Министерство образования и науки Российской Федерации

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Н.Э. БАУМАНА

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРА

Методические указания к домашнему заданию
по третьему модулю дисциплины
«Безопасность жизнедеятельности»

К.т.н., доцент А.И. Карнюшкин
К.ф.–м.н., доцент В.В. Татаринов

Москва, 2014

УДК 614.8

ББК 68.9

Рецензент В.В. Синицын

Карнюшкин А.И., Татаринов В.В.

Расчёт параметров пожара: методические указания к решению задач домашнего задания по оценке пожарной обстановки по третьему модулю курса «Безопасность жизнедеятельности».

Представлены термины и определения основных характеристик пожара; приведены примеры решения задач по оценке параметров пожара по курсу «Безопасность жизнедеятельности»; даны варианты домашних заданий.

Домашнее задание состоит из двух задач. Номер варианта выбирается в соответствии с порядковым номером в журнале группы. Первая задача – свой вариант по образцу примеров с №1 по № 5. Вторая задача – по образцу примера № 6.

Для студентов всех специальностей МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Цели выполнения домашней работы:

- ознакомиться с основными параметрами пожара;
- изучить формулы, необходимые для расчётов основных параметров пожара;
- провести расчёты в соответствии с выданным вариантом:

1. при возгорании на складах древесины,
2. при возгорании резервуаров с углеводородами,
3. при возникновении пожаров в закрытых объёмах (в производственных, жилых и нежилых помещениях).

Введение

Горением называется физико-химический процесс, при котором горючие вещества под воздействием высоких температур вступают в химическое взаимодействие с окислителем, превращаясь в продукты горения.

Горение, как правило, в большинстве случаев сложный химический процесс, состоящий из реакций окислительно-восстановительного типа.

Горение сопровождается интенсивным выделением теплоты и световым излучением.

Для возникновения, развития и распространения процесса горения и его длительного существования необходимо выполнение определённых условий, без которых этот процесс невозможен:

• наличие горючей смеси, то есть определённое сочетание горючего вещества с окислителем (обычно кислородом воздуха);

• инициация реакции между горючим веществом и окислителем.

Основными факторами, определяющими возникновение реакции между горючим веществом и окислителем, являются:

• нагревание горючей смеси до температуры самовоспламенения или самовозгорания;

• воздействие внешнего источника зажигания.

При возникновении горения в случае нагревания горючей смеси до температуры самовоспламенения или самовозгорания процесс горения осуществляется в режиме самовоспламенения (самовозгорания). При возникновении горения от источника зажигания происходит вынужденное воспламенение или вынужденное зажигание горючей смеси.

Основными условиями вынужденного зажигания являются:

• наличие горючего вещества или горючей смеси веществ;

• наличие окислителя;

• наличие источника зажигания, под воздействием которого начинается протекание химических реакций горения между компонентами горючей смеси.

Горючее вещество — это вещество, способное к горению. Горючие вещества характеризуются ***горючестью.***

Горючесть — это способность вещества или материала к распространению пламенного горения или тления.

Горючесть веществ характеризуется физико-химическими свойствами, агрегатным состоянием, особенностями загорания и горения.

Способность к горению определяется основными показателями, приведёнными в табл. 1, набор которых зависит от агрегатного состояния и условий процесса горения.

По горючести вещества или материалы подразделяются на три группы:

• ***негорючие*** (несгораемые);

• ***трудногорючие*** (трудносгораемые);

• ***горючие*** (сгораемые).

Негорючие вещества не могут гореть на воздухе (металлы, их сплавы, керамические материалы и др.).

Трудногорючие вещества и материалы могут загораться на воздухе от источника зажигания, но не способны самостоятельно гореть после его удаления. К таким веществам относятся полихлорвиниловая плитка, фенолформальдегидный стеклопластик, древесина, подвергнутая поверхностной огнезащитной обработке и др.

Горючие вещества и материалы способны самовозгораться или возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления (древесина, торф, уголь, нефтепродукты, органические химические вещества и пр.).

Горючее вещество и окислитель образуют горючую смесь — ***горючую систему.***

Таблица 1.

Основные показатели пожаро–, взрывоопасности

Показатель	Агрегатное состояние веществ			
	твёрдое	жидкое	газы	пыли
Группа горючести	+	+	+	+
Температура				
тления	+	–	–	+
вспышки	–	+	–	–
воспламенения	+	+	–	+
самовоспламенения	+	+	+	+
самовозгорания	+	–	–	+
Температурные пределы распространения пламени	–	+	+	–
Скорость выгорания	–	+	–	–
Коэффициент дымообразования	+	–	–	–
Способность взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами	+	+	+	+

Примечание. Знак «+» означает применяемость, знак «–» — неприменяемость показателя.

Источник зажигания (воспламенения) **—** это любой источник теплоты, способный нагреть горючее вещество до определённой температуры (температуры воспламенения или самовоспламенения).

Наиболее распространёнными источниками зажигания являются:

• искры различного происхождения: появляющиеся при неисправности электрооборудования; при соударении металлических тел, при сварке, кузнечных работах и т.д.;

• нагретые тела;

• теплота, возникающая в результате трения;

• аппараты огневого действия;

• искровые заряды статического электричества;

• теплота адиабатического сжатия;

• перегрев электрических контактов;

• химические реакции, протекающие с выделением теплоты;

• пламя и др.

Пожар – неконтролируемый процесс горения, причиняющий материальный ущерб, вред жизни и здоровью людей, интересам общества и государства.

Исследование процесса возгорания различных материалов, опасных поражающих факторов пожара, мероприятий противопожарной защиты и обеспечения безопасности являются жизненно важными требованиями для безопасного существования в современном мире.

1. Причины возникновения пожаров:

- несоблюдение правил эксплуатации производственного оборудования и электрических устройств;
- неосторожное обращение с огнём;
- самовозгорание веществ и материалов;
- грозовые разряды;
- поджоги, боевые действия;
- неправильное пользование газовым оборудованием;
- солнечный луч, действующий через различные оптические системы.

2. Виды пожаров:

- пожары на транспортных средствах;
- степные и полевые пожары;
- подземные пожары в шахтах и рудниках;
- торфяные и лесные пожары;
- техногенные пожары (в резервуарах и резервуарных парках, АЭС, электростанциях ит.п.)
- пожары в зданиях и сооружениях:

- наружные (открытые), в них хорошо просматриваются пламя и дым;
- внутренние (закрытые), характеризующиеся скрытыми путями распространения пламени.

