчета, в каком виде должен быть оформлен цифровой и графический материал, порядок формулировки выводов и заключений, а также порядок защиты выполненной работы.

Подготовка обучающихся к лабораторной работе проводится в часы самостоятельной работы с использованием учебников, конспектов лекций и вышеуказанных методических материалов.

В итоге подготовки курсанты и слушатели должны знать основной теоретический материал, который был рассмотрен на лекции и закрепляется данной лабораторной работой; цель, содержание и методику ее проведения, правила работы с программами; меры безопасности и порядок их выполнения в работе. Кроме того, учащиеся должны заранее заготовить таблицы, графики, необходимые для выполнения работы.

Перед проведением лабораторной работы преподаватель может проверить выборочно рабочие тетради, а также опросить некоторых курсантов и слушателей с целью контроля глубины усвоения теоретического материала изучаемого раздела учебной дисциплины; контроля понимания физической сущности явлений, иллюстрируемых данной лабораторной работой; проверки знания правил пользования программами, используемых при проведении лабораторной работы; проверки знания порядка проведения эксперимента, представлений об ожидаемых результатах, умения их обрабатывать и анализировать; проверки знания правил эксплуатации компьютерного оборудования и техники безопасности при проведении работ.

Проверка порядка проведения эксперимента и представлений курсантов и слушателей об ожидаемых результатах, умения обрабатывать и анализировать экспериментальные данные позволяет, во-первых, исключить грубые ошибки в ходе эксперимента; во-вторых, вырабатывать у курсантов и слушателей навыки качественных и количественных обобщений при проведении научных исследований; в-третьих, оценивать допустимые разбросы результатов экспериментов и в целом способствовать развитию необходимой культуры работы.

Лабораторные работы выполняются курсантами и слушателями самостоятельно. Это значит, что преподаватели в ходе занятия не столько контролируют, сколько осуществляют научное и методическое руководство действиями обучающихся.

При всех обстоятельствах курсанты и слушатели должны знать, что преподаватель, оказывая им педагогически целесообразную помощь своим советом, никогда не будет вести занятия школьного типа с подробными объяснениями необходимых действий.

Выполнение численного эксперимента – важный этап лабораторного занятия по дисциплине «Прогнозирование опасных факторов пожара», общий ход которого целесообразно проводить в следующем порядке: выбор специальной программы, необходимой для данной лабораторной работы; ввод исходных данных согласно заданию и анализ результатов эксперимента.

В процессе подготовки и выполнения лабораторных работ обучающиеся все необходимое, связанное с экспериментом, записывают в свои рабочие тетради для лабораторных работ. В тетрадь заносятся все наблюдения по ходу выполнения эксперимента, а также результаты в виде выводов с соответствующими

таблицами, графиками и описанием полученных результатов опытов. Обработка результатов эксперимента должна быть выполнена предпочтительно в тот же день.

Лабораторные занятия заканчиваются защитой результатов работы и полученных выводов. Сроки защиты лабораторных работ устанавливаются преподавателем. Защита может проходить как индивидуально (в том числе в системе Fire Test), так и перед всей группой.

В результате проведения всего курса лабораторных работ обучающиеся должны уметь проводить численные эксперименты по моделированию пожаров применительно к решению профилактических и тактических задач (разработка рекомендаций по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожаре, создание и совершенствование систем сигнализации и автоматических систем пожаротушения, разработка оперативных планов тушения пожаров, оценка фактических пределов огнестойкости строительных конструкций), а также к исследованию реально произошедших пожаров.

Кроме основной и дополнительной литературы, при изучении дисциплины рекомендуется использовать бюллетени, информационные письма, научные издания, сборники публикаций научно-технических конференций, периодически издаваемые МЧС России, Всероссийским научно-исследовательским институтом противопожарной обороны МЧС России и ВУЗами России.

Общие рекомендации по работе с литературой

Большое значение в процессе обучения имеет самостоятельная работа с учебной литературой, которая позволяет вникнуть в сущность изучаемых вопросов, основательно разобраться в них.

В целях более глубокого и осмысленного усвоения знаний по учебной литературе необходимо:

- отыскивать внутренние связи и взаимоотношения между различными частями в изучаемом тексте, т.е. причины и следствия различных явлений;
- сравнивать изучаемые факты, находя в них сходства и различия;
- связывать ранее полученные знания с вновь запоминаемым материалом;
- продумывать область применения усваиваемых знаний в жизни, на практике;
- находить собственные примеры к общим изучаемым положениям, правилам, законам;
- основательно анализировать помещённые в учебной литературе схемы, таблицы, рисунки, чертежи;
- осуществлять самоконтроль путем пересказа прочитанного своими словами;
- пользоваться словарями и справочниками для выяснения смыслового значения новых слов и терминов;
- в ходе чтения очень полезно, хотя и не обязательно, делать краткие конспекты прочитанного, выписки, заметки, выделять неясные, сложные для восприятия вопросы. В целях прояснения последних нужно обращаться к преподавателю.

