

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы

С. А. Бобков, А. В. Бабурин,  
П. В. Комраков

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ  
ПО КУРСУ  
«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА»

Допущено Министерством Российской Федерации  
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям  
и ликвидации последствий стихийных бедствий  
в качестве учебного пособия для курсантов, студентов и слушателей  
образовательных учреждений МЧС России

Москва 2010

УДК 544  
ББК 38.96  
Б72

Рецензенты:

Доктор технических наук  
заместитель начальника ФГУ ВНИИПО России  
*С. Г. Цариченко*

Кандидат технических наук  
начальник отдела УГПН МЧС России  
*С. П. Воронов*

**Бобков С. А., Бабурин А. В., Комраков П. В.**

Б72 Примеры и задачи по курсу «Физико-химические основы развития и тушения пожара»: Учеб. пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 98 с.

ISBN

Учебное пособие предназначено для курсантов, слушателей и адъюнктов образовательных учреждений МЧС России пожарно-технического профиля.

УДК 544

ББК 38.96

ISBN

© Академия Государственной противопожарной  
службы МЧС России, 2010  
© Бобков С.А., Бабурин А.В.,  
Комраков П.В., 2010

## Глава 1

### ПАРАМЕТРЫ ПОЖАРОВ

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  $1 \text{ м}^2$  площади их размещения  $S$ , называется *удельной горючей нагрузкой*  $p_{\text{гн}}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^2$ , и определяется по формуле

$$p_{\text{гн}} = \frac{\sum m_i}{S}, \quad (1.1)$$

где  $m_i$  – масса  $i$ -го горючего материала,  $\text{кг}$ ;  $S$  – площадь размещения,  $\text{м}^2$ .

*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 разделенном 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*  $g_{\text{гн}}$ ,  $\text{МДж}/\text{м}^2$ , – количество тепла, выделяемое горючей нагрузкой при полном сгорании:

$$g_{\text{гн}} = \frac{\sum m_i Q_{\text{ни}}}{S}, \quad (1.2)$$

где  $Q_{\text{ни}}$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го горючего вещества или материала,  $\text{кДж}/\text{кг}$ .

*Продолжительность (время) пожара*  $\tau_{\text{п}}$  – время с момента возникновения горения до полного его прекращения,  $\text{мин}$ ,  $\text{ч}$ .

*Время свободного развития пожара* – время с момента возникновения горения до начала подачи огнетушащего вещества в очаг пожара,  $\text{мин}$ ,  $\text{ч}$ .

*Площадь пожара*  $S_{\text{п}}$  – площадь проекции зоны горения на горизонтальную плоскость.

*Площадь поверхности горения*  $S_{\text{пг}}$  – 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*  $K_{\text{п}}$  – отношение площади поверхности горения к площади пожара:

$$K_{\text{п}} = \frac{S_{\text{пг}}}{S_{\text{п}}}. \quad (1.3)$$

*Линейная скорость распространения пожара*  $v_{\text{л}}$  – путь, который на данном объекте проходит фронт пламени в единицу времени, м/мин.

Величина  $v_{\text{л}}$  определяет площадь пожара на данный момент. Она зависит от вида горючего, характеристик пожарной нагрузки, вида пожара и других факторов.

*Массовая скорость выгорания абсолютная*  $v_{\text{м}}^{\text{абс}}$  – масса горючего вещества, сгорающая в единицу времени.

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

$$v_{\text{м}}^{\text{уд}} = v_{\text{м}}^{\text{абс}}/S_{\text{пг}}. \quad (1.4)$$

*Приведенная массовая скорость выгорания*  $v_{\text{м}}^{\text{пр}}$  – масса горючего вещества или материала, выгорающая в единицу времени с единицы площади поверхности горения:

$$v_{\text{м}}^{\text{пр}} = v_{\text{м}}^{\text{абс}}/S_{\text{пг}}. \quad (1.5)$$

*Теплота пожара*  $q_{\text{п}}$ , кВт, – количество тепла, выделяющееся в зоне горения в единицу времени:

$$q_{\text{п}} = v_{\text{м}}^{\text{абс}} Q_{\text{н}} \beta, \quad (1.6)$$

где  $\beta$  – коэффициент полноты сгорания (0,75 – 0,9).