3. Зоны пожара

Внешними признаками зоны активного горения является наличие пламени, а также тлеющих или раскалённых материалов. Основной характеристикой разрушительного действия пожара является температура, развивающаяся при горении. Для жилых домов и общественных зданий температуры внутри помещения достигают 800 – 900 °С. Как правило, наиболее высокие температуры возникают при наружных пожарах и в среднем составляют для горючих газов 1200 – 1350 °С, для жидкостей 1100 – 1300 °С, для твёрдых веществ 1000 – 1250 °С. При горении термита, электрона, магния максимальная температура достигает 2000 – 3000 °С.

Пространство вокруг зоны горения, в котором температура в результате теплообмена достигает значений, вызывающих разрушающее воздействие на окружающие предметы и опасных для человека, называют зоной теплового воздействия. Принято считать, что в зону теплового воздействия, окружающую зону горения, входит территория, на которой температура смеси воздуха и газообразных продуктов сгорания не меньше 60 – 80 °С. Во время пожара происходят значительные перемещения воздуха и продуктов сгорания. Нагретые газообразные продукты сгорания устремляются вверх, вызывая приток более плотного холодного воздуха к зоне горения. При пожарах внутри зданий интенсивность газового обмена зависит от размеров и расположения проёмов в стенах и перекрытиях, высоты помещений, а также от количества и свойств горящих материалов. Направление движения нагретых продуктов обычно определяет и вероятные пути распространения пожара, так как мощные восходящие

тепловые потоки могут переносить искры, горящие угли и головни на значительное расстояние, создавая новые очаги горения. Выделяющиеся при пожаре продукты сгорания (дым) образуют зону задымления. В состав дыма обычно входят азот, кислород, оксид углерода, углекислый газ, пары воды, а также пепел и другие вещества. Многие продукты полного и неполного сгорания, входящие в состав дыма, обладают повышенной токсичностью, особенно токсичны продукты, образующиеся при горении полимеров. В некоторых случаях продукты неполного сгорания, например оксид углерода могут образовывать с кислородом горючие и взрывоопасные смеси.

Согласно статистике, люди при пожаре гибнут именно от дыма (продуктов горения), а не собственно от огня.

4. Параметры пожара

Для решения практических задач пожарной безопасности необходимо знать параметры, описывающие комплекс процессов, составляющих такое сложное явление как пожар.

Суммарная масса горючих веществ и материалов, приходящихся на 1м^2 площади их размещения, S называется *удельной горючей нагрузкой* $p_{ГН}$:

$$p_{ГН} = \frac{\sum m_i}{S}, \text{кг/м}^2, \qquad (4.1)$$

где m_i–масса i–го горючего материала, кг; S – площадь размещения, м^2.

Площадью размещения называется площадь участка, выделенного ограждающими конструкциями или противопожарными разрывами, на котором находятся горючие вещества и материалы. Если горючие вещества и материалы находятся в помещении, не разделённом преградами с нормируемым пределом огнестойкости или проходами (проездами), ширина которых меньше требуемых, площадь размещения равна площади пола.

Все горючие вещества и материалы, находящиеся на объекте, являются потенциальными источниками энергии, которые при пожаре выделяют тепло. Поэтому при характеристике степени пожарной опасности объектов используется *удельная пожарная нагрузка* $g_{ПН}$ – количество тепла, выделяемое горючей нагрузкой при полном сгорании,:

$$g_{ПН} = \frac{\sum m_i Q_{нi}}{S}, \text{ МДж/м}^2 \quad (4.2)$$

где Q_{Hi} – низшая теплота сгорания i–го горючего вещества или материала, кДж/кг.

Продолжительность (время) пожара $\tau_п$ – время с момента возникновения горения до полного его прекращения, мин, час.

Время свободного развития пожара – время с момента возникновения горения до начала подачи огнетушащего вещества в очаг пожара, мин, час.

Площадь пожара $S_П$ – площадь проекции зоны горения на горизонтальную плоскость.

Площадь поверхности горения $S_{ПГ}$ – характеризует реальную площадь горючего, которая участвует в горении, т.е. выделяет горючие газы при пиролизе или испарении, а также взаимодействует с окислителем в гетерогенном режиме.

Коэффициент поверхности горения $K_П$ – отношение площади поверхности горения к площади пожара:

$$K_П = \frac{S_{ПГ}}{S_П}. \quad (4.3)$$

Линейная скорость распространения пожара $v_л$ – путь, который на данном объекте проходит фронт пламени в единицу времени, м/мин.

Величина $v_л$ определяет площадь пожара на данный момент. Она зависит от вида горючего, характеристик пожарной нагрузки, вида пожара и других факторов.

Массовая скорость выгорания абсолютная $v_{м}^{абс}$ – показывает, какая масса твёрдых горючих материалов или жидкости при горении переходит в газообразное состояние в единицу времени.

Приведённая массовая скорость выгорания $v_{м}^{пр}$ – масса горючего вещества или материала, выгорающая в единицу времени с единицы площади пожара:

$$v_{м}^{пр} = v_{м}^{абс} / S_{п} \ . \qquad (4.4)$$

Удельная массовая скорость выгорания $v_{м}^{уд}$ – масса горючего вещества или материала, выгорающая в единицу времени с единицы площади поверхности горения:

$$v_{м}^{уд} = v_{м}^{абс} / S_{пг} \ . \qquad (4.5)$$

Теплота пожара – количество тепла, выделяющееся в зоне горения в единицу времени, кВт:

$$q_{п} = v_{м}^{абс} Q_{н} \beta \ , \qquad (4.6)$$

где β – коэффициент полноты сгорания (0,75 – 0,9).

Температура пожара. Температурой внутреннего пожара считается среднеобъёмная температура газовой среды в помещении, температурой открытого пожара – максимальная температура пламени.

5. Расчёт площади пожара в условиях неограниченного газообмена

Площадь пожара – это нормативный параметр, используемый для решения целого ряда практических задач, таких как определение сил и средств для тушения пожара, проектирование автоматических систем пожарной защиты и т.д.

Обозначения:

🚩 – место возникновения пожара;

$S_{п}$ – площадь пожара, м^2;

τ – время, мин;

S_{d}^{τ} – площадь пожара в момент времени τ, м^2;

L_τ – путь, пройдённый фронтом пламени к моменту времени τ, м;

$v_{\text{л}}^{\text{табл}}$ – табличное значение линейной скорости распространения пожара, м/мин.