Настоятельно рекомендуется избегать механического заучивания учебного материала. Практика убедительно показывает: самым эффективным способом является не «зубрежка», а глубокое, творческое, самостоятельное проникновение в сущность изучаемых вопросов. Важно с самого начала изучения учебного материала дисциплины развивать понимание физической сущности явлений, их взаимосвязи, представлять, где эти явления встречаются в практике.

Необходимо вести систематическую каждодневную работу над литературными источниками. Объем информации по курсу настолько обширен, что им не удастся овладеть в «последние дни» перед сессией, как на это иногда рассчитывают некоторые учащиеся.

Следует воспитывать в себе установку на прочность, долговременность усвоения знаний по курсу. Надо помнить, что они потребуются не только и не столько в ходе изучения данной дисциплины, но – что особенно важно – в последующей профессиональной деятельности.

В условиях ускоряющегося старения информации учебные и научные издания, далеко не всегда могут поспевать за новыми явлениями и тенденциями, порождаемыми процессом инновации. Учебную литературу невозможно, даже по чисто техническим причинам, не говоря уже о других, ежегодно обновлять и переиздавать. В связи с этим в литературе по курсу обучающимся могут встречаться положения, которые уже не вполне отвечают новым тенденциям развития. В таких случаях следует, проявляя нужную критичность мысли, опираться не на устаревшие идеи того или другого издания, как бы авторитетно оно ни было, а на нормы, вытекающие из современных изданий, имеющих

отношение к изучаемому вопросу. Наконец, обучающийся обязан знать не только литературу, рекомендуемую в данном пособии, но и новые издания по курсу, вышедшие в свет после его публикации.

Методические рекомендации по изучению курса

Приступая к изучению дисциплины «Прогнозирование опасных факторов пожара», необходимо ознакомиться с рабочей программой, настоящими методическими указаниями и списком рекомендуемой литературы. Список литературы дан как в рабочей программе, так и в конце каждой темы данных методических указаний.

Основная трудность, с которой сталкивается обучающийся при изучении курса, состоит в неумении систематизировать материал, выделять наиболее важные сведения, устанавливать взаимосвязь и взаимообусловленность явлений и процессов, происходящих при пожаре. Этому в значительной степени помогает разбор материала каждой темы, а также вопросы для самопроверки. Настоятельно рекомендуется вести подробный конспект лекций и практических занятий. Это тем более важно, что материал дисциплины придется изучать по разным литературным источникам.

При записи формул необходимо указать принятые обозначения и размерность, входящих в уравнение величин.

Важно с самого начала изучения материала дисциплины развивать понимание физической сущности явлений, их взаимосвязи, представлять, где эти явления встречаются в практике, какова их роль и значение в деле обеспечения пожаро- взрывобезопасности промышленных объектов и личного имущества граждан.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Методы прогнозирования динамики опасных факторов пожара в помещении

Опасные факторы пожара. Физические величины, характеризующие ОФП в количественном отношении; предельно допустимые значения ОФП.

Математическое моделирование, как наиболее современный научный метод прогнозирования ОФП. Основные требования, предъявляемые к моделям. Методы математического моделирования динамики ОФП, их особенности и области применения.

Сценарий пожара. Критерии выбора наихудшего сценария пожара. Пожарный риск. Индивидуальный пожарный риск. Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях.

Разделы для самостоятельного изучения

1. Область применения методов математического моделирования пожара.
2. Формулировка сценария развития пожара.

Вопросы для самоконтроля

1.	К опасным факторам пожара относится: (Единичный выбор)	1. Пламя 2. Разлетающиеся осколки 3. Радиоактивные и токсичные материалы 4. Повышенное давление
2.	Укажите название вида математической модели пожара в помещении: (Единичный выбор)	1. Линейная модель 2. Вероятностная модель 3. Статическая модель 4. Интегральная модель
3.	Оптические свойства среды, находящейся в помещении, характеризуются: (Единичный выбор)	1. Среднеобъемной оптической плотностью дыма 2. Среднеобъемной плотностью кислорода 3. Среднеобъемной плотностью среды 4. Среднеобъемным давлением
4.	Укажите документ, содержащий определение термина «пожарный риск» (Единичный выбор)	1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ 2. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ 3. Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. №382 4. Приказ МЧС России от 10 июля

		2009 г. №404
5.	Укажите документ, содержащий перечень опасных факторов пожара (Единичный выбор)	1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ 2. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. №384-ФЗ 3. Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. №382 4. Приказ МЧС России от 10 июля 2009 г. №404

Опорные термины: пожар, математическая модель, опасные факторы пожара.
Литература: [1, 7, 12-16, 21-27].

