БЕЗОПАСНОСТЬ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра комплексной безопасности
в строительстве

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ ПОЖАРА

Методические указания
к выполнению курсовой работы/проекта
для обучающихся по направлению подготовки
20.03.01 Техносферная безопасность

Составитель Е.Ю. Челекова

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2019

УДК 614
ББК 30Н
П78

Рецензент — доктор физико-математических наук, профессор *В.А. Горев*,
профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве ИСА НИУ МГСУ

П78 **Прогнозирование опасных факторов пожара** [Электронный ресурс] : методические указания к выполнению курсовой работы/проекта для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность / сост. Е.Ю. Челекова ; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Нац. исследоват. Моск. гос. строит. ун-т, каф. комплексной безопасности в строительстве. — Электрон. дан. и прогр. (0,90 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2019. — Режим доступа: http://lib.mgsu.ru/Scripts/irbis64r_91/cgiirbis_64.exe?C21COM=F&I21DBN=IBIS&P21DBN=IBIS — Загл. с титул. экрана.

В методических указаниях приведены цели и задачи курсовой работы, даны методические советы по ее оформлению и выполнению. Рассмотрены основные методы прогнозирования опасных факторов пожара, основные уравнения, отражающие всю совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, присущих пожару, таких как тепловыделение в результате горения, дымовыделение в пламенной зоне, изменение оптических свойств газовой среды, выделение и распространение токсичных продуктов горения, газообмен помещения с окружающей средой, теплообмен и нагревание ограждающих конструкций, снижение концентрации кислорода в помещении. Изложены краткие теоретические сведения, методики представления результатов численных экспериментов моделирования динамики опасных факторов пожара в помещении, приведен ряд исходных данных, даны примеры выполнения расчетов.

Для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, профиль «Пожарная безопасность».

Учебное электронное издание

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2019

Редактор *Т.Н. Донина*
Корректор *О.С. Фарафонова*
Компьютерная правка и верстка *О.В. Суховой*
Дизайн первого титульного экрана *Д.Л. Разумного*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2010, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 20.05.2019 г. Объем данных 0,9 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет».
129337, Москва, Ярославское ш., 26.

Издательство МИСИ — МГСУ.
Тел.: (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ 6
1.1. Цель и задачи.....6
1.2. Требования к выполнению курсовой работы 7
1.2.1. Общие требования.....7
1.2.2. Указания к оформлению текста 7
1.2.3. Оформление формул и математических выражений 8
1.2.4. Оформление таблиц 9
2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 9
2.1. Организация подготовки и выполнения курсовой работы.....9
2.2. Структура курсовой работы 9
3. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ 11
3.1. Критические значения ОФП 11
3.2. Среднеобъемные параметры газовой среды в помещении 11
3.3. Тепловыделение на начальной стадии развития пожара.....12
3.4. Расчет теплопотерь при пожаре на начальной стадии его развития 12
3.5. Критическая продолжительность пожара.....13
3.6. Уравнения, описывающие динамику развития припотолочной зоны, приведенные к безразмерному виду 14
ПРИЛОЖЕНИЯ.....17
Библиографический список.....29

ВВЕДЕНИЕ

Научно обоснованное прогнозирование динамики *опасных факторов пожара* (ОФП) в помещении является основой экономически оптимального и эффективного уровня обеспечения пожарной безопасности людей, объектов [1].

Научные методы прогнозирования ОФП основываются на математическом моделировании пожара. Математические модели развития пожара в помещении описывают в самом общем виде изменения параметров состояния среды, ограждающих конструкций. Уравнения математических моделей пожара в помещении базируются на фундаментальных законах физики: законах сохранения массы, энергии, количества движения. Эти уравнения отражают всю совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных процессов, присущих пожару: тепловыделение в результате горения, дымовыделение и изменение оптических свойств газовой среды, выделение и распространение токсичных продуктов горения, газообмен помещения с окружающей средой и со смежными помещениями, теплообмен и нагревание ограждающих конструкций и др.

Математические модели позволяют обосновать и разработать объемно-планировочные и конструктивные решения зданий и сооружений с учетом обеспечения безопасной эвакуации людей, решить вопросы, связанные с применением средств автоматической пожарной сигнализации, пожаротушения и др.

В зависимости от описания параметров состояния газовой среды в помещениях различают два основных подхода (принципа) математического моделирования пожаров — интегральный и дифференциальный.

Интегральный метод основан на моделировании пожара в помещении на уровне усредненных характеристик (среднеобъемных параметров, которыми характеризуются условия в объеме пространства: температура, давление, состав газовой среды и т.д. для любого момента времени). Это наиболее простая в математическом отношении модель пожара. Она представлена системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Искомыми функциями выступают среднеобъемные параметры газовой среды в помещении, а независимой переменной является время.

Дифференциальное (полевое) моделирование основано на описании состояния газовой среды для элементарных объемов, на которые разбивается изучаемая область пространства. Это наиболее сложная в математическом отношении модель пожара. Она представлена системой дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих пространственно-временно́е распределение температур, скоростей и концентраций компонентов газовой среды (кислорода, продуктов горения и т.д.) в помещении, давлений и плотностей.

Дифференциальное моделирование позволяет получить локальные значения термодинамических параметров пожара (плотность, температуру газовой среды, скорость движения газа, концентрации компонентов газовой среды, оптическую плотность дыма — натуральный показатель ослабления света в дисперсной среде), где независимыми аргументами являются время и координаты конкретного элементарного объема пространства в помещении.

Промежуточное место в математическом моделировании пожаров занимают *зонные* модели. Они основаны на применении интегрального метода моделирования, где исследуемый объем разбивается на зоны. Зоны выбирают так, чтобы для каждой из них газовую среду можно было описать с достаточной степенью достоверности усредненными параметрами.