Усреднённые значения линейной скорости ($v_{\text{л}}^{\text{табл}}$) для разных объектов приведены таблице приложения.

При расчёте площади пожара принимается ряд допущений.

Первое: горючая нагрузка в помещении однородна и распределена равномерно по всей площади пола.

Второе: газообмен не лимитирует скорость и направление распространения пожара.

Третье: фронт пламени распространяется во все стороны с одинаковой скоростью. Следовательно, расчётная площадь пожара может иметь форму правильных геометрических фигур: круга, полукруга, сектора, прямоугольника (рис. 5.1 – 5.3).

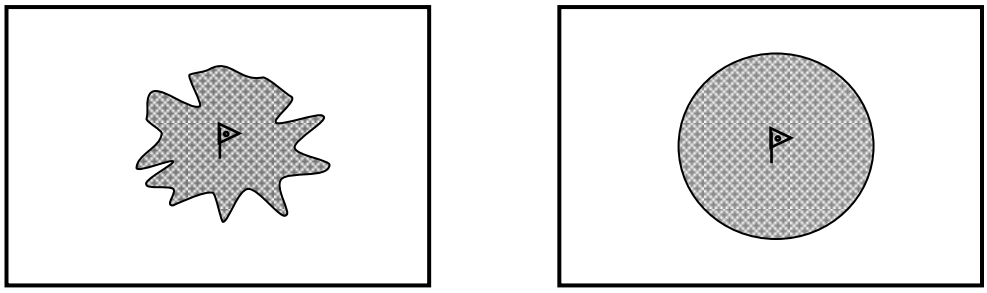


Рис. 5.1 Приведение формы пожара к круговой

Четвёртое: в первые 10 минут свободного развития пожара линейная скорость распространения $v_{\text{л}}$ равна половине значения, указанного в таблице для соответствующего объекта. Т.е. при τ ≤ 10 мин $v_{\text{л}} = 0{,}5v_{\text{л}}^{\text{табл}}$; при τ > 10 мин $v_{\text{л}} = v_{\text{л}}^{\text{табл}}$.

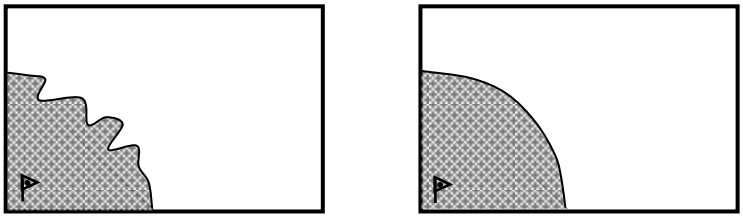


Рис. 5.2 Приведение формы пожара к угловой

Пятое: когда фронт пламени достигает ограждающей конструкции,

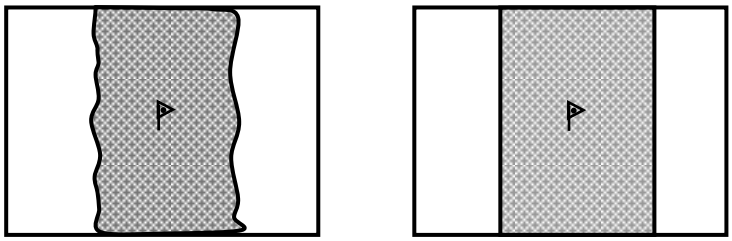
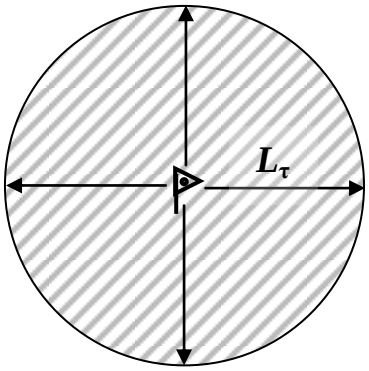


Рис. 5.3 Приведение формы пожара к прямоугольной

он спрямляется.

Таким образом, значение площади пожара $S_п$ в каждый момент времени рассчитывается по следующим основным формулам:

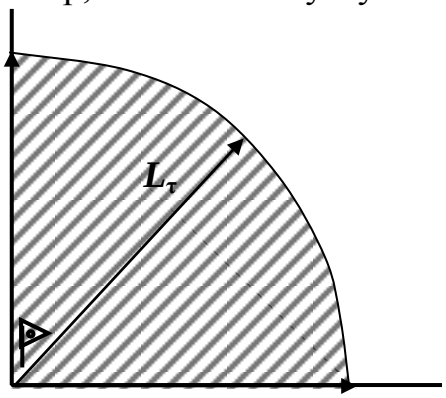
1. Круговой пожар:



$$S_п = \pi L_\tau^{\,2}. \qquad (5.1)$$

Рис. 5.4

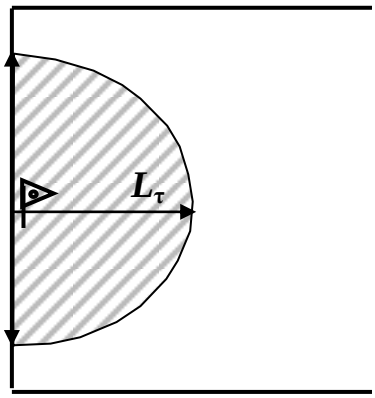
2. Пожар,возникший в углу помещения



$$S_{д'} = \pi L_\tau^{\,2} / 4. \qquad (5.2)$$

Рис. 5.5.

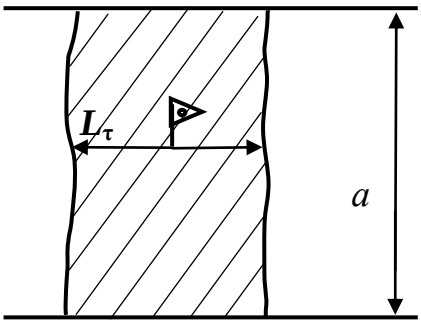
3. Пожар, возникший возле стены



$$S_{д} = \pi L_\tau^{\,2} / 2. \qquad (5.3)$$

Рис. 5.6

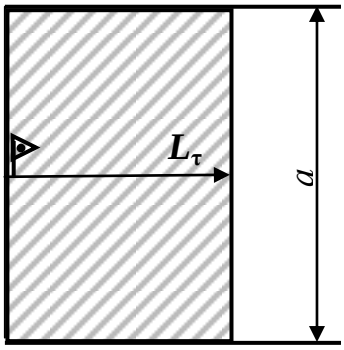
4. Прямоугольная форма пожара (двухсторонняя)



$$S_{д} = 2L_\tau a. \qquad (5.4)$$

Рис. 5.7

5. Прямоугольная форма пожара (односторонняя)



$$S_{д} = aL_\tau. \qquad (5.5)$$

Рис. 5.8.