Тема 2. Уравнения интегральной математической модели пожара в помещении

Свойства газообразной среды в помещении при пожаре. Локальное равновесие и взаимосвязь между локальными термодинамическими параметрами состояния газовой среды. Присутствие мельчайших твердых частиц в газообразной среде и их вклад в интегральные значения внутренней (тепловой) энергии и массы среды, заполняющей помещение при пожаре. Влияние этих частиц на процессы тепломассопереноса и оптические свойства среды.

Интегральный метод описания состояния газовой среды при пожаре в помещении. Среднеобъемная плотность газовой среды и среднеобъемные парциальные плотности ее компонентов. Среднеобъемная внутренняя энергия и среднеобъемное давление газовой среды в помещении. Интегральное уравнение состояния газовой среды в помещении.

Дымообразование и параметры дыма, образованного твердыми частицами. Коагуляция и седиментация частиц дыма. Оптическое количество дыма и среднеобъемная оптическая плотность дыма. Связь между оптической плотностью дыма и дальностью видимости.

Интегральный метод термодинамического анализа пожара. Среда в помещении как открытая термодинамическая система. Взаимодействие этой системы с внешней средой и интегральные характеристики этого взаимодействия. Квазиравновесный процесс изменения состояния этой системы при пожаре. Особенности процесса изменения состояния этой системы на отдельных этапах развития пожара. Начальные условия и условия однозначности.

Классификация интегральных математических моделей пожара. Математическая постановка задачи о прогнозировании ОФП на основе полной системы дифференциальных уравнений интегральной модели пожара. Подobie и критерии подобия пожаров.

Разделы для самостоятельного изучения

1. Коагуляция и седиментация частиц дыма.
2. Метод Эйлера (приближенное решение дифференциальных уравнений).

3. Обобщенные переменные и уравнения, описывающие пожар в помещении.
4. Условия однозначности.
5. Подобие и критерии подобия пожаров.

Вопросы для самоконтроля

1.	Укажите уравнение материального баланса газовой среды в помещении: (Единичный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. $\frac{d(\rho_m V)}{d\tau} = G_B + \psi - G_\Gamma$ 2. $\frac{d}{d\tau}(\mu_m V) = D\psi - \frac{\mu_m n_3}{\rho_m} G_\Gamma - k_c F_w$ 3. $\frac{d(P_m V)}{(k-1)d\tau} = \eta Q_H^P \psi + i\psi + c_{pB} T_B G_B - n$ 4. $\frac{d}{d\tau}(\rho_1 V) = x_{1B} G_B - x_1 n_1 G_1 - \psi L_1 \eta$ 5. $\frac{d}{d\tau}(\rho_2 V) = \psi L_2 \eta - x_2 n_2 G_\Gamma$
2.	Изменение внутренней энергии ТДС (газовой среды при пожаре в помещении) обусловлено: (Единичный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Отводом теплоты в результате горения 2. Отводом теплоты в ограждающие конструкции 3. Массообменном с окружающей средой
3.	Что такое коагуляция частиц дыма? (Единичный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Физико-химический процесс слипания мелких частиц дисперсных систем в более крупные под влиянием сил сцепления с образованием коагуляционных структур 2. Оседание частиц дисперсной фазы в жидкости или газе под действием гравитационного поля или центробежных сил 3. Интерференция частиц дисперсной фазы в жидкости или газе под действием гравитационного поля или центробежных сил 4. Реакция превращения частицы и античастицы при их столкновении в какие-либо иные частицы, отличные от исходных

4.	Укажите размерность параметра «оптическая концентрация дыма» (Единичный выбор)	1. Непер·м 2. Непер·м ⁻¹ 3. Непер·м ⁻¹ ·с ⁻²
5.	Как рассматривается пожар с точки зрения термодинамической системы? (Единичный выбор)	1. Пожар рассматривается как закрытая термодинамическая система 2. Пожар рассматривается как замкнутая термодинамическая система 3. Пожар рассматривается как изолированная термодинамическая система 4. Пожар рассматривается как открытая термодинамическая система
6.	Укажите единицы измерения удельной скорости выгорания вещества (Множественный выбор)	1. кг·м ⁻² ·с ⁻¹ 2. г·м ⁻² ·с ⁻¹ 3. мм·Дж ⁻² ·с ⁻¹ 4. Дж·м ⁻² ·с ⁻¹

Опорные термины: тепломассоперенос, коагуляция, седиментация.

Литература: [2, 7, 12, 19, 20, 21-27].

Тема 3. Газообмен помещений и теплофизические функции, необходимые для замкнутого описания пожара

Причины, обуславливающие движение газа и газообмен помещения с внешней средой через проемы при пожаре. Распределение гидростатических давлений по вертикали внутри и снаружи помещения. Плоскость равных давлений (ПРД). Зависимость расположения ПРД от среднеобъемных значений давления и плотности газовой среды в помещении. Возможные режимы газообмена помещения через проем. Зависимость величины перепада между внутренним и внешним давлениями от координаты, отсчитываемой по вертикали от пола, высоты расположения ПРД и среднеобъемной плотности газовой среды в помещении. Формулы для расчета скорости движения уходящих газов и поступающего воздуха в разных точках проема.