Зонное моделирование пожаров предполагает условное разбиение на статические и динамические модели. Статические модели состоят из зон, не изменяющих свои геометрические размеры, переменными являются интегральные характеристики газовых сред в зонах. Динамическим моделям присуще изменение размеров зон во времени. Динамические зонные модели для помещений учитывают растекание дыма под потолком и увеличение его толщины при достижении подвижным слоем дыма стен помещения или ограждений, например, резервуаров дыма.

Основу зонных моделей пожара составляет совокупность нескольких систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Средние параметры состояния среды в каждой зоне являются искомыми функциями, независимым аргументом считается время. В общем случае искомыми функциями выступают также координаты, определяющие положения границ, характеризующих зоны.

Для проведения научно обоснованного прогноза выбор модели пожара определяется целью (задачами) прогноза (исследования). Для заданных условий однозначности (характеристик помещения, горючей нагрузки и т.д.) путем решения системы дифференциальных уравнений, составляющих основу выбранной математической модели, устанавливают динамику ОФП.

Необходимо отметить тот факт, что даже при использовании интегральной модели пожара получить аналитическое решение системы обыкновенных дифференциальных уравнений в общем случае невозможно.

Из вышесказанного следует, что реализация методов прогнозирования возможна лишь путем численного решения системы дифференциальных уравнений, а также выбранного метода математического прогнозирования. Существенным направлением изучения динамики ОФП служит компьютерный эксперимент, так как численное решение можно получить только при помощи современных ЭВМ.

В отдельных случаях при использовании интегрального термодинамического метода исследования пожара в помещении были получены аналитические решения уравнений пожара, например для пожаров, когда в проемах реализуются специфические режимы газообмена помещения с окружающей средой.

Отличительной чертой этих режимов является то, что процессы газообмена идут в одном направлении через проемы помещения. При одном режиме поступление воздуха в помещение из внешней среды полностью отсутствует. Такой режим газообмена характерен для начальной стадии пожара. При другом режиме исключается выход из помещения нагретых газов во внешнюю среду. Такой режим может реализоваться, например, при работе систем вентиляции в помещении (удаления дыма).

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Цель и задачи

Курсовая работа — важная форма обучения и контроля знаний, умений и навыков обучающихся — выполняется на основании рабочего учебного плана и рабочей программы подготовки по данной дисциплине.

Выполнение курсовой работы по дисциплине «Прогнозирование опасных факторов пожара» ставит перед обучающимися следующие задачи:

- систематизировать и закрепить теоретические знания в области математического моделирования взаимосвязанных термогазодинамических процессов, характеризующих в целом пожар в помещении;

- развивать навыки самостоятельной работы со справочной, нормативно-технической и научной литературой, нормативно-правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами по пожарной безопасности;
- развивать навыки анализа исходных данных математической модели и их влияние на динамику опасных факторов пожара;
- развивать навыки систематизации полученных результатов о взаимозависимости газообмена, теплообмена и других процессов, характеризующих развитие пожара в помещении;
- развивать навыки самостоятельной научно-исследовательской деятельности по оценке пожарной опасности и уровня противопожарной защиты зданий и сооружений;
- развивать навыки по оформлению результатов работы в виде текстового документа с построением графиков, таблиц, чертежной документации.

1.2. Требования к выполнению курсовой работы

1.2.1. Общие требования

Курсовая работа должна соответствовать ряду обязательных требований:

- самостоятельность исследования;
- анализ литературы по теме исследования;
- логичность изложения, аргументированность выводов и обобщений;
- научно-практическая значимость работы.

Вариант задания на курсовое проектирование выдает руководитель (как правило, преподаватель, ведущий занятия в данной группе).

Обучающийся составляет план-график выполнения работы, который предусматривает определение основных этапов ее написания. План-график утверждает преподаватель, ведущий занятия по этой дисциплине.

Обучающийся должен регулярно получать консультации от руководителя в соответствии с планом-графиком выполнения работы, предоставлять ему материал, согласовывать содержание и ход выполнения намеченных в плане-графике этапов, устранять указанные руководителем недостатки.

Курсовая работа выполняется по вариантам задания и состоит из двух разделов.

Первый раздел предусматривает расчет динамики развития ОФП в помещении при помощи интегральной модели.

При выполнении *второго* раздела работы следует провести аналогичные расчеты при помощи зонной модели развития пожара. В этом случае расчеты проводят при постоянном значении коэффициента теплопотерь, равном 0,55 (принимается по данным справочной литературы; при отсутствии данных может быть принят равным 0,55 [2–4]).

В завершение работы необходимо сравнить полученные значения ОФП со значениями, установленными при выполнении первой части работы и второй, а также провести анализ получившихся результатов по критической продолжительности пожара.

1.2.2. Указания к оформлению текста

Текст *пояснительной записки* (далее — ПЗ) должен быть представлен в распечатанном виде. Параметры полей страницы: верхнее и нижнее — 20, левое — 30, правое — 10 мм. Текст печатается на одной стороне писчей бумаги белого цвета формата А4 (210×297 мм) в редакторе Microsoft Word гарнитурой (шрифтом) Times New Roman через 1,5 (18 пт) интервала.

Основной текст должен быть набран кеглем 14 пт; дополнительный, включая таблицы, подрисуночные подписи, литературу и др., — кеглем 12 пт; головки таблиц и условные обозначения рисунков — 10 пт. Таблицы должны быть набраны в редакторе Word или Excel.

Допускается по согласованию с преподавателем выполнение текста ПЗ одним цветом пасты (чернил).

Нумерация страниц должна быть сквозная. Номера страниц ставятся в середине верхнего поля. Первой страницей считается титульный лист. На нем номер страницы не ставится.

Разделы должны иметь порядковые номера в пределах всего документа (части, книги), обозначенные арабскими цифрами без точки и записанные с абзацного отступа. Подразделы должны иметь нумерацию в пределах каждого раздела. Номер подраздела состоит из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. В конце номера подраздела точка не ставится. Разделы, как и подразделы, могут состоять из одного или нескольких пунктов.