Учитывая, что до 10–й минуты включительно $v_л = 0{,}5v_л^{табл}$, путь, пройдённый фронтом пламени к моменту τ, будет равен:

$$L_\tau = 0{,}5v_л^{табл}\tau \text{ при } \tau \le 10 \text{ мин}; \qquad (5.6)$$

$$L_\tau = L_{10} + L_{\tau-10} \text{ при } \tau > 10 \text{ мин}. \qquad (5.7)$$

Здесь:

L_{10} – путь, который проходит фронт пламени за первые 10 мин;

$L_{10} = 0{,}5v_{л}^{табл} \cdot 10 = 5v_{л}^{табл}$,м;

$L_{\tau-10}$ – путь, который проходит фронт пламени за время, оставшееся после 10 мин.:$L_{\tau-10} = v_{л}^{табл}(\tau - 10)$, м.

Тогда при $\tau > 10$ мин:

$$L_{\tau} = 5v_{л}^{табл} + v_{л}^{табл}(\tau - 10) \quad (5.8)$$

или

$$L_{\tau} = v_{л}^{табл}(\tau - 5). \quad (5.9)$$

Результаты расчётов представляются в виде плана и графика распространения пожара. Для этого положение фронта пламени отмечается на плане объекта сплошными ровными линиями, на которых указываются расчётные моменты времени. Промежутки между линиями заштриховываются. Полученный таким образом рисунок является планом распространения пожара.

По значениям $S_{п}^{\tau}$ в масштабе строится зависимость $S_{п} = f(\tau)$, которая называется графиком распространения пожара.

Определение площади пожара на заданный момент времени целесообразно проводить в следующей последовательности:

1. нарисовать план помещения и отметить на нем место возникновения пожара;

2. найти L_{τ};

3. на плане помещения отложить L_{τ}, отметить сплошной ровной линией положение фронта пламени, указать значение τ;

4. учитывая, что при достижении ограждающих конструкций фронт пламени спрямляется, определить форму полученной геометрической фигуры;

5. найти площадь пожара по одной из формул (5.1 – 5.5).

Если момент времени заранее не задан, порядок расчётов, построения плана и графика может быть следующим:

1. нарисовать план помещения и отметить на нем место возникновения пожара;

2. выбрать характерные точки – детали объекта, до которых будет доходить фронт пламени (ограждающие конструкции, перегородки, проёмы и т.п.);

3. рассчитать L_{10} – путь, который проходит фронт пламени за первые 10 мин, т.е. со скоростью $v_л = 0{,}5v_л^{табл}$;

4. определить расстояние L_τ до первой опорной точки и найти время τ, за которое это расстояние будет пройдено, выразив его из формул (5.6) – если $L_\tau \le L_{10}$, (5.8) или (5.9) – если $L_\tau > L_{10}$;

5. определить $S_п^\tau$, как описано выше;

6. повторить расчёты для всех остальных опорных точек;

7. построить план и график распространения пожара.

6. Примеры решения задач

<u>Пример 1</u>. Рассчитать удельную массовую скорость выгорания $v_м^{уд}$ штабеля, сложенного из деревянных брусьев, если за τ =15 минут пожара его масса уменьшилась на Δm =15 %. Штабель состоит из пяти рядов (n = 5), в каждом ряду размещаются десять брусьев (k = 10). Размеры бруса – 0,1×0,1×2 м (a = 0,1 м). Плотность древесины составляет ρ = 450 кг/м^3. Определить коэффициент поверхности данного штабеля $K_п$.

Решение.

Удельная массовая скорость выгорания рассчитывается по формуле 4.5.

Изменение массы штабеля за время горения равно:

$$\Delta m = \eta \cdot \rho \cdot V \cdot k \cdot n,$$

где: η – доля выгоревшей массы штабеля; V–объём одного бруса, м^3; k– количество брусьев в одном ряду, n–количество рядов в штабеле.

$$\Delta m = 0{,}15 \cdot 450 \cdot 0{,}1^2 \cdot 2 \cdot 10 \cdot 5 = 67{,}5 \text{ кг}.$$

В конструкции штабеля имеются скрытые и открытые поверхности (рис. 6.1).

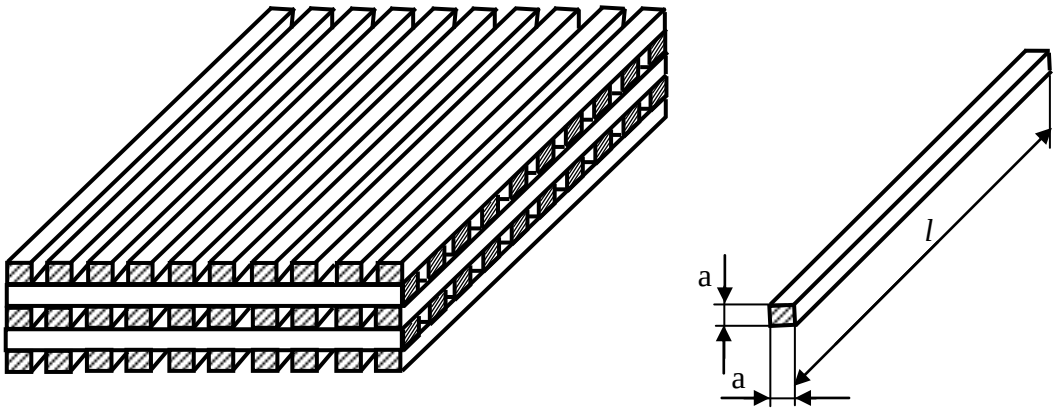


Рис. 6.1

Скрытая поверхность штабеля состоит из граней брусьев, находящихся в нижнем ряду и соприкасающихся с поверхностью земли, а также участков брусьев, соприкасающихся друг с другом. Суммарная площадь скрытой поверхности $S_{скр}$ равна:

$$S_{скр} = a \cdot l \cdot k + 2a^2 \cdot k^2 (n-1),$$

где k– количество брусьев в одном ряду, n – количество рядов в штабеле.