Зависимости массовых расходов уходящих газов и поступающего воздуха для вертикального прямоугольного проема при различных режимах газообмена от геометрических характеристик этого проема и среднеобъемных параметров состояния газовой среды в помещении (плотности и давления). Газообмен через круглые вертикальные проемы. Газообмен через горизонтальные проемы. Влияние ветра на газообмен помещения с окружающей атмосферой. Распределение гидростатических давлений по вертикали снаружи здания на наветренной и подветренной его сторонах. Формулы для расчета массовых расходов газа через прямоугольный проем с учетом влияния ветра. Влияние

неоднородности температурного поля в помещении на распределение гидростатических давлений внутри помещения и на газообмен через проемы.

Радиационно-конвективный процесс теплопереноса в газообразной среде при пожаре в помещении. Сопряженная математическая постановка задачи о нагревании строительных конструкций при пожаре. Эмпирические формулы для расчета интегрального теплового потока в ограждения.

Скорость выгорания горючих материалов. Горючая нагрузка в помещении и ее характеристики. Линейная скорость распространения пламени по поверхности горючей нагрузки. Расчет площади пожара при различных видах пожарной нагрузки. Удельная массовая скорость выгорания твердых и жидких горючих материалов. Тепловая мощность очага пожара в помещении. Влияние газообмена на процесс горения материалов в помещении. Режимы пожаров в помещении в зависимости от количества поступающего через проем воздуха. Зависимость мощности тепловыделения при пожаре от концентрации кислорода в помещении. Скорости потребления кислорода, образования токсичных продуктов горения и дымовыделения.

Разделы для самостоятельного изучения

1. Влияние ветра на газообмен.
2. Газообмен через горизонтальные проемы.
3. Газообмен через круглые проемы.
4. Сопряженная математическая постановка задачи о нагревании строительных конструкций при пожаре.

Вопросы для самоконтроля

1.	Сопоставьте величины (слева) и их расчетные формулы (справа): $p_{нар}$ $p_{вн}$	1. $p_a + g\rho_a(h - y)$ 2. $p_m + g\rho_m(h - y)$
2.	На основе данных, полученных при исследовании материального и энергетического баланса пожара в помещении, укажите характер изменения величины скорости выгорания: (Единичный выбор)	1. Вначале эксперимента значение величины растет, затем, достигнув максимального значения не изменяется, затем уменьшается 2. Наблюдается рост значения величины в течении всего времени эксперимента 3. Значение величины во времени не изменяется
3.	Укажите формулу для расчета теплового потока, поступающего в ограждающие конструкции: (Единичный выбор)	1. $Q_w = \varphi Q_{пож}$ 2. $Q_w = \varphi\eta\psi Q_n^p$ 3. $Q_w = \varphi\eta\psi M_i$

		4.	$Q_w = y_* \eta \psi Q_n^p$
4.	Укажите режим, в котором находится поток газов в проеме если $y_* < y_{н.срез.проема}$? (Единичный выбор)	1. 2. 3.	Выталкивания Смешанном Притока
5.	В каком режиме находится поток газов в проеме если $y_* > y_{в.срез.проема}$? (Единичный выбор)	1. 2. 3.	Выталкивания Смешанном Притока
6.	В каком режиме находится поток газов в проеме при его расположении ниже ПРД? (Единичный выбор)	1. 2. 3.	Выталкивания Смешанном Притока

Опорные термины: газообмен, плоскость равных давлений, тепловой поток.
Литература: [1, 4, 7, 19, 21, 21-27].

Тема 4. Математическая постановка задачи о динамике опасных факторов пожара в помещении в начальной стадии

Понятие о начальной стадии пожара с позиции задачи о безопасности эвакуации людей. Особенность газообмена помещения с окружающей атмосферой в начальной стадии пожара. Система дифференциальных уравнений интегральной модели пожара с учетом этой особенности газообмена. Среднее значение коэффициента теплопотерь, характеризующего теплопоглощение ограждениями. Аналитическое решение задачи о динамике опасных факторов пожара при круговом и линейном распространении пламени по поверхности твердой горючей нагрузки, а также при горении жидкостей. Взаимосвязь между критическими среднеобъемными значениями опасных факторов пожара с предельно допустимыми их значениями в зоне пребывания людей. Формулы для расчета критической продолжительности пожара по условию достижения каждым опасным фактором своего предельно допустимого значения в рабочей зоне.

Влияние размеров проемов на динамику опасных факторов пожара. Критерий проемности. Зависимость критической продолжительности пожара от критерия проемности.

Формулировка сценария развития пожара в здании. Определение расчетной величины пожарного риска в зданиях различных классов функциональной пожарной опасности. Определение расчетной величины пожарного риска на производственном объекте.