Разделы, подразделы текста должны иметь заголовки. Заголовки должны четко и кратко отражать содержание разделов, подразделов. Заголовки следует печатать с прописной буквы без точки в конце, не подчеркивая. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Расстояние между заголовками раздела, подраздела и текста — 2 интервала. Каждый раздел текста ПЗ рекомендуется начинать с новой страницы.

Текст ПЗ должен быть кратким, четким и без двойственных толкований.

В ПЗ необходимо применять научно-технические термины, обозначения и определения, единицы физических величин (СИ), их наименование, установленные стандартами, а при их отсутствии — общепринятые в научно-технической литературе.

При оформлении ссылок на литературный источник ссылка в тексте дается в квадратных скобках, где указывается номер источника по списку литературы ПЗ. При упоминании в тексте какого-либо автора работы необходимо указать сначала инициалы, фамилию, затем в квадратных скобках номер по списку литературы ПЗ.

1.2.3. Оформление формул и математических выражений

Все формулы и буквенные обозначения набирают в редакторе формул Microsoft Equation.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами. Формула должна располагаться по центру страницы и отделяться от текста на 6 пт сверху и снизу, нумерация формул выравнивается по правому краю. Номер формулы (выражения) заключается в круглые скобки. Нумерацию формул ведут в пределах раздела. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (1.1) или при сквозной нумерации (1).

Пояснения символов и числовых значений, если они не объяснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснение каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле (выражении). В этом случае после формулы ставится запятая, первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяются запятыми.

При наборе формул следует сохранять размерные соотношения знаков и интервалов. Индексы и показатели степени должны быть одинаковыми по величине и одинаково спущены или подняты по отношению к линии основной строки. Индексы, относящиеся к математическим знакам с пределами, должны располагаться либо под (над) этими знаками, либо сбоку. Функции, критерии подобия набирают строчными символами и размечают прямым шрифтом.

1.2.4. Оформление таблиц

Название таблицы должно отражать ее содержание, быть точным и кратким. Название следует помещать над таблицей.

Если строки или графы таблицы выходят за формат страницы, то таблицу делят на части. При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают над первой частью таблицы. Над другими частями таблицы пишут «Продолжение таблицы» с указанием номера (обозначения) таблицы, при этом повторяют ее головку и боковик.

Обозначение единицы физической величины, общей для всех данных в графе или строке таблицы, указывают после ее наименования (через запятую).

На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте пояснительной записки. Текст и числовые значения величин в таблицах набирают с одинарным межстрочным интервалом и нулевым интервалом перед и после строк.

2. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

2.1. Организация подготовки и выполнения курсовой работы

Основные этапы выполнения курсовой работы:

- получение варианта задания, анализ исходных данных;
- изучение и описание математической модели развития пожара;
- составление плана работы;
- составление плана-графика выполнения работы;
- проведение расчетов, написание и оформление работы;
- представление работы научному руководителю.

Исходные данные для выполнения курсового проекта берут из варианта задания и справочной литературы. Они должны быть представлены в международной системе единиц (далее — СИ). Наряду с единицами СИ при необходимости в скобках указываются другие единицы.

При изучении и описании математической модели целесообразно процесс развития пожара в помещении рассматривать как в целом (как систему дифференциальных уравнений), так и по отдельным параметрам, процессам (газо-, теплообмен и т.п.).

2.2. Структура курсовой работы

Курсовая работа должна включать:

- задание на выполнение курсовой работы;
- титульный лист;
- оглавление (содержание);
- введение;
- основную часть;
- заключение (выводы);

- приложения (при необходимости);
- библиографический список.

Оглавление должно содержать названия разделов, подразделов, глав с указанием номеров страниц в тексте курсовой работы.

Введение должно быть объемом не более одной страницы.

Основная часть курсовой работы должна отражать:

- описание исходных данных;
- описание интегральной математической модели свободного развития пожара в заданном помещении;
- расчеты критических значений опасных факторов пожара в помещении;
- исследование развития пожара в помещении на начальной стадии пожара при помощи интегральной модели развития пожара;
- исследование развития пожара в помещении в начальной стадии пожара при помощи зонной модели развития пожара.

В *заключении* необходимо провести сравнительный анализ результатов расчетов прогнозирования ОФП.

Описание исходных данных используется для составления «Технического задания на выполнение курсовой работы». В техническом задании отражаются: геометрические характеристики помещения; свойства материала пожарной нагрузки (низшая теплота сгорания, удельная скорость выгорания, скорость распространения пламени по поверхности горючего материала (линейная скорость пламени); стехиометрические коэффициенты: для полного сгорания кислорода, образования оксида углерода (II), образования оксида углерода (IV); дымообразующая способность.

Место возникновения пожара (очага пожара) необходимо принимать в центре площади, занятой горючим материалом. При линейном распространении пожара по поверхности твердых горючих материалов место возникновения горения принимают на короткой стороне (ширине) площадки, занимаемой горючим материалом. Указывают температуру и давление наружного воздуха, параметры газовой среды перед началом пожара в помещении (начальные условия). По согласованию с преподавателем допускается принимать другие размеры и место расположения очага пожара в помещении.

Описание интегральной математической модели свободного развития пожара в заданном помещении: приводят систему дифференциальных уравнений применительно к решаемой задаче: общий вид уравнений и со структурными изменениями исходя из условий задания.

При проведении *расчетов критических значений опасных факторов пожара в помещении* необходимо привести расчетные уравнения и получить результаты критических параметров газовой среды в помещении.

При *исследовании развития пожара в помещении на начальной стадии пожара при помощи интегральной модели развития пожара* необходимо рассчитать время наступления критических значений параметров ОФП на высоте рабочей зоны, равной 1,7 м.