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

Основными параметрами пожара газового фонтана являются:

*дебит*  $D$  – расход газа, выраженный в млн м<sup>3</sup> газа в сутки:

$$D \approx 0,0025 H_{\text{ф}}^2, \quad (1.7)$$

где  $H_{\text{ф}}$  – высота газового (нефтяного) фонтана, м;

коэффициент излучения факела  $f$ :

$$f = 0,05\sqrt{M}, \quad (1.8)$$

где  $M$  – средняя молярная масса компонентов горючей смеси, равная

$$M = \sum M_i a_i, \quad (1.9)$$

где  $M_i$  – молярная масса  $i$ -го компонента горючей смеси;  $a_i$  – доля  $i$ -го компонента в смеси;

плотность потока излучения из центра факела фонтана  $W$ , кВт/м<sup>2</sup>:

$$W = \frac{q_{\text{л}}}{4\pi R^2} = \frac{fQ_{\text{н}}\nu_{\text{г}}}{4\pi R^2}, \quad (1.10)$$

где  $R$  – расстояние от центра фонтана, м;  $q_{\text{л}}$  – интенсивность излучения, кВт;  $\nu_{\text{г}}$  – расход газа, м<sup>3</sup>/с;

интенсивность излучения  $q_{\text{л}}$ , кВт:

$$q_{\text{л}} = fQ_{\text{н}}\nu_{\text{г}}. \quad (1.11)$$

Табличные данные, необходимые для решения задач, приведены в приложениях 1 – 6.

## Примеры решения задач

Пример 1.

Определить абсолютную массовую скорость выгорания материала при площади пожара 10 и 20 м<sup>2</sup>, если табличное значение приведенной массовой скорости выгорания равно 0,014 кг/(м<sup>2</sup>·с).

Решение.

Удельная массовая скорость выгорания  $\nu_{\text{м}}^{\text{уд}}$ , как следует из определения, это абсолютная массовая скорость выгорания, приведенная к единице площади пожара  $S_{\text{п}}$ . Таким образом:

$$\nu_{\text{м}}^{\text{абс}} = \nu_{\text{м}}^{\text{уд}} S_{\text{п}}.$$

$$\text{При } S_{\text{п}} = 10 \text{ м}^2 - \nu_{\text{м}}^{\text{абс}} = 0,014 \cdot 10 = 0,14 \text{ кг/с.}$$

$$\text{При } S_{\text{п}} = 20 \text{ м}^2 - \nu_{\text{м}}^{\text{абс}} = 0,014 \cdot 20 = 0,28 \text{ кг/с.}$$

Пример 2.

Определить теплоту пожара при горении материала, имеющего низшую теплоту сгорания 14000 кДж/кг, если табличное значение удельной массовой скорости выгорания равно 0,02 кг/(м<sup>2</sup>·с), площадь пожара 10 м<sup>2</sup>, коэффициент полноты сгорания – 0,8.

Решение.

Теплота пожара рассчитывается по формуле (1.6). С учетом формулы (1.4) получим

$$q_{п} = \beta v_{м}^{уд} S_{п} Q_{н} = 0,8 \cdot 0,02 \cdot 10 \cdot 14000 = 2240 \text{ кВт.}$$

Пример 3.

Рассчитать приведенную массовую скорость выгорания штабеля, сложенного из деревянных брусьев, если за 15 мин пожара его масса уменьшилась на 15 %. Штабель состоит из пяти рядов, в каждом ряду размещаются десять брусьев. Размеры бруса – 0,1×0,1×2 м. Плотность древесины  $\rho$  составляет 450 кг/м<sup>3</sup>. Определить коэффициент поверхности данного штабеля.

Решение.

Приведенная массовая скорость выгорания рассчитывается по формуле (1.5).

Изменение массы штабеля за время горения определим по формуле

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

где  $\eta$  – доля выгоревшей массы штабеля;  $V$  – объем одного бруса, м<sup>3</sup>;  $k$  – количество брусьев в одном ряду;  $n$  – количество рядов в штабеле.

Подставив численные значения, получим

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

В конструкции штабеля имеются скрытые и открытые поверхности (рис. 1.1).