Модификация базовой математической модели пожара для учета влияния тушения: объемного газового, распыленной водой. Дополнительное уравнение баланса. Влияние концентрации огнетушащего вещества на скорость выгорания.

Разделы для самостоятельного изучения

1. Влияние неоднородности температурного поля в помещении на распределение гидростатических давлений внутри помещения и на газообмен через проемы.
2. Теплоотдача вертикальных поверхностей ограждений помещения при различных стадиях пожара.

Вопросы для самоконтроля

1.	Укажите правильные начальные условия для решения системы дифференциальных уравнений интегральной математической модели пожара в помещении (Единичный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. $p_m = p_a$; $\mu_m = 0$; $\frac{\rho_{1g}}{\rho_m} = 0,23$ 2. $p_m = p_a$; $\mu_m = 0,5$; $\frac{\rho_{1g}}{\rho_m} = 0,226$ 3. $p_m = p_a$; $\mu_m = 0$; $\frac{\rho_{1g}}{\rho_m} = 0,226$; $\rho_2 = 0$
2.	Укажите свойства горючей нагрузки, которые влияют на динамику ОФП (Множественный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Удельная скорость выгорания 2. Скорость распространения пламени 3. Количество 4. Объем
3.	Компьютерный эксперимент: (Единичный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Дешевле провести, чем физический 2. Дороже провести, чем физический 3. Проводится на реальном объекте 4. Проводится на реальном объекте
4.	Укажите единицы измерения скорости выгорания вещества: (Множественный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. $кг \ c^{-1}$ 2. $г \ c^{-1}$ 3. $мм \ c^{-1}$ 4. $м \ c^{-1}$
5.	Укажите единицы измерения удельной скорости выгорания вещества: (Множественный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. $кг \ м^{-2} \ c^{-1}$ 2. $г \ м^{-2} \ c^{-1}$ 3. $мм \ Дж^{-2} \ c^{-1}$ 4. $Дж \ м^{-2} \ c^{-1}$
6.	Как изменится дымообразующая способность горючего материала D при увеличении удельной скорости выгорания $\psi_{уд}$ в два раза? (Единичный выбор)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличится 2. Уменьшится 3. Не изменится

Опорные термины: начальная стадия пожара, критическая продолжительность пожара, коэффициент теплопоглощения, огнетушащее вещество, скорость выгорания.

Литература: [2, 4, 7, 19, 20, 21-27].

Тема 5. Основные положения зонного моделирования динамики опасных факторов пожара в помещении

Область применения зонных моделей пожаров. Особенности распределения локальных параметров состояния газовой среды внутри помещения в начальной стадии пожара и при локальных пожарах. Разделение внутреннего пространства рассматриваемого пожара на зоны. Характерные зоны в начальной стадии пожара – пламенная зона, конвективная колонка над очагом горения, припотолочный слой нагретых газов и зона холодного воздуха. Условные границы между зонами и среднеобъемные параметры среды в этих зонах. Взаимодействие между зонами и изменение их размеров с течением времени. Интегральный метод описания изменения состояния среды в каждой зоне. Классификация зонных моделей пожара в здании.

Определение потоков массы и энергии из конвективной колонки в припотолочный слой на основе теории свободной турбулентной конвективной струи. Скорость поступления токсичных газов и оптического количества дыма в припотолочный слой. Газообмен припотолочного слоя с внешней атмосферой через проемы. Работа расширения припотолочной зоны.

Дифференциальные уравнения материального баланса газовой среды и ее компонентов, баланса оптического количества дыма и энергии для припотолочной зоны при отсутствии газообмена с внешней атмосферой. Дифференциальные уравнения движения нижней границы припотолочной зоны. Начальные условия.

Математическая постановка задачи о динамике опасных факторов пожара в припотолочной зоне и ее аналитическое решение при постоянных значениях размеров и тепловой мощности очага горения.

Математическая постановка задачи о динамике опасных факторов пожара в припотолочной зоне помещения и ее численное решение при газообмене припотолочного слоя с внешней средой и изменяющимся со временем очагом пожара. Сложность численной реализации полной зонной математической модели. Алгоритм численного решения задачи на ПЭВМ. Структура программы и ее запуск. Действия при возникновении ошибок.

Обобщенные переменные и уравнения, описывающие пожар в помещении. Подобие и критерии подобия пожаров. Метод Эйлера (приближенное решение дифференциальных уравнений).

Разделы для самостоятельного изучения

1. Математическая двухзонная модель пожара в здании.
2. Эмпирические формулы для расчета средних коэффициентов теплоотдачи на вертикальных и горизонтальных поверхностях ограждений.

3. Алгоритм численного решения задачи о зонном моделировании пожара в помещении.