При проведении *исследования развития пожара в помещении в начальной стадии пожара при помощи зонной модели развития пожара* необходимо привести общие сведения о методе моделирования, установить динамику опасных факторов пожара, а также определить время достижения припотолочной зоны заданного уровня (нижней границы припотолочного слоя (по согласованию с преподавателем) при постоянном значении коэффициента теплопотерь, равном 0,55, и установить достижение пороговых/предельно допустимых значений каждому ОФП.

3. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

3.1. Критические значения ОФП

Наиболее просто связь между критическими значениями средних параметров и их локальными значениями выглядит для случая, когда значения всех локальных параметров состояния отличаются только вдоль вертикальной координаты, а в горизонтальных плоскостях все величины имеют одно и то же значение. В ГОСТ 12.1.004—91 для этого случая определена формула [4]

$$\frac{\Phi_{\text{кр}} - \Phi_0}{\Phi_{\text{доп}} - \Phi_0} = \left[\frac{y}{2h} exp\left(1{,}4\frac{y}{2h}\right)\right]^{-1},$$

где $\Phi_{\text{кр}}$ — критическое значение среднего параметра состояния;

Φ_0 — начальное значение ОФП;

$\Phi_{\text{доп}}$ — предельно допустимое значение ОФП в рабочей зоне;

y — координата рабочей зоны, отсчитываемая от поверхности пола;

h — половина высоты помещения.

3.2. Среднеобъемные параметры газовой среды в помещении

Параметр *A* — размерный комплекс, зависящий от формы поверхности горения и характеристик горючих веществ и материалов.

При круговом распространении пожара (распространении пожара по поверхности *твердых горючих материалов* (ТГМ) параметр *A* имеет вид

$$A = \frac{\pi}{3}\psi_{\text{уд}}\upsilon_{\text{л}}^2;$$

- при линейном —

$$A = \frac{1}{2}b\psi_{\text{уд}}\upsilon_{\text{л}};$$

- при неустановившемся горении горючей жидкости (ГЖ) —

$$A = \frac{3}{2}F_{\text{г}}\psi_{\text{уд}}\frac{1}{\sqrt{t_{\text{ст}}}}.$$

Параметр *B* — размерный комплекс, зависящий от теплоты сгорания материала и свободного объема помещения:

$$B = \frac{C_{\text{р}}\rho_0 T_0 V}{\eta(1-\varphi)Q_{\text{н}}^{p}},$$

где $\psi_{\text{уд}}$ — удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с);

$\upsilon_{\text{л}}$ — линейная скорость распространения пламени по твердому горючему материалу, м/с;

b — ширина фронта пламени, м;

$F_{\text{г}}$ — площадь горения, м^2;

$t_{\text{ст}}$ — время стабилизации горения ГЖ, с;

$C_{\text{р}}$ — теплоемкость газовой среды в помещении, Дж/(кг·°К);

ρ_0 — начальное значение плотности газовой среды в помещении, кг/м^3;

T_0 — начальное значение температуры газовой среды в помещении, °К;
V — объем помещения, м³;
η — коэффициент полноты сгорания;
φ — коэффициент теплопотерь;
$Q_н^p$ — низшая теплота сгорания материала горючей нагрузки помещения, Дж/кг.

3.3. Тепловыделение на начальной стадии развития пожара

$Q_{пож}$ — тепловыделение в очаге горения, Дж:

$$Q_{пож} = \psi Q_н^p \eta.$$

Если процесс распространения пожара по поверхности ТГМ является круговым, то скорость выгорания имеет вид

$$\psi = \psi_{уд} \pi {\upsilon_л}^2 t^2.$$

Если процесс распространения пожара по поверхности ТГМ является линейным, то функция имеет вид

$$\psi = \psi_{уд} b \upsilon_л t.$$

Зависимость для расчета скорости выгорания ГЖ применима лишь при $t < t_{ст}$ и имеет вид

$$\psi = \psi_{уд} F_г \sqrt{\frac{t}{t_{ст}}}.$$

3.4. Расчет теплопотерь при пожаре на начальной стадии его развития

Коэффициент, выражающий отношение суммарного теплопотока к скорости тепловыделения в очаге горения, — это коэффициент теплопотерь φ:

$$\varphi = (1 - \varphi)^m Г Ф + \Delta rad,$$

где значение степени m зависит от вида распространения пожара:

- при круговом распространении $m = 2/3$;
- при линейном $m = 1/2$;
- при нестационарном горении ГЖ $m = 1/3$;

Г — безразмерный коэффициент, учитывающий макрокинетику горения,

$$Г = \frac{\beta\left(T_{кр} - T_0\right)^{2/3}}{\left(\eta Q_н^p \psi_{уд} \upsilon_л^2 C_\rho^2 \rho_0^2\right)^{1/3}},$$

здесь β = 0,595;

$T_{кр}$ — критическое значение температуры °К;

Ф — безразмерный коэффициент, учитывающий формы помещения,

$$Ф = \frac{F_W}{V^{2/3}},$$

здесь F_W — площадь ограждающих конструкций, $F_w = 2\left[l_1 l_2 + 2h\left(l_1 + l_2\right)\right]$, l_1 и l_2 — ширина и длина помещения, м;

Δrad — радиационные потери,

$$\Delta\mathrm{rad} = \frac{1}{2}\varepsilon C\frac{\left(\frac{T_{\text{пл}}}{100}\right)^4}{\eta Q_{\text{н}}^{p}\psi_{\text{уд}}},$$

здесь ε — степень черноты пламени;

C — коэффициент излучения, Вт/(м^2·К$^{-4}$);

$T_{\text{пл}}$ — температура пламени, °К.

Представленные формулы позволяют произвести расчеты и на достаточном уровне характеризуют степень выполнения задач курсовой работы.