Открытая поверхность (поверхность горения $S_{пг}$) рассчитывается как разность общей поверхности всех брусьев $S_{общ}$ и скрытой поверхности брусьев в штабеле.

$$S_{пг} = S_{откр} = S_{общ} - S_{скр},$$

где общая поверхность штабеля – это сумма площадей всех граней одного бруса, умноженная на количество всех брусьев в штабеле $k \cdot n$:

$$S_{общ} = (2a^2 + 4a \cdot l)\, k \cdot n,$$

$$S_{общ} = (2 \cdot 0{,}1^2 + 4 \cdot 0{,}1 \cdot 2) \cdot 10 \cdot 5 = 41 \text{ м}^2.$$

Скрытая поверхность штабеля равна:

$$S_{скр} = 0{,}1 \cdot 2 \cdot 10 + 2 \cdot 0{,}1^2 \cdot 10^2 \cdot (5 - 1) = 10 \text{ м}^2.$$

Поверхность горения штабеля $S_{пг}$ равна:

$$S_{пг} = 41 - 10 = 31 \text{ м}^2.$$

Удельная массовая скорость выгорания:

$$\upsilon_м^{уд} = 67{,}5/(31 \cdot 15 \cdot 60) = 0{,}0024 \text{ кг/(м}^2\text{с)}.$$

Площадь пожара $S_П$ составляет:

$$S_П = l^2 = 2^2 = 4 \text{ м}^2.$$

Коэффициент поверхности горения штабеля определяем по формуле 4.3:

$$K_п = 31/4 = 7{,}75.$$

<u>Пример 2.</u> Найти массу сгоревшей древесины Δm при пожаре штабеля, сложенного из брёвен в 5 рядов (n = 5). В каждом ряду семь брёвен (k = 7) (рис. 6.2). Плотность древесины составляет ρ = 500 кг/м^3, удельная массовая скорость выгорания $\upsilon_м^{уд}$= 0,012 кг/(с·м^2), доля выгоревшей массы η = 7%. Пожар длился τ =8 мин, средний диаметр брёвен d = 15 см, длина каждого бревна ℓ = 1,5 м. Определить коэффициент поверхности данного штабеля $K_п$.

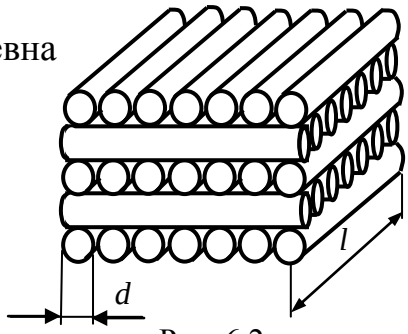


Рис. 6.2

Решение.

Удельная массовая скорость выгорания рассчитывается по формуле 4.5.

Изменение массы штабеля за время горения равно:

$$\Delta m = \eta \cdot \rho \cdot V \cdot k \cdot n,$$

где: η – доля выгоревшей массы штабеля; V – объём одного бревна, м^3 (для расчёта объёма бревна используем известную формулу объёма цилиндра $V_ц = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \ell}{4}$); k– количество брёвен в одном ряду, n – количество рядов в штабеле

$$\Delta m = 0{,}07 \cdot 500 \cdot \frac{3{,}14 \cdot 0{,}15^2 \cdot 1{,}5}{4} \cdot 7 \cdot 5 = 32{,}46 \text{ кг}.$$

В конструкции штабеля имеются скрытые и открытые поверхности.

Скрытая поверхность штабеля состоит из граней брёвен, находящихся в нижнем ряду и соприкасающихся с поверхностью земли, а также участков брёвен, соприкасающихся друг с другом. Суммарная площадь скрытой поверхности $S_{скр}$ равна:

$$S_{скр} = 0.$$

Открытая поверхность (поверхность горения $S_{пг}$) рассчитывается как разность общей поверхности всех брёвен$S_{общ}$ и скрытой поверхности брёвен в штабеле.

$$S_{пг} = S_{откр} = S_{общ} - S_{скр},$$

где общая поверхность штабеля – это сумма площадей поверхности одного бревна, умноженная на количество всех брёвен в штабеле $k \cdot n$:

$$S_{общ} = (2\frac{\pi \cdot D^2}{2} + \pi \cdot d \cdot l)\, k \cdot n,$$

$$S_{общ} = (2\frac{3{,}14 \cdot 0{,}15^2}{2} + 3{,}14 \cdot 0{,}15 \cdot 1{,}5) \cdot 7 \cdot 5 = 27{,}2 \text{ м}^2.$$

Скрытая поверхность штабеля равна:

$$S_{скр} = 0 \text{ м}^2.$$

Поверхность горения штабеля $S_{пг}$ равна:

$$S_{пг} = 27{,}2 – 0 = 27{,}2 \text{ м}^2.$$

Площадь пожара $S_П$ составляет:

$$S_П = l^2 = 1{,}5^2 = 2{,}25 \text{ м}^2.$$

Коэффициент поверхности горения штабеля определяем по формуле 4.3:

$$K_п = 27{,}2/2{,}25 = 12{,}09.$$

<u>Пример 3.</u> На сколько опустится уровень мазута (Δh) за τ =28 минут горения в резервуаре. Плотность мазута составляет ρ = 940 кг/м^3, удельная массовая скорость выгорания равна $v_м^{уд}$= 0,035 кг/(с·м^2).

Решение.

Обозначим изменение уровня жидкости – Δh, время горения – τ, удельную массовую скорость выгорания – $v_м^{уд}$, плотность жидкости ρ.

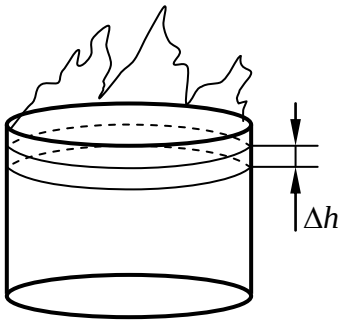


Рис. 6.3

Объем выгоревшей жидкости V равен произведению площади зеркала жидкости S на Δh (см. рис. 6.3). Значение V также можно выразить через массу выгоревшего вещества m и плотность ρ:

$$V = \frac{m}{\rho}.$$

Тогда:

$$\Delta h = \frac{m}{\rho \cdot S}\ .$$

В свою очередь:

$$m = v_м^{уд} \cdot \tau \cdot S.$$

Отсюда находим:

$$\Delta h = \frac{v_м^{уд} \cdot \tau \cdot S}{\rho \cdot S} = \frac{0{,}035 \cdot 28 \cdot 60}{940} = 0{,}0630 \text{ м} = 6{,}3 \text{ см}.$$

<u>Пример 4.</u> Определить уровень нижней границы гомотермического слоя (h) при горении нефти в резервуаре. Начальный уровень жидкости H = 10 м, время горения τ = 40 мин. Плотность данной нефти ρ = 750 кг/м^3, приведённая массовая скорость выгорания $v_м^{пр}$ = 0,045 кг/(с·м^2), скорость нарастания гомотермического слоя $v_{гтс}$ = 7·10^{-4} м/с.