Вопросы для самоконтроля

1.	При зонном моделировании пожара пространство внутри помещения можно разделить (Единичный выбор)	1. Только на две зоны 2. На любое число зон 3. Только на три зоны 4. Нельзя разделять на зоны
2.	Условия применения зонной модели пожара (Множественный выбор)	1. Размеры очага горения значительно больше размеров помещения 2. Размеры очага горения значительно меньше размеров помещения 3. Размеры очага горения равны размерам помещения
3.	Укажите фамилию ученого, впервые разработавшего зонную математическую модель пожара в нашей стране: (Единичный выбор)	1. А. Рыжов 2. Е. Воланин 3. М. Овсянников 4. М. Кошмаров 5. С. Пузач
4.	Укажите формулу для определения массового расхода газа в сечении конвективной колонки: (Единичный выбор)	1. $T_0 + \frac{Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{c_p G_k}$ 2. $0,21 \left[\frac{g \rho_0^2 Q_{\text{пож}}}{c_p T_0} (1-\chi) \right]^{\frac{1}{2}} (y + y_0)^{\frac{5}{2}}$ 3. $\rho_0 T_0 = \rho_1 T_1 = \rho_2 T_2 = \rho_3 T_3$
5.	Можно ли редактировать предельно допустимые значения ОФП в программе Ситис Блок? (Единичный выбор)	1. Да. Значения устанавливаются на вкладке «Моделирование» в меню «ПДЗ ОФП» 2. Да. Значения устанавливаются в окне «Настройка» на вкладке «ПДЗ ОФП» 3. Нет
6.	На какой вкладке в программе Ситис Блок задаются параметры очага пожара? (Единичный выбор)	1. Геометрия 2. Моделирование 3. Объект 4. Автоотчет

Опорные термины: зонная модель пожара, припотолочная зона.

Литература: [2, 3, 7, 8, 19, 20, 21-27].

Тема 6. Основные положения дифференциального метода моделирования динамики опасных факторов пожара в помещении

Сущность метода, его информативность. Современное состояние вопроса.

Базовая система дифференциальных уравнений в частных производных для описания турбулентного нестационарного движения и процессов тепло- и массопереноса в многокомпонентной газовой смеси с учетом химических реакций и образования дымового аэрозоля. Модели для расчета турбулентных течений при пожаре в помещении: их виды, особенности применения. Классификация дифференциальных моделей пожара. Программы, численно реализующие дифференциальные модели пожара.

Математическая постановка задачи прогнозирования опасных факторов пожара в здании с помощью дифференциальной модели пожара. Расчетные сетки для скалярных величин и проекций скорости. Аппроксимация по времени. Структура алгоритма решения. Тестирование и апробация математической модели и ее численной реализации. Описание программы численной реализации модели и ее запуск. Задание исходных данных. Анализ результатов расчета.

Нормативное значение пожарного риска для зданий и сооружений. Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках.

Разделы для самостоятельного изучения

1. Расчеты динамики ОФП по полевому моделированию пожара.
2. Граничные и начальные условия на поверхности горючего.
3. Алгебраическая модель турбулентности.
4. К-ε модель турбулентности.

Вопросы для самоконтроля

1.	При моделировании пожара полевым методом результаты решения системы уравнений получают в форме: (Единичный выбор)	1. Полей скоростей 2. Полей площадей 3. Полей градиентов
2.	Перечислите дополнительные соотношения полевой модели пожара (Множественный выбор)	1. Модель прогрева строительных конструкций 2. Модель горения 3. Модель радиационного теплообмена 4. Модель турбулентного теплообмена
3.	Перечислите ученых, внесших вклад в разработку полевых моделей пожара (Множественный выбор)	1. Ю.А. Кошмаров 2. С.В. Пузач 3. М.Ю. Овсянников 4. А.М. Рыжов

		5. И.Д. Безбородько
4.	На численном решении каких уравнений основан полевой метод моделирования пожара в помещении? (Единичный выбор)	1. Бойля-Мариотта 2. Навье-Стокса 3. Гаусса-Остроградского 4. Пуанкаре
5.	Перечислите названия программ, реализующих полевую модель пожара (Множественный выбор)	1. CFAST 2. PHOENICS 3. JASMINE 4. FDS 5. SigmaFire (Сигма ПБ 5)

Опорные термины: турбулентность, вязкость, теплопроводность, диффузия, аппроксимация, алгоритм, расчетная сетка.

Литература: [1, 2, 5, 7, 9-11, 17-27].

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЗАЧЕТУ

Зачеты являются формой промежуточной аттестации успеваемости обучающихся. Они проводятся в объеме рабочих программ по дисциплине.

Цель зачетов – выявить и оценить теоретические знания, практические умения и навыки курсантов (слушателей) за полный курс или часть (раздел) дисциплины.