3.5. Критическая продолжительность пожара

Критическая продолжительность пожара по условию достижения ***температурой*** в рабочей зоне предельно допустимого значения может быть найдена из выражения

$$t_{\text{кр}}^{T} = \left[\frac{B}{A}\ln\left(\frac{T_{\text{кр}}}{T_0}\right)\right]^{\frac{1}{n}}.$$

Критическая продолжительность пожара по условию достижения ***парциальной плотности кислорода*** в рабочей зоне своего предельно допустимого значения определяется по формуле

$$t_{\text{кр}}^{\text{O}_2} = \left[\frac{B}{A}\ln\left(\frac{\frac{BL_{\text{O}_2}\eta}{V} + \rho_0^{\text{O}_2}}{\frac{BL_{\text{O}_2}\eta}{V} + \rho_{\text{кр}}^{\text{O}_2}}\right)\right]^{\frac{1}{n}},$$

где L_{O_2} — стехиометрический коэффициент для кислорода (количество кислорода, необходимое для сгорания единицы массы горючего материала, кг/кг);

$\rho_0^{\text{O}_2}$ — начальное значение плотности кислорода в помещении, кг/м^3;

$\rho_{\text{кр}}^{\text{O}_2}$ — критическое значение парциальной плотности кислорода, кг/м^3.

Критическая продолжительность пожара по условию достижения ***парциальной плотности токсичного газа*** в рабочей зоне помещения своего предельно допустимого значения рассчитывается по формуле

$$t_{\text{кр}}^{\text{ТГ}} = \left[\frac{B}{A}\ln\left(\frac{1}{1 - \frac{(1-\varphi)Q_{\text{н}}^{p}}{C_{\text{р}}\rho_0 T_0 L_{\text{ТГ}}}\rho_{\text{кр}}^{\text{ТГ}}}\right)\right]^{\frac{1}{\text{n}}},$$

где $L_{\text{ТГ}}$ — стехиометрический коэффициент для токсичных газов (количество токсичного газа, выделяемого при сгорании единицы массы горючего материала, кг/кг);

$\rho_{\text{кр}}^{\text{ТГ}}$ — критическое значение парциальной плотности токсичного газа, кг/м^3.

Критическая продолжительность пожара по потере видимости по условию достижения оптической плотностью ***дыма*** в рабочей зоне своего предельно допустимого значения имеет вид

$$t_{\text{кр}}^{\mu} = \left[\frac{B}{A}\ln\left(\frac{1}{1-\frac{\eta(1-\varphi)Q_{\text{н}}^{p}}{C_{\text{р}}\rho_0 T_0 D}\mu_{\text{кр}}}\right)\right]^{\frac{1}{n}},$$

где D — дымообразующая способность горючего материала, непер·м^2/кг;

$\mu_{\text{кр}}$ — критическое значение оптической плотности дыма, непер/м;

значение степени n зависит от вида распространения пожара:

- при круговом распространении пожара $n = 3$;
- при линейном $n = 2$;
- при нестационарном горении ГЖ $n = 3/2$.

3.6. Уравнения, описывающие динамику развития припотолочной зоны, приведенные к безразмерному виду

Для *кругового и линейного распространения пожара* уравнение движения припотолочного слоя имеет вид

$$-\frac{dy_k}{dt} = \frac{(1-\varphi)}{\rho_0 C_p T_0 F_{\text{пот}}} Q_{\text{пож}} + \frac{0{,}21}{\rho_0 F_{\text{пот}}}\left[\frac{g\rho_0^2 Q_{\text{пож}}(1-\chi)}{C_p T_0}\right]^{1/3}(y_k + y_0)^{5/3},$$

где y_k — координата нижней границы припотолочной зоны (координата уменьшается), отсчитываемая от поверхности горения, м;

y_0 — расстояние от фиктивного источника тепла до поверхности горения, м; $y_0 = 1{,}5\sqrt{F_{\text{г}}}$;

$F_{\text{пот}}$ — площадь потолка, м^2;

g — ускорение свободного падения, м/с^2;

χ — радиационные потери в ограждающие конструкции, $\chi = \frac{Q_{w1}}{Q_{\text{пож}}}$.

При $\frac{(1-\varphi)}{\rho_0 C_p T_0 F_{\text{пот}}} Q_{\text{пож}} = \beta(t)$, $\frac{0{,}21}{F_{\text{пот}}}\left[\frac{gQ_{\text{пож}}(1-\chi)}{\rho_0 C_p T_0}\right]^{1/3} = \gamma(t)$ и

$Q_{\text{пож}} = \eta\psi_{\text{уд}} Q_{\text{н}}^{p} F_{\text{г}}$ получим

$$\frac{dy_k}{dt} + \gamma(y_k + y_0)^{5/3} + \beta = 0.$$

Функции $\beta(t)$ и $\gamma(t)$ при горении твердых горючих материалов в момент времени $t = 0$ равны нулю, так как $F_{\text{г}} \to 0$.

Уравнение движения припотолочного слоя в безразмерных координатах имеет вид

$$-\frac{d\bar{y}_{\text{к}}}{d\bar{t}} = a\,A\,\bar{t}^2 + b\,A^{1/3}\,B^{4/3}\,F\,\bar{t}^{2/3}\,(\bar{y}_{\text{к}} + 1{,}5\,B^{-1}\,\bar{t})^{\,5/3},$$

где $a = \frac{(1-\varphi)}{\pi^{1/2}}$;

$b = \frac{0{,}21(1-\chi)^{1/3}\eta^{1/3}}{\pi^{1/2}}$;

A — безразмерный параметр, характеризующий горючие свойства ГМ и теплофизические свойства окружающего воздуха, $A = \left[\frac{Q_н^p\ \psi_{уд}}{\rho_0 C_p T_0 U_л}\right]$;

B — безразмерный параметр, характеризующий геометрическую форму помещения, $B = \left[\frac{2h^{2/3}}{F_{пот}^{1/3}}\right]$;

F — безразмерный параметр, характеризующий влияние естественной конвекции в сравнении с горизонтальным перемещением очага, $F = \left(\frac{g2h}{U_л^2}\right)^{1/3}$.