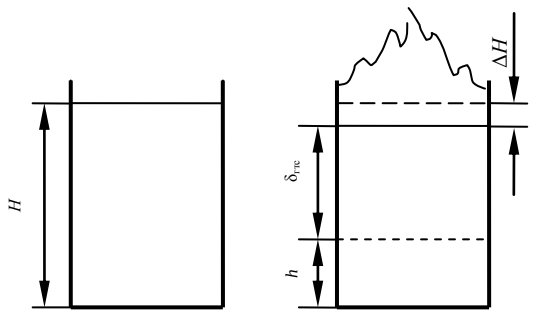


Рис. 6.4

Решение.

Глубина, на которую опустится нижняя граница гомотермического слоя за

время горения, складывается из толщины выгоревшего слоя нефти ΔH и толщины самого слоя δ (см. рис. 6.4).

Тогда $h = H - (\Delta H + \delta)$.

$$\Delta H = \tau \cdot v_{л}, \text{ м};$$

$$\delta = \tau \cdot v_{гтс}, \text{ м}.$$

Пусть $u_{л}$ – линейная скорость выгорания:

$$u_{л} = v_{м}^{уд}/\rho = 0{,}045/750 = 6 \cdot 10^{-5}, \text{ м/с}.$$

Получаем:

$$h = H - \tau\,(v_{л} + v_{гтс});$$

$$h = 10 - 40 \cdot 60 \cdot (6 \cdot 10^{-5} + 7 \cdot 10^{-4}) = 10 - 2 = 8{,}176 \text{ м}.$$

<u>Пример 5.</u> Определить величину удельной горючей и удельной пожарной нагрузки в помещении площадью $S_{п} = 12$ м^2. Пол в помещении выложен деревянным паркетом толщиной $h = 2$ см. Плотность древесины, из которой изготовлен паркет, составляет $\rho = 450$ кг/м^3. В помещении имеется следующая мебель: деревянные шкаф массой $m_{шкаф} = 80$ кг, стол $m_{стол} = 30$ кг, два стула по $m_{стул} = 7$ кг каждый, диван массой $m_{диван} = 95$ кг, состоящий из 70 % древесины, 20 % пенополиуретана и 10 % кожи. Низшая теплота сгорания древесины составляет 16,5 МДж/кг, пенополиуретана – 24,52 МДж/кг и кожи – 21,52 МДж/кг.

Решение.

Расчёт проводится по формулам 4.1 и 4.2:

$$p_{ГН} = \frac{\sum m_i}{S_{ПОЛ}} \text{ и } g_{ПН} = \frac{\sum m_i Q_{нi}}{S}.$$

Масса всех горючих материалов складывается из массы паркета, шкафа, стульев и массы горючих материалов, из которых собрана мебель.

Масса паркета $m_{парк}$:

$$m_{парк} = \rho V,$$

где V – объём паркета.

$$V = S_{п} h = 12 \cdot 0{,}02 = 0{,}24 \text{ м}^3,$$

$$m_{\text{парк}} = 0{,}24 \cdot 450 = 108 \text{ кг}.$$

Массы древесины, пенополиуретана (ППУ) и кожи, из которых сделан диван, соответственно равны:

$$m_{\text{древ}} = 0{,}7 \cdot 95 = 66{,}5\text{кг},$$

$$m_{\text{ппу}} = 0{,}20 \cdot 95 = 19\text{кг},$$

$$m_{\text{кожи}} = 0{,}10 \cdot 95 = 9{,}5\text{кг}.$$

Удельная горючая нагрузка $p_{\text{ГН}}$ равна:

$$p_{\text{ГН}} = \frac{108 + 80 + 30 + 2 \cdot 7 + 66{,}5 + 19 + 9{,}5}{12} = 27{,}25 \text{ кг/м}^2.$$

Удельная пожарная нагрузка:

$$g_{\text{пн}} = \frac{(108 + 80 + 30 + 2 \cdot 7 + 66{,}5) \cdot 16{,}5 + 19 \cdot 24{,}52 + 9{,}5 \cdot 21{,}52}{12} = 466{,}26 \text{ МДж/м}^2.$$

<u>Пример 6.</u> Рассчитать площадь пожара на τ_1 = 5-й, τ_2 = 15-й и τ_3 = 20-й минутах с момента его возникновения (рис. 6.5) и время охвата всего помещения, если скорость распространения равна $\upsilon_л$= 1,2 м/мин, предел огнестойкости двери τ = 12 мин.

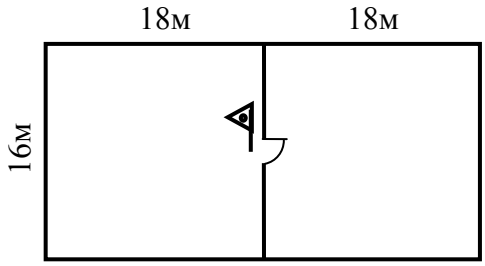


Рис. 6.5. План помещения и место возникновения пожара для примера 6

Решение.

1. Поскольку пожар возник возле двери, отсчёт предела её огнестойкости начнётся сразу. Тогда в правое помещение пламя проникнет через 12 мин с момента возникновения пожара. До 12-й минуты пожар будет распространяться только в одном помещении.

2. За 5 минут фронт пламени пройдёт расстояние L_5 = 0,5·1,2·5 = 3 м. До ближайших боковых стен – 8 м. Следовательно, фронт пламени на 5-й минуте будет иметь форму полукруга (рис. 6.6):

$$S_п^5 = 3{,}14 \cdot 3^2/2 = 14{,}0 \text{ м}^2.$$

3. За 15 минут фронт пламени может пройти расстояние L_{15} = 5·1,2 + +1,2 (15 – 10) = 12 м. К этому времени в левом помещении он уже достигнет боковых стен и примет форму прямоугольника размером 16×12 м.