Перечень вопросов для промежуточной аттестации

1. Опасные факторы пожара. Физические величины, характеризующие ОФП в количественном отношении; предельно допустимые значения ОФП.
2. Методы математического моделирования динамики ОФП, их особенности и области применения.
3. Пожарный риск. Индивидуальный пожарный риск.
4. Нормативные основы определения величин пожарного риска в зданиях.
5. Общая характеристика методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях различного функционального назначения.
6. Общая характеристика методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах.
7. Сценарий пожара. Критерии выбора наихудшего сценария пожара.
8. Интегральный метод описания состояния газовой среды при пожаре в помещении.
9. Среднеобъемная плотность газовой среды и среднеобъемные парциальные плотности ее компонентов.
10. Среднеобъемная внутренняя энергия и среднеобъемное давление газовой среды в помещении.
11. Интегральное уравнение состояния газовой среды в помещении.
12. Дымообразование и параметры дыма, образованного твердыми частицами.
13. Коагуляция и седиментация частиц дыма.

14. Оптическое количество дыма и среднеобъемная оптическая плотность дыма. Связь между оптической плотностью дыма и дальностью видимости.
15. Интегральный метод термодинамического анализа пожара. Среда в помещении как открытая термодинамическая система.
16. Причины, обуславливающие движение газа и газообмен помещения с внешней средой через проемы при пожаре.
17. Распределение гидростатических давлений по вертикали внутри и снаружи помещения.
18. Плоскость равных давлений. Зависимость расположения плоскости равных давлений от среднеобъемных значений давления и плотности газовой среды в помещении.
19. Возможные режимы газообмена помещения через проем.
20. Формулы для расчета скорости движения уходящих газов и поступающего воздуха в разных точках проема.
21. Зависимости массовых расходов уходящих газов и поступающего воздуха для вертикального прямоугольного проема при различных режимах газообмена от геометрических характеристик этого проема и среднеобъемных параметров состояния газовой среды в помещении.
22. Газообмен через круглые вертикальные проемы.
23. Газообмен через горизонтальные проемы.
24. Формулы для расчета массовых расходов газа через прямоугольный проем с учетом влияния ветра.
25. Сопряженная математическая постановка задачи о нагревании строительных конструкций при пожаре.
26. Горючие вещества и их характеристики.
27. Особенности горения твердых, жидких и газообразных веществ.
28. Скорость выгорания горючих материалов.
29. Скорость тепловыделения в пламенной зоне.
30. Горючая нагрузка в помещении и ее характеристики.
31. Линейная скорость распространения пламени по поверхности горючей нагрузки.
32. Расчет площади пожара при различных видах пожарной нагрузки.
33. Удельная массовая скорость выгорания твердых и жидких горючих материалов. Тепловая мощность очага пожара в помещении.
34. Влияние газообмена на процесс горения материалов в помещении.
35. Режимы пожаров в помещении в зависимости от количества поступающего через проем воздуха.
36. Зависимость мощности тепловыделения при пожаре от концентрации кислорода в помещении.
37. Особенность газообмена помещения с окружающей атмосферой в начальной стадии пожара.
38. Система дифференциальных уравнений интегральной модели пожара в начальной стадии пожара.

39. Аналитическое решение задачи о динамике опасных факторов пожара в помещении при круговом распространении пламени по поверхности твердой горючей нагрузки.
40. Аналитическое решение задачи о динамике опасных факторов пожара в помещении при линейном распространении пламени по поверхности твердой горючей нагрузки.
41. Аналитическое решение задачи о динамике опасных факторов пожара в помещении при горении жидкостей.
42. Взаимосвязь между критическими среднеобъемными значениями опасных факторов пожара с предельно допустимыми их значениями в зоне пребывания людей.
43. Формулы для расчета критической продолжительности пожара по условию достижения каждым опасным фактором своего предельно допустимого значения в рабочей зоне.
44. Влияние размеров проемов на динамику опасных факторов пожара.
45. Особенности распределения локальных параметров состояния газовой среды внутри помещения в начальной стадии пожара.
46. Разделение пространства внутри пожара на зоны. Характерные зоны в начальной стадии пожара.
47. Определение потоков массы и энергии из конвективной колонки в припотолочный слой на основе теории свободной турбулентной конвективной струи.
48. Теплообмен припотолочной зоны с ограждениями.
49. Дифференциальные уравнения материального баланса газовой среды и ее компонентов, баланса оптического количества дыма и энергии для припотолочной зоны при отсутствии газообмена с внешней атмосферой.
50. Математическая постановка задачи о динамике опасных факторов пожара в припотолочной зоне и ее аналитическое решение при постоянных значениях размеров и тепловой мощности очага горения.
51. Базовая система дифференциальных уравнений в частных производных для описания турбулентного нестационарного движения и процессов тепло- и массопереноса в многокомпонентной газовой смеси.
52. Модели для расчета турбулентных течений при пожаре в помещении: их виды, особенности применения.
53. Классификация дифференциальных моделей пожара.
54. Особенности динамики пожаров на производственных объектах.
55. Программные средства для прогноза опасных факторов пожара в здании.