Время окончания первой фазы пожара

$$\bar{t} = \frac{\pi^{1/2} \upsilon_л\ t}{V^{1/3}}\ ;$$

Безразмерная координата нижней границы припотолочного слоя

$$\bar{y}_k = \frac{y_k}{2h}.$$

Для *случая постоянной площади горения* $F_г = \text{const}$ ($Q_{пож} = \text{const}$) уравнение движения припотолочного слоя имеет вид

$$-\frac{dy_k}{dt} = C_1 + C_2(y_k + y_0)^{5/3} = 0,$$

где $\frac{(1-\varphi)Q_{пож}}{\rho_0 C_p T_0 F_{пот}} = C_1 = \text{const}$; $\frac{0{,}21}{\rho_0 F_{пот}}\left[\frac{g\rho_0^2 Q_{пож}(1-\chi)}{C_p T_0}\right]^{1/3} = C_2 = \text{const}$.

Уравнение движения припотолочного слоя в безразмерных координатах имеет вид

$$-\frac{d\overline{y_k}}{d\bar{t}} = a_1\varepsilon + \varepsilon^{1/3} b_1 B^2 F_1^{2/3}(\bar{y}_k + \bar{y}_0)^{5/3},$$

где $a_1 = \eta(1-\varphi)$; $\varepsilon = \frac{F_г}{F_{пот}}$; $B = \left[\frac{2h^{2/3}}{F_{пот}^{1/3}}\right]$; $b_1 = 0{,}21(1-\chi)^{1/3}\eta^{1/3}$;

$F_1 = \left[\frac{\rho_0 C_p T_0 2h^{1/2} g^{1/2}}{Q_н^p \psi_{уд}}\right]$; $\bar{y}_0 = 1{,}5\sqrt{\varepsilon} B^{-3/2}$.

Время окончания первой фазы пожара

$$\bar{t} = \frac{Q_н^p \psi_{уд}\ t}{\rho_0 C_p T_0 2h}.$$

Масса газов в припотолочной зоне к каждому моменту времени её развития:

$$M_2 = \int_0^t G_к(t)dt,$$

где $G_к = 0{,}21\left[\frac{g\rho_0{}^2 Q_{пож}}{C_p T_0}(1-\chi)\right]^{1/3}(y + y_0)^{5/3}$.

Для окончания первой фазы:

$$M_2 = M_0(1 - \bar{Y}_k - \varepsilon a_1 \bar{t}).$$

Плотность и температуру в припотолочной зоне в течение 1-й фазы её развития следует определять по формулам:

- плотность горячего газа к концу первой фазы:

$$\rho_2 = \frac{\mathrm{M}_2}{V_2} = \rho_0 \left(1 - \frac{\varepsilon a_1 \bar{t}}{1 - \bar{y}}\right).$$

Если окончанием первой фазы пожара является достижение припотолочного слоя уровня пола, то $V_2 = V$, а

$$\rho_2 = \frac{\mathrm{M}_2}{V_0};$$

- средняя температура в припотолочном слое горячего газа к моменту t:

$$T_2 = T_0 \frac{\rho_0}{\rho_2} = T_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{\varepsilon a_1 \bar{t}}{1 - \bar{y}}}\right).$$

Концентрацию кислорода, токсичных газов и концентрацию оптической плотности дыма в конце 1-й фазы развития пожара следует определять по формулам:

- масса сгоревшего вещества к моменту времени t:

$$\mathrm{M}_t = F_{\text{г}}\, \psi_{\text{уд}}\, t;$$

- парциальная плотность токсичных газов к концу первой фазы:

$$\rho_i = \frac{\mathrm{M}_t L_i}{V_2} = \frac{\mathrm{M}_t L_i}{V_0};$$

- оптическая плотность дыма:

$$\mu = \frac{\mathrm{M}_t\, D}{V_2} = \frac{\mathrm{M}_t D}{V_0};$$

- парциальная плотность кислорода:

$$\rho_{\mathrm{O}_2} = \frac{\mathrm{M}_b L_{\mathrm{O}_2} - \mathrm{M}_{\mathrm{O}_2}}{V_2} = \frac{\mathrm{M}_b L_{\mathrm{O}_2} - \mathrm{M}_{\mathrm{O}_2}}{V_0},$$

где M_b — масса воздуха, поступившего в припотолочную зону, кг, $\mathrm{M}_b = (\mathrm{M}_2 - \mathrm{M}_t)$.

Масса кислорода, затраченная при горении:

$$\mathrm{M}_{\mathrm{O}_2} = \mathrm{M}_t L_{\mathrm{O}_2}.$$

Необходимо провести анализ результатов путем сравнения полученных результатов с предельно допустимыми значения ОФП.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Геометрическая характеристика помещения

Таблица П1.1

Геометрические размеры помещения

Номер варианта	Длина *a*, м	Ширина *b*, м	Высота 2*h*, м	Номер варианта	Длина *a*, м	Ширина *b*, м	Высота 2*h*, м
1	5	3	4	21	57	50	8
2	8	6	4	22	60	53	8
3	12	9	4	23	63	56	8
4	15	12	4	24	66	59	8
5	18	15	4	25	48	45	6
6	21	18	4	26	69	61	8
7	24	21	4	27	6	4	5
8	27	24	4	28	12	8	6
9	30	27	4	29	18	12	6
10	33	30	4	30	24	18	6
11	36	33	6	31	30	20	8
12	39	36	6	32	36	24	8
13	42	39	6	33	42	28	8
14	45	42	6	34	48	32	8
15	39	33	6	35	54	36	6
16	42	36	6	36	10	8	6
17	45	39	6	37	22	14	6
18	48	41	6	38	34	20	6
19	51	44	6	39	46	26	6
20	54	47	6	40	58	32	6

Приложение 2

Характеристика горючей нагрузки в помещении

Характеристику типовой горючей нагрузки помещения по вариантам задания выбирают из базы данных типовой горючей нагрузки помещений по табл. П2.1.