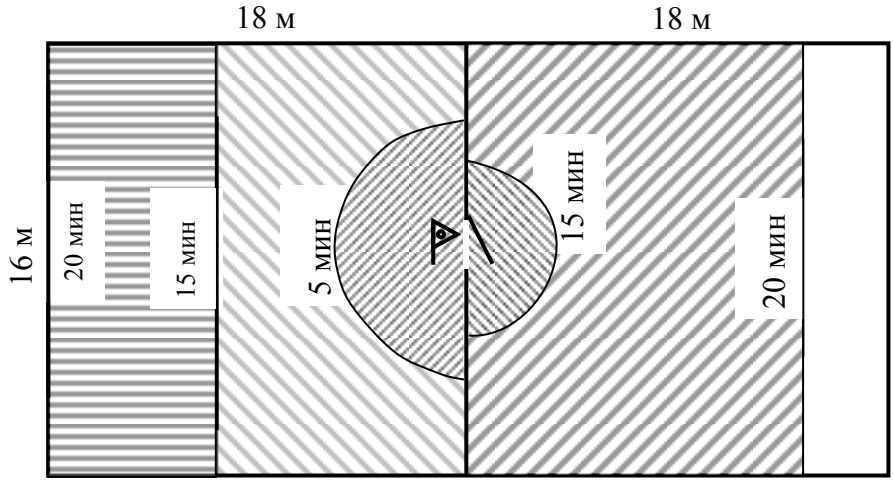


Рис. 6.6. План распространения пожара для примера 6.

В смежном помещении он будет распространяться всего 15 – 12 = 3 мин (причём скорость его равна $v_л^{табл}$, так как τ>10 мин).

За это время он пройдёт расстояние 1,2·3 = 3,6 м. Следовательно, в смежном помещении фронт пламени имеет форму полукруга и площадь, равную $\pi \cdot 3{,}6^2/2$ = 20 м^2. Общая площадь пожара на 15-й минуте:

$$S_п^{15} = 16 \cdot 12 + 20 = 212 \text{ м}^2.$$

4. К 20-й минуте фронт пламени может пройти L_{20} = 5·1,2 + 1,2·(20–10) = 18 м. Тогда все левое помещение к этому моменту времени будет охвачено пожаром (см. рис. 6.6). Однако в правом помещении он будет распространяться 20 – 12 = 8 мин. За это время он пройдёт 1,2·8 = 9,6 м и, достигнув боковых стен, примет форму прямоугольника размером 16×9,6 м. В результате:

$$S_п^{20} = 16 \cdot 18 + 16 \cdot 9{,}6 = 441{,}6 \text{ м}^2 \approx 442 \text{ м}^2.$$

Полный охват всего помещения наступит, когда фронт пламени пройдёт оставшиеся 18 – 14,6 = 3,4 м. При скорости 1,2 м/мин это займёт: 3,4/1,2 = 2,8 ≈ 3 мин. Расчётное время охвата всего помещения составляет 20 + 3 = 23 мин.

Таким образом, $S_п^5 = 14$ м^2; $S_п^{15} = 212$ м^2; $S_п^{20} = 442$ м^2, $S_п^{23} = 576$ м^2.

По этим данным строим график распространения пожара (рис. 6.7.).

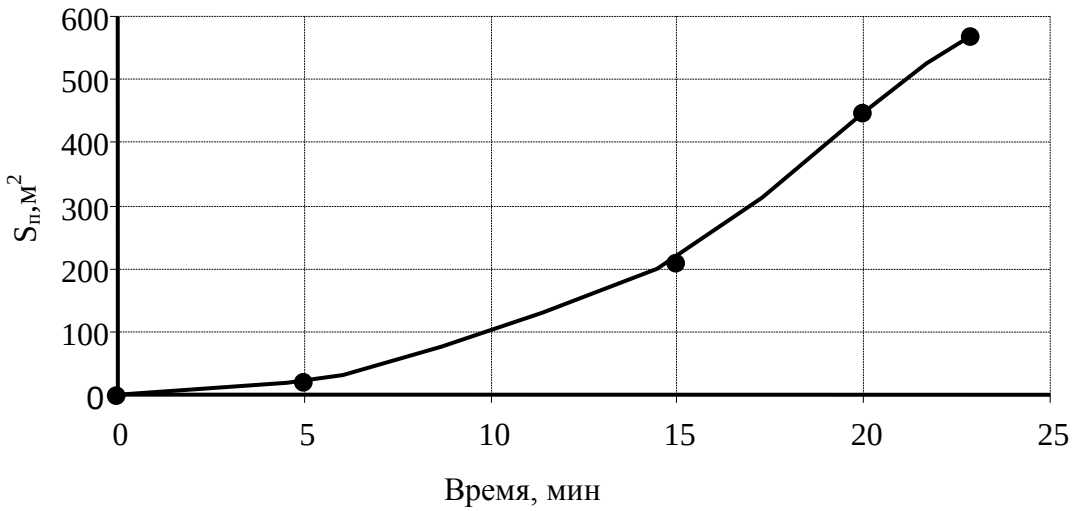


Рис. 6.7. График распространения пожара для примера 6.

Домашнее задание состоит из двух задач. Номер варианта выбирается в соответствии с порядковым номером в журнале группы. Первая задача – свой вариант по образцу примеров с №1 по № 5. Вторая задача – по образцу примера № 6.

Варианты заданий

Для примеров №№ 1 и 2								
№ варианта	Плотность древесины ρ, кг/м^3	Длина бруса (бревна) l, м	Диаметр d, м	Сечение a, м	Время пожара τ, мин	Доля выгоревшей массы η, %	Количество брусьев (брёвен) в одном ряду k	Количество рядов в штабеле n
1	410	1,5		0,2	10	10	10	5
2	420	1,5	0,3		10	10	10	5
3	430	1,8		0,3	15	12	8	4
4	450	1,8	0,4		17	15	6	5
5	470	1,6		0,4	18	20	8	4
6	500	1,8	0,25		20	25	7	5
7	490	1,4		0,25	22	27	6	5
8	510	1,2	0,15		25	30	9	6
9	430	1,1		0,1	21	23	8	5
10	450	1,0	0,2		24	26	7	6
11	440	1,1		0,2	20	24	8	4
12	445	1,2	0,3		22	25	10	5

	Для примера № 3		
	Плотность мазута, ρ, кг/м^3	Время пожара τ, мин	Удельнаямассовая скорость выгорания $v_м^{уд}$, (с·м^2)
13	920	26	0,035
14	940	22	0,033
15	910	27	0,037
16	930	21	0,034
17	925	24	0,036
18	915	23	0,032