ЛИТЕРАТУРА

Перечень литературы и учебно-методических материалов для подготовки к занятиям

Перечень основной литературы

1. Прогнозирование опасных факторов пожара [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.В. Шумилин, Д.В. Русских, С.В. Пельтихина, Д.Б. Чернышов. – Воронеж: ВИ ГПС МЧС России, 2016. – 110 с. Режим доступа: <http://10.46.0.45>.
2. Прогнозирование опасных факторов пожара [Электронный ресурс]: учебное пособие / Ю.Д. Моторыгин, В.А. Ловчиков, Ф.А. Дементьев, Ю.Н. Бельшина. – СПб.: Астерион, 2013. – 108 с. Режим доступа: <http://10.46.0.45>.

Перечень дополнительной литературы

3. Математическое моделирование динамики опасных факторов пожара: лабораторный практикум по дисциплине «Прогнозирование опасных факторов пожара» (зонная модель) [Электронный ресурс] / Овсянников М. Ю., Лапшин С.С., Шварев Е.А. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. 96 с. Режим доступа: <http://bibliomchs37.ru/book/4437/>.
4. Математическое моделирование динамики опасных факторов пожара [Электронный ресурс]: практикум / Овсянников М. Ю., Лапшин С.С., Шварев Е.А. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. 130 с. Режим доступа: <http://bibliomchs37.ru/book/5058/>.
5. Прогнозирование опасных факторов пожара. Дифференциальное моделирование пожара в здании: практикум [Электронный ресурс] / С.С. Лапшин, Е.А. Шварев. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. Режим доступа: <http://bibliomchs37.ru/book/5194/>.
6. СИГМА ПБ 5 («Sigma Fire Safety» 5) Программа по расчету распространения опасных факторов пожара полевой моделью, эвакуации - индивидуально-поточной моделью, вероятности эвакуации, расчетной величины пожарного риска. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://3ksigma.ru>.
7. Электронный интернет-курс по дисциплине «Прогнозирование опасных факторов пожара» [Электронный ресурс] / С.С. Лапшин, М.Ю. Овсянников. Режим доступа: <http://пофп.рф>.
8. RiskManager - программный комплекс для вычисления величины индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках различных классов функциональной пожарной опасности: руководство пользователя [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://nordsoftware.ru/programms/riskmanager/>.
9. FireGuide: Программа для расчета ОФП и эвакуации на основе FDS+EVAC. Полевая модель: Руководство пользователя [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fireguide.ru/>.

10. Fenix+ 3. Программа для определения величины индивидуального пожарного риска: Руководство пользователя [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://mst.su/fenix/>.
11. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов / А.Ю. Лагозин и др. 2-е издание, исправленное и дополненное. М.: ВНИИПО МЧС России, 2019. 344 с.

Перечень нормативной литературы

12. ТР ЕАЭС 043/2017 Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения».
13. Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
14. Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
15. Федеральный закон от 23.05.2016 г. № 141-ФЗ «О службе в федеральной противопожарной службе Государственной противопожарной службы и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
16. Федеральный закон от 25.12.2008 г. № 273-ФЗ «О противодействии коррупции».
17. Постановление Правительства Российской Федерации от 22.07.2020 N 1084 «О порядке проведения расчетов по оценке пожарного риска».
18. Постановление Правительства Российской Федерации от 31.08.2020 N 1325 «Об утверждении Правил оценки соответствия объектов защиты (продукции) установленным требованиям пожарной безопасности путем независимой оценки пожарного риска».
19. Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».
20. Приказ МЧС России от 10.07.2009 г. № 404 «Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

Базы данных, поисковые системы, электронно-библиотечные системы (электронные библиотеки) и электронные образовательные ресурсы

21. www.vniipo.ru.
22. www.gost.ru.
23. www.mchs.gov.ru
24. Электронная библиотека академии <http://Bibliomchs37.ru>.
25. Единая ведомственная электронная библиотека МЧС России сеть Интранет по адресу: 10.46.0.45.
26. ЭБС «Юрайт».
27. Цифровая среда академии.

Логические принципы построения решения задач

Приступая к решению задачи, каждый человек воспринимает и обрабатывает в своем сознании информацию, заложенную в условии задачи. Для оптимального выполнения этой деятельности рекомендуем ряд приемов.

1. При прочтении задачи необходимо определить тему, на материале которой построено условие задачи. Это может быть не только материал, включенный, по существу, в вопрос задач, но и скрытый в ее условии, то есть требующий дополнительных знаний уже пройденного ранее материала (что чаще всего и бывает). Таким образом, этим вы отвечаете на вопрос, какие знания потребуются для решения задачи.
2. Содержанием следующего этапа деятельности является выделение конкретных формул, из которых можно найти искомую величину. Далее следует определить, какие величины в конечной формуле оказываются неизвестными, и записать выражения, из которых они могут быть найдены.
3. Далее определяют, какие данные необходимо найти в справочниках, при необходимости привести размерность этих величин к используемым в расчетных формулах.
4. Затем приступайте к численному решению задачи.