Таблица П2.1

База данных типовой горючей нагрузки помещений

Параметры	Значение
1. Здания I–II степеней огнестойкости; мебель + бытовые изделия	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0108
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	270,0
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,0300
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,20300 0,00220
2. Здание III–IV степеней огнестойкости; мебель + бытовые изделия	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0465
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03440
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	270,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,0300
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,20300 0,00220
3. Кабинет; мебель + бумага (0,75 + 0,25)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14002,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,042
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01290
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	53,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1610
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,64200 0,03170
4. Тара: древесина + картон + полистирол (0,5 + 0,25 + 0,25)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	20710,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,01
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01800
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	155,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,5200
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,97000 0,09400

Параметры	Значение
5. Лекарственный препарат; этиловый спирт + глицерин (0,95 + 0,05)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	26600,0
Температура кипения, °С	78,3
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03300
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	88,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,3040
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,91200 0,26200
6. Библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14500,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0103
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01100
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	49,50
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1540
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,10870 0,09740
7. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14280,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,03400
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01290
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	72,40
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,4390
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,75900 0,06800
8. Резинотехнические изделия; резина, изделия из неё	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	36000,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0184
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01120
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	850,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,9900
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,41600 0,01500
9. Окрашенные полы, стены; дерево + краска РХО (0,9 + 0,1)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14100,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0151
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	71,30
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,2180
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,47300 0,03490

Параметры	Значение
10. Химическое вещество; толуол	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	40900,0
Температура кипения, °С	110,7
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,04300
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	562,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,0980
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 3,67700 0,14800
11. Бензин А-76	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	43200,0
Температура кипения, °С	185,0
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,05850
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	256,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,4050
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 2,9200 0,17500
12. Керосин	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	43300,0
Температура кипения, °С	280
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,04150
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	438,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,3410
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 2,92000 0,14800
13. Дизельное топливо; соляр	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	45400,0
Температура кипения, °С	240
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,04250
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	620,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,3680
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 3,16300 0,12200
14. Радиоматериалы; поли (этилен, стирол, пропил), гетинакс	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	34800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0137
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01770
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	381,0
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,3120
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,76400 0,10000

Параметры	Значение
15. Теплоноситель; турбинное масло ТП-22	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	41900,0
Температура кипения, °С	400,0
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03000
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	243,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	0,2820
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,70000 0,12200
16. Телефонный кабель ТПВ; ПВХ + полиэтилен	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	34600,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0022
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,00850
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	556,0
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,1900
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,90300 0,12400
17. Химическое вещество; этиловый спирт	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	27500,0
Температура кипения, °С	78,3
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03100
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	80,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,3620
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,93700 0,26900
18. Лесопильный цех I–II степеней огнестойкости	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,00
Линейная скорость пламени, м/с	0,0396
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	57,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1500
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,577000 0,02400
19. Цех деревообработки, древесина	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0220
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	57,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1500
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,57000 0,02400

Параметры	Значение
20. Производство фанеры: древесина + фанера (0,5 + 0,5)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	16100,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0191
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01170
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	80,50
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1770
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,05500 0,07200
21. Сырье для легкой промышленности; шерсть	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	21800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,028
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,02000
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	164,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,7590
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,7500 0,01530
22. Сырье и изделия из синтетического каучука	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	43000,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0143
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01100
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	212,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,9850
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,40800 0,15000
23. Склад бумаги в рулонах	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	15100,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,005
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,00800
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	41,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1580
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,66350 0,10770
24. Вешалка текстильных изделий	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	16720,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0078
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,02450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	61,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,5600
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,87900 0,06300

Параметры	Значение
25. Здания I–II степеней огнестойкости; мебель + бытовые изделия	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0108
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	270,0
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,0300
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	0,20300
оксида углерода (CO), кг/кг	0,00220
26. Здание III степени огнестойкости; мебель + ткани	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14900,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0400
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,0162
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	58,50
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,4370
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	1,32000
оксида углерода (CO), кг/кг	0,01930
27. Тара: древесина + картон + полистирол (0,5 + 0,25 + 0,25)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	20710,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,01
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01800
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	155,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,5200
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	0,97000
оксида углерода (CO), кг/кг	0,09400
28. Лекарственный препарат; этиловый спирт + глицерин (0,95 + 0,05)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	26600,0
Температура кипения, °С	78,3
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03300
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	88,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,3040
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	1,91200
оксида углерода (CO), кг/кг	0,26200
29. Общественное здание; мебель + линолеум ПВХ (0,9 + 0,1)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14000,0
Температура кипения, °С	0,015
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01370
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	47,70
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,3690
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	1,4780
оксида углерода (CO), кг/кг	0,0300

Параметры	Значение
30. Библиотеки, архивы; книги, журналы на стеллажах	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14500,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0103
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01100
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	49,50
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1540
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,10870 0,09740
31. Верхняя одежда; ворсовые ткани (шерсть + нейлон)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	23300,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0835
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01300
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	129,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,6980
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,4670 0,0145
32. Окрашенные полы, стены; дерево + краска РХО (0,9 + 0,1)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14100,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0151
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	71,30
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,2180
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,47300 0,03490
33. Дизельное топливо; соляр	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	45400,0
Температура кипения, °С	240
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,04250
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	620,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,3680
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 3,16300 0,12200
34. Радиоматериалы; поли (этилен, стирол, пропил), гетинакс	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	34800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0137
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01770
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	381,0
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,3120
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,76400 0,10000