	Для примера № 4				
	Начальный уровень жидкости H, м	Время горения τ, мин	Плотность нефти ρ, кг/м^3	Приведённая массовая скорость выгорания $v_м^{пр}$, кг/(с·м^2),	Скорость нарастания гомотермического слоя $v_{гтс}$, м/с
19	8	41	760	0,044	$6\cdot10^{-4}$
20	11	38	755	0,046	$7\cdot10^{-4}$
21	9	42	770	0,045	$6{,}5\cdot10^{-4}$
22	10	34	750	0,043	$7{,}1\cdot10^{-4}$
23	12	37	780	0,047	$6{,}7\cdot10^{-4}$
24	11	36	776	0,044	$7{,}2\cdot10^{-4}$

Для примера № 5											
	Площадь помещения S, м^2	Толщина паркета h, см	Плотность древесины ρ, кг/м^3	Масса шкафа	Масса стола	Количество стульев	Масса стула	Диван			
								масса	% древесины	% пенополиуретана	% кожи
25	10	1,8	440	75	32	2	6,5	90	70	20	10
26	14	2,2	455	78	28	3	7	85	70	18	12
27	12	1,9	445	74	25	4	7,2	95	72	17	13
28	10	2,1	460	76	27	2	6,4	87	70	16	14
29	13	2,0	465	77	26	3	6,8	86	74	16	10
30	14	1,8	450	75	25	3	6,7	85	70	18	12

	Для примера № 6				
	τ_1, мин	τ_2, мин	τ_3, мин	Скорость распространения пламени $\upsilon_л$, м/мин,	Предел огнестойкости двери τ, мин
1	4	10	15	1,2	11
2	6	13	18	1,1	15
3	5	9	20	1,3	12
4	8	14	19	1,5	13
5	7	15	20	1,4	14
6	5	8	14	1,3	11
7	6	8	15	1,2	10
8	4	7	16	1,4	12
9	7	12	18	1,3	10
10	5	9	17	1,2	13
11	6	9	15	1,1	12
12	4	8	16	1,3	14
13	5	10	18	1,2	13
14	6	11	19	1,3	12
15	4	9	15	1,4	14
16	5	8	14	1,1	12
17	6	10	17	1,2	11
18	7	13	20	1,3	14
19	5	9	19	1,4	13
20	8	12	20	1,2	14
21	7	11	16	1,3	12
22	6	10	18	1,1	12
23	5	8	16	1,2	10
24	7	11	19	1,3	12
25	8	14	20	1,4	15
26	6	10	20	1,2	12
27	7	13	19	1,1	15
28	8	12	17	1,3	14
29	5	11	20	1,2	13
30	6	10	20	1,4	15

Приложение

Таблица 2

Объекты, материалы	Линейная скорость распространения горения м/мин
Административные здания	1 – 1,5
Больницы: здание II степени огнестойкости здание III степени огнестойкости	 0,6 – 1,0 2,0 – 3,0
Жилые дома (здание III степени огнестойкости)	0,5 – 0,8
Лесопильные цехи: здание III степени огнестойкости здание V степени огнестойкости	 1,0 – 3,0 2,0 – 5,0
Склады: торфа в штабелях круглого леса в штабелях льноволокна бумаги в рулонах синтетического каучука	 0,8 – 1,0 0,6 – 1,0 3,0 – 0,4 0,2 – 0,3 0,6 –, 1,0
Сушильные отделения кожзавода (здание III степени огнестойкости)	 1,5 – 2,2
Сгораемые покрытия больших площадей (включая пустоты)	1,7 – 3,2
Типографии (здание III степени огнестойкости)	0,5 – 0,8
Театры (сцены)	1,0 – 3,0
Холодильники	0,5 – 0,7
Цехи текстильного производства деревообрабатывающего комбината	 0,3 – 0,6 1,0 – 1,6
Древесина (доски в штабеле при толщине 2 –4 см) при влажности, % 8 – 10 16 – 18 18 – 20 20 – 30 более 30	 4,0 2,3 1,6 1,2 1,0
Пенополиуретан	0,7 – 0,8
Резинотехнические изделия (штабеля на открытой площадке)	1,0 – 1,2
Волокнистые материалы во взрыхлённом состоянии	7,0 – 8,0

ЛИТЕРАТУРА

1. Девисилов В.А., Дроздова Т.Н., Тимофеева С.С. Теория горения и взрыва: практикум: учебное пособие / В.А. Девисилов, Т.И. Дроздова, С.С. Тимофеева / под общ. ред. В.А. Девисилова. – М.: ФОРУМ, 2012. – 352 с.

2. Бобков С.А., Бабурин А.В., Комраков П.В. Примеры и задачи по курсу «Физико–химические основы развития и тушения пожара»: Учебн. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010 г. – 98 с.

3. Ефимов В.Ф., Рябиков А.А., Титоренко Л.П., Чебыкин А.Д. Защита в чрезвычайных ситуациях и гражданская оборона в 2 ч. – М.: Изд–во ООО “Ториус77”, 2009 г.

4. Андросов А.С., Бегишев И.Р., Салеев Е.П. Теория горения и взрыва, – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007 г. – 240 с.

5. Андросов А.С., Салеев Е.П. Примеры и задачи по курсу «Теория горения и взрыва», – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008 г. – 80 с.

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

1. Федеральный Закон РФ от 22.07.08 г. № 123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

2. Федеральный Закон РФ от 21.12.94 г. № 69–ФЗ «О пожарной безопасности».

3. ГОСТ 12.1.033–81 ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения.

4. ГОСТ 12.1.044–89. Пожаровзрывобезопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

5. ГОСТ Р 51330.5–99 (МЭК 60079–4–75). «Метод определения температуры самовоспламенения».

6. ГОСТ РЕН 414–2002. Безопасность оборудования. Правила разработки и оформления стандартов по безопасности.

7. ГОСТ 27924–88 (МЭК 695–2–3–84). Испытания на пожароопасность. Методы испытаний.

8. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. М.: МЧС России, 2009.

9. НПБ 105–03 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности».

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…….…….4

1. Причины возникновения пожаров…….……7

2. Виды пожаров……7

3. Зоны пожара……8

4. Параметры пожаров……9

5. Расчёт площади пожара в условиях неограниченного газообмена…….11

6. Примеры решения типовых задач……...16

Приложение ……..…27

Литература……28