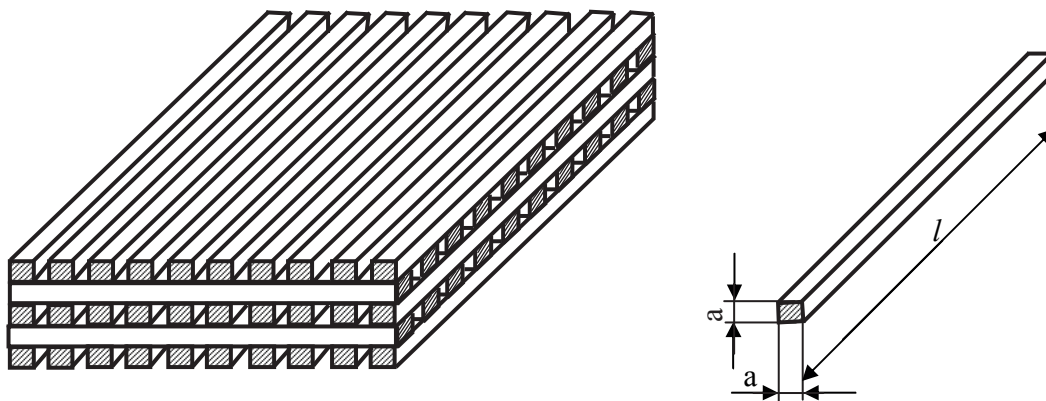


Рис. 1.1. Схема укладки штабеля

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

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

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

Открытая поверхность (поверхность горения  $S_{\text{шт}}$ ) рассчитывается как разность общей поверхности всех брусьев  $S_{\text{общ}}$  и скрытой поверхности брусьев в штабеле:

$$S_{\text{шт}} = S_{\text{откр}} = S_{\text{общ}} - S_{\text{скр}},$$

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

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

Площадь скрытой поверхности штабеля

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

Площадь поверхности горения штабеля  $S_{\text{шт}}$  равна

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

Приведенная массовая скорость выгорания

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

Площадь пожара  $S_{\text{п}}$  составляет:

$$S_{\text{п}} = l^2 = 2^2 = 4 \text{ м}^2.$$

Коэффициент поверхности горения штабеля определяем по формуле (1.3):

$$K_{\text{п}} = 31/4 = 7,75.$$

Пример 4.

На сколько опустится уровень мазута за 28 мин горения в резервуаре. Плотность мазута составляет  $940 \text{ кг}/\text{м}^3$ , приведенная массовая скорость выгорания равна  $0,035 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ .

Решение.

Обозначим изменение уровня жидкости –  $\Delta h$ , время горения –  $\tau$ , удельную массовую скорость выгорания –  $v_{\text{м}}^{\text{уд}}$ , плотность жидкости –  $\rho$ .

Объем выгоревшей жидкости  $V$  равен произведению площади зеркала жидкости  $S$  на  $\Delta h$  (рис. 1.2). Значение  $V$  также можно выразить через массу выгоревшего вещества  $m$  и плотность  $\rho$ :

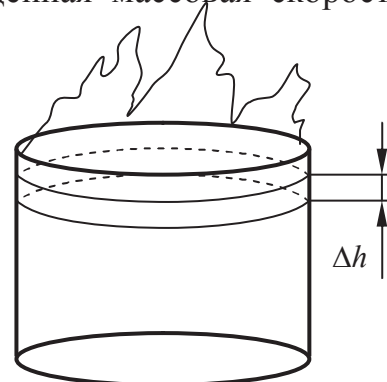


Рис. 1.2. Изменение уровня жидкости в резервуаре

$$V = m/\rho.$$

Тогда

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

В свою очередь,

$$m = v_m^{уд} \tau S.$$

Откуда находим:

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

Пример 5.

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

Решение.

Расчет проводится по формулам (1.1) и (1.2):

$$p_{гн} = \frac{\sum m_i}{S_{пол}} \quad \text{и} \quad g = \frac{\sum m_i Q_{ни}}{S_{пол}}.$$

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

Массу паркета  $m_{пар}$  определяем по формуле

$$m_{пар} = \rho V,$$

где  $V$  – объём паркета

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

следовательно,

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

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

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



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

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

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

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

Пример 6.

Определить уровень нижней границы гомотермического слоя  $h$  при горении нефти в резервуаре. Начальный уровень жидкости  $H = 10$  м, время горения  $\tau = 40$  мин. Плотность данной нефти  $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$ , удельная массовая скорость выгорания  $v_{\text{м}}^{\text{уд}} = 0,045 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ , скорость нарастания гомотермического слоя  $v_{\text{гтс}} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ .

Решение.

Глубина, на которую опустится нижняя граница гомотермического слоя за время горения, складывается из толщины выгоревшего слоя нефти  $\Delta H$ , м, и толщины самого слоя  $\delta_{\text{гтс}}$ , м (рис. 1.3).

Тогда

$$h = H - (\Delta H + \delta_{\text{гтс}});$$

$$\Delta H = \tau v_{\text{л}};$$

$$\delta_{\text{гтс}} = \tau v_{\text{гтс}}.$$

Линейная скорость выгорания  $u_{\text{л}}$  равна

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

Получаем

$$h = H - \tau(v_{\text{л}} + v_{\text{гтс}}) =$$

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

Пример 7.

Рассчитать параметры пожара компактного газового фонтана: дебит  $D$ , теплоту пожара  $q_{\text{п}}$ , коэффициент излучения пламени в окружающую среду  $f$ . Определить расстояние  $L$  (см. рис. 1.3), на котором плотность теплового потока равна 4 и 14 кВт/м<sup>2</sup>. Состав газа: 85 % метана, 9 % этана,

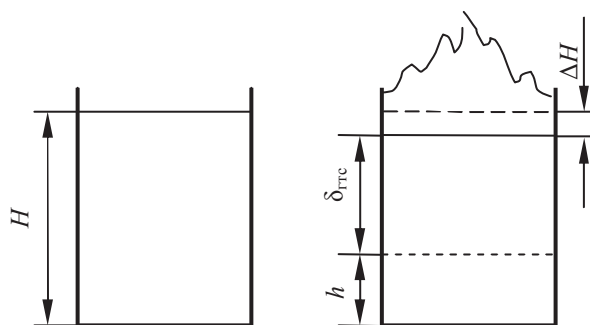


Рис. 1.3. Иллюстрация к примеру 6

3 % пропана, 2 % азота и 1 % бутана. Высота факела  $H_{\text{ф}} - 35$  м, высота скважины 1 м, внутренний диаметр трубы 102 мм. Низшая теплота сгорания метана 802 кДж/моль, этана – 1576 кДж/моль, пропана – 2044 кДж/моль, бутана – 2657 кДж/моль.

Решение.

Дебит фонтана рассчитывается по формуле (1.7):

$$D \approx 0,0025H_{\text{ф}} \approx 0,0025 \cdot 35^2 = 3 \text{ млн м}^3/\text{сут.}$$

Теплота пожара  $q_{\text{п}}$ , кВт, определяется по формуле (1.6):

$$q_{\text{п}} = v_{\text{м}}^{\text{abc}} Q_{\text{н}} \beta.$$

Для газовых фонтанов коэффициент  $\beta \approx 1$ , скорость сгорания равна секунднему расходу газа  $v_{\text{г}}$ . Соответственно значение  $Q_{\text{н}}$  следует подставлять в кДж/м<sup>3</sup>, т. е.

$$q_{\text{п}} = v_{\text{г}} Q_{\text{н}}^{\text{см}}.$$

Низшая теплота сгорания смеси газов определяется по формуле

$$Q_{\text{н}}^{\text{см}} = \sum Q_{\text{ни}} a_i,$$

где  $Q_{\text{ни}}$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го горючего компонента;  $a_i$  – доля  $i$ -го компонента в смеси.

Подставив значения  $Q_{\text{ни}}$  каждого горючего компонента в формулу, получим

$$Q_{\text{н}}^{\text{см}} = 0,85 \cdot 802 + 0,09 \cdot 1576 + 0,03 \cdot 2044 + 0,01 \cdot 2657 = 911,4 \text{ кДж/моль} = \\ = 40687,5 \text{ кДж/м}^3.$$

Секундный расход газа:

$$v_{\text{г}} = 3 \cdot 10^6 / (24 \cdot 60 \cdot 60) = 34,7 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Теплота пожара данного фонтана

$$q_{\text{п}} = 34,7 \cdot 40687,5 = 1411856,2 \text{ кВт} = 1411,90 \text{ МВт.}$$

Коэффициент излучения представляет собой долю теплоты сгорания, теряемую в виде лучистой энергии в окружающую среду. Для углеводородных горючих он находится по формуле (1.8):

$$f = 0,05\sqrt{M}.$$

Средняя молярная масса горючих компонентов смеси равна (см. формулу (1.9))

$$M = \sum M_i a_i = 0,85 \cdot 16 + 0,09 \cdot 30 + 0,03 \cdot 44 + 0,01 \cdot 58 = 18,2 \text{ кг/кмоль.}$$

Коэффициент излучения равен

$$f = 0,05 \sqrt{18,2} = 0,21.$$

При расчете расстояния  $L$  принимается, что источником излучения пламени фонтана является точка, расположенная в его геометрическом центре, – т.е. на высоте  $H_{\phi}/2$  от устья скважины (рис. 1.4).

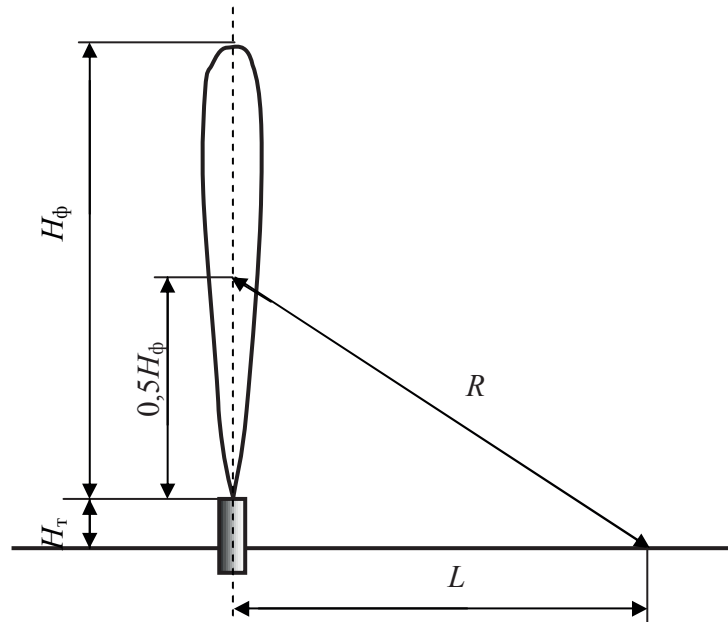


Рис. 1.4. Схема для расчета плотности теплового потока

Тогда плотность потока излучения  $W$  через сферу радиусом  $R$ , исходя из формулы (1.11), равна

$$W = \frac{q_{\text{л}}}{4\pi R^2} = \frac{f Q_{\text{н}} v_{\text{г}}}{4\pi R^2},$$

откуда расстояние  $R$ , на котором плотность лучистого теплового потока равна заданному значению  $q_{\text{зад}}$ , определяется выражением

$$R = \sqrt{\frac{f Q_{\text{н}} v_{\text{г}}}{4\pi q_{\text{зад}}}}.$$

Расстояние  $R_1$  для  $q_{\text{зад}} = 4 \text{ кВт/м}^2$ :

$$R_1 = \sqrt{\frac{0,21 \cdot 1411856,2}{4 \cdot 3,14 \cdot 4}} = 76,8 \text{ м.}$$

Расстояние  $R_2$  для  $q_{\text{зад}} = 14 \text{ кВт/м}^2$ :

$$R_2 = \sqrt{\frac{0,21 \cdot 1411856,2}{4 \cdot 3,14 \cdot 14}} = 41 \text{ м.}$$

Очевидно, что соответствующее расстояние от скважины на уровне земли  $L$  (см. рис. 1.4) равно

$$L = \sqrt{R^2 - (0,5H_{\text{ф}} + H_{\text{г}})^2}.$$

Расстояние  $L_1$  для  $q_{\text{зад}} = 4 \text{ кВт/м}^2$ :

$$L_1 = \sqrt{76,8^2 - (0,5 \cdot 35 + 1)^2} = 74,5 \text{ м.}$$

Расстояние  $L_2$  для  $q_{\text{зад}} = 14 \text{ кВт/м}^2$ :

$$L_2 = \sqrt{41^2 - (0,5 \cdot 35 + 1)^2} = 36,5 \text{ м.}$$

### Контрольные задачи

1. Найти массу сгоревшей древесины при пожаре штабеля, сложенного из брёвен в 5 рядов.

В каждом ряду семь бревен (рис. 1.5). Плотность древесины составляет  $500 \text{ кг/м}^3$ , приведенная массовая скорость выгорания –  $0,012 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ . Пожар длился 8 мин, средний диаметр брёвен – 15 см, длина каждого бревна составляет – 1,5 м.

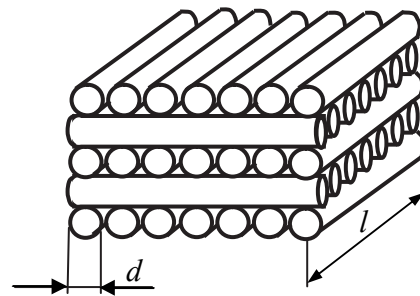


Рис. 1.5. Схема укладки штабеля

2. За какое время горения уровень жидкости в резервуаре опустится на 3,4 см, если удельная массовая скорость выгорания горючей жидкости равна  $0,02 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ , плотность жидкости  $850 \text{ кг/м}^3$ .

3. Найти линейную скорость выгорания керосина в резервуаре, если плотность керосина  $780 \text{ кг/м}^3$ , удельная массовая скорость выгорания составляет  $0,048 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ .

4. Определить величину удельной горючей и удельной пожарной нагрузки в помещении склада площадью  $20 \text{ м}^2$ . Пол в помещении выложен деревянными досками толщиной  $4 \text{ см}$ . Поверх половых досок настелен линолеум толщиной  $3 \text{ мм}$ . Плотность линолеума –  $2000 \text{ кг/м}^3$ . На деревянных стеллажах (суммарная масса стеллажей –  $180 \text{ кг}$ ) хранятся изделия из следующих материалов: кожи –  $120 \text{ кг}$ , ткани –  $80 \text{ кг}$ , бумаги –  $50 \text{ кг}$ , резины –  $160 \text{ кг}$ . Плотность древесины составляет  $450 \text{ кг/м}^3$ . Низшая теплота сгорания древесины –  $16,5 \text{ МДж/кг}$ ; линолеума  $33,52$ ; кожи –  $24,52$ ; ткани –  $13,4$ ; бумаги –  $14,5$  и резины –  $33,52 \text{ МДж/кг}$ .

5. Определить количество тепла, которое выделится на внутреннем пожаре за  $20 \text{ мин}$ , если площадь поверхности горения составляет  $250 \text{ м}^2$ , средний коэффициент поверхности равен  $5$ , приведённая массовая скорость выгорания –  $0,008 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ , низшая теплота сгорания горючего составляет  $25 \text{ МДж/кг}$ , коэффициент полноты сгорания –  $0,8$ .

6. В помещении площадью  $50 \text{ м}^2$  сложен горючий материал в форме куба. Ребро куба  $a = 4 \text{ м}$ , плотность материала  $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$ , низшая теплота сгорания  $Q_n = 20000 \text{ кДж/кг}$ , коэффициент полноты сгорания  $\beta = 0,7$ . Рассчитать удельную пожарную нагрузку помещения и коэффициент поверхности. Определить параметры пожара: массовую скорость выгорания абсолютную, удельную и приведённую; теплоту пожара, если за  $120 \text{ мин}$  горения масса материала уменьшилась на  $10 \%$ .

7. Определить время возникновения горения в торговом зале книжного магазина по следующим исходным данным. Пожар ликвидирован в  $10 \text{ ч } 00 \text{ мин}$ . Площадь пожара равна площади помещения –  $200 \text{ м}^2$ . Масса горючего до пожара  $35000 \text{ кг}$ . Средняя степень выгорания  $50 \%$ . Среднее значение удельной массовой скорости выгорания за время горения и тушения принять равным половине табличного значения, которое равно  $0,438 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ .

8. Рассчитать параметры пожара компактного газового фонтана: дебит  $D$ , теплоту пожара  $q_n$ , коэффициент излучения пламени в окружающую среду  $f$ . Определить расстояние  $L$ , на котором плотность теплового потока равна  $10$  и  $20 \text{ кВт/м}^2$ . Состав газа:  $80 \%$  метана,  $12 \%$  сероводорода,  $3 \%$  пропана,  $2 \%$  азота и  $3 \%$  сероуглерода. Высота факела  $H_\phi = 50 \text{ м}$ , высота скважины –  $1 \text{ м}$ , внутренний диаметр трубы –  $95 \text{ мм}$ .

## Задание для самостоятельной работы 1

Рассчитать один из параметров открытого пожара штабеля древесины.

Вариант задания выбирается по порядковому номеру учащегося в журнале группы. Исходные данные, необходимые для расчета, приведены в табл. 1.1 и 1.2. Требуется определить параметр, для которого в табл. 1.2 указано «найти».

Таблица 1.1

**Параметры штабеля**

№ п/п	Вид штабеля*	Плотность древесины $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Длина бруса $l$ , м	Диаметр $d$ , м	Сечение $a$ , м
1	1	420	1,5	0,4	–
2	2	450	1,4	–	0,3
3	3	470	1,2	0,3	–
4	4	500	1,0	–	0,2
5	7	510	0,8	0,2	–
6	2	420	1,5	–	0,25
7	1	450	1,4	0,3	–
8	6	470	1,2	–	0,3
9	5	500	1,0	0,2	–
10	8	510	0,8	–	0,2
11	1	430	1,6	0,5	–
12	2	490	1,7	–	0,2
13	7	500	0,9	0,25	–
14	3	460	1,1	0,15	–
15	6	440	1,5	–	0,25
16	8	480	1,0	–	0,2
17	5	510	0,8	0,2	–
18	4	460	0,9	–	0,9
19	1	450	1,5	0,15	–
20	7	520	0,8	0,25	–
21	1	450	1,5	0,1	–
22	2	420	1,4	–	0,15
23	3	480	1,2	0,15	–
24	4	500	1,5	–	0,2
25	7	410	0,9	0,2	–
26	2	400	1,8	–	0,15
27	1	440	1,5	0,1	–
28	6	450	1,4	–	0,1
29	5	500	1,5	0,15	–
30	8	510	0,9	–	0,2

\* Вид и параметры штабеля приведены на рис. 1.6.

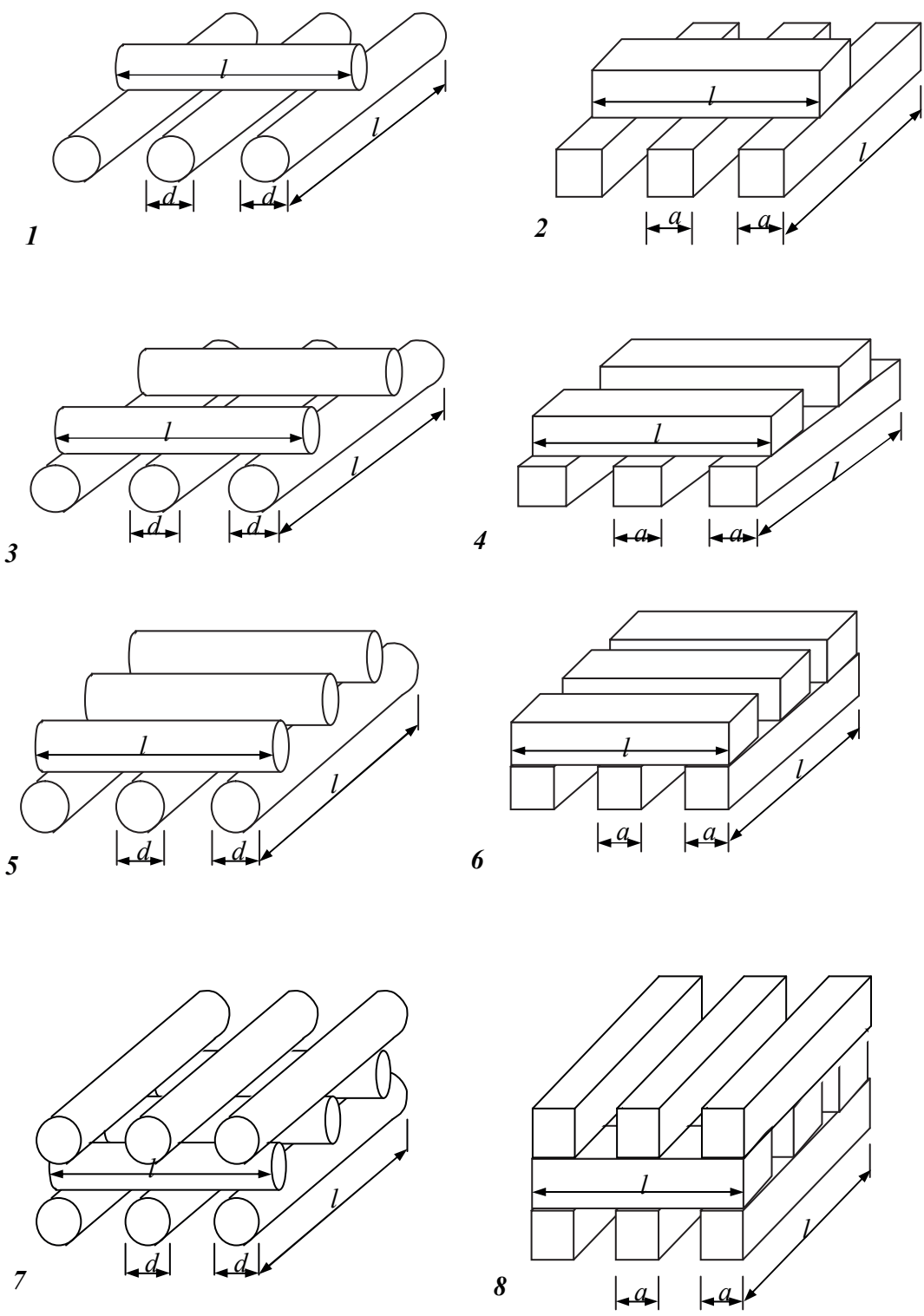


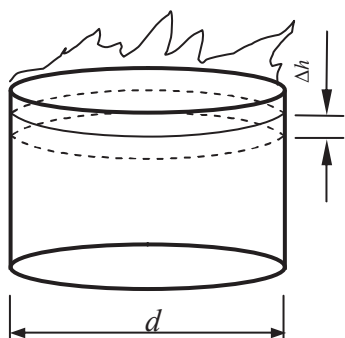
Рис. 1.6. Параметры штабеля к табл. 1.1

### Параметры пожара

№ п/п	Выгоревшая масса $\Delta m$ , кг	Время горения $\tau$ , мин	Удельная массовая скорость выгорания $\nu_M^{уд}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	Приведенная массовая скорость выгорания $\nu_M^{пр}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)
1	найти	6	–	0,012
2	35	найти	–	0,014
3	30	8	–	найти
4	–	–	0,7	найти
5	найти	12	–	0,010
6	25	найти	–	0,018
7	15	10	–	найти
8	–	–	0,8	найти
9	найти	5	–	0,015
10	20	найти	–	0,014
11	найти	10	–	0,013
12	25	найти	–	0,015
13	35	7	–	найти
14	–	–	0,75	найти
15	найти	13	–	0,011
16	27	найти	–	0,017
17	18	9	–	найти
18	–	–	0,9	найти
19	найти	7	–	0,013
20	19	найти	–	0,016
21	найти	9	–	0,012
22	25	найти	–	0,017
23	40	12	–	найти
24	–	–	0,8	найти
25	найти	15	–	0,012
26	30	найти	–	0,019
27	20	8	–	найти
28	–	–	0,9	найти
29	найти	10	–	0,016
30	26	найти	–	0,015



## Задание для самостоятельной работы 2



Определить теплоту пожара при горении жидкости в резервуаре и один из параметров, указанных