Параметры	Значение
35. Электротехнические материалы; текстолит, карболит	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	20900,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0125
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,00760
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	327,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,9500
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	0,37500
оксида углерода (CO), кг/кг	0,05560
36. Теплоноситель; турбинное масло ТП-22	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	41900,0
Температура кипения, °С	400,0
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03000
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	243,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	0,2820
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	0,70000
оксида углерода (CO), кг/кг	0,12200
37. Электрокабель АВВГ; ПВХ-оболочка + изоляция	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	25000,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0071
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,02440
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	635,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,1900
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	0,39800
оксида углерода (CO), кг/кг	0,10900
38. Электрокабель АПВГ; ПВХ-оболочка + полиэтилен	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	36400,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0071
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,02440
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	407,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,1900
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	0,90300
оксида углерода (CO), кг/кг	0,15000
39. Телефонный кабель ТПВ; ПВХ + полиэтилен	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	34600,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0022
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,00850
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	556,0
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,1900
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	0,90300
оксида углерода (CO), кг/кг	0,12400

Параметры	Значение
40. Лекарственный препарат; этиловый спирт + глицерин (0,95 + 0,05)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	26600,0
Температура кипения, °С	78,3
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03300
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	88,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,3040
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,91200 0,26200
41. Общественное здание; мебель + линолеум ПВХ (0,9 + 0,1)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14000,0
Температура кипения, °С	0,015
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01370
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	47,70
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,3690
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 1,4780 0,0300
42. Керосин	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	43300,0
Температура кипения, °С	280
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,04150
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	438,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,3410
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 2,92000 0,14800
43. Дизельное топливо; соляр	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	45400,0
Температура кипения, °С	240
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,04250
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	620,10
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,3680
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 3,16300 0,12200
44. Здания I–II степеней огнестойкости; мебель + бытовые изделия	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0108
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01450
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	270,0
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,0300
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,20300 0,00220

Параметры	Значение
45. Здание III–IV степеней огнестойкости; мебель + бытовые изделия	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	13800,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0465
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,03440
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	270,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,0300
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,20300 0,00220
46. Кабинет; мебель + бумага (0,75 + 0,25)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14002,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,042
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01290
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	53,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,1610
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,64200 0,03170
47. Мебель + бумага (0,8) + ковровое покрытие (0,2)	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	14280,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,03400
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01290
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	72,40
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	1,4390
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,75900 0,06800
48. Резинотехнические изделия; резина, изделия из неё	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	36000,0
Линейная скорость пламени, м/с	0,0184
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,01120
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	850,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	2,9900
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 0,41600 0,01500
49. Химическое вещество; толуол	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	40900,0
Температура кипения, °С	110,7
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,04300
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	562,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,0980
Выделение газа: диоксида углерода (CO_2), кг/кг оксида углерода (CO), кг/кг	 3,67700 0,14800

Окончание прил. 2

Параметры	Значение
50. Бензин А-76	
Низшая теплота сгорания, кДж/кг	43200,0
Температура кипения, °С	185,0
Удельная скорость выгорания, кг/(м^2·с)	0,05850
Дымообразующая способность, Нп м^2/кг	256,00
Потребление кислорода (O_2), кг/кг	3,4050
Выделение газа:	
диоксида углерода (CO_2), кг/кг	2,9200
оксида углерода (CO), кг/кг	0,17500

Приложение 3

Вид распространения пламени по поверхности твердых горючих материалов по вариантам задания приведен в табл. П3.1.

Таблица П3.1

Вид распространения пламени по поверхности твердых горючих материалов

Номер варианта	Вид распространения пламени
Твердый материал	Круговое
Твердый материал (по длине)	Линейное
ГЖ, ЛВЖ	Постоянная площадь

Примечание. При линейном распространении пламени по поверхности горючего материала, расположенного на прямоугольной площадке, ширина фронта ГМ равна наименьшей стороне прямоугольника.

Приложение 4

Время стабилизации горения горючих жидкостей в зависимости от температуры кипения приведено в табл. П4.1 (для вариантов 5, 10, 11, 12, 13, 15, 17, 28, 33, 36, 40, 42, 43, 49, 50).

Таблица П4.1

Время стабилизации горения горючей жидкости

Температура кипения, °С	Время стабилизации, с
До 100	180
От 101 до 150	240
Более 150	360

Приложение 5

Начальные условия среды в помещении перед пожаром

В общем случае начальные условия записывают следующим образом:

T_0 = 292 °К — среднеобъемная температура газовой среды в помещении перед пожаром, °К;

P_0 = 101300 Па — среднеобъемное давление в помещении перед пожаром;

$X_{O_2} = 0{,}23$ — средняя массовая доля кислорода в помещении;

$X_{CO} = 0$ — средняя массовая доля оксида углерода в помещении;

$X_{CO_2} = 0$ — средняя массовая доля диоксида углерода в помещении;

$\mu_0 = 0$ — среднеобъемная оптическая концентрация дыма в помещении, Нп/м.

При рассмотрении воздействия ОФП на людей используют так называемые *предельно допустимые значения* (ПДЗ) параметров состояния среды *в зоне пребывания людей — в рабочей зоне*. Предельно допустимые значения ОФП получены в результате медико-биологических исследований, в процессе которых установлен характер воздействия ОФП на людей в зависимости от значений их количественных характеристик.

ПДЗ ОФП указаны в ГОСТ 12.1.004.91 (табл. П5.1).

Таблица П5.1

Предельно допустимые значения ОФП

ОФП, обозначение, размерность	ПДЗ
Температура, °С	70
Парциальная плотность, кг/м^3:	
кислорода	0,226
оксида углерода	0,00116
диоксида углерода	0,11
хлористого водорода	$23 \cdot 10^{-6}$
Оптическая плотность дыма, μ, немер·м$^{-1}$	$2{,}38 L_{пдв}^{-1}$, $L_{пдв}$ — предельно допустимая дальность видимости, м

Библиографический список

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ.
2. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС РФ от 30 июня 2009 г. № 382.
3. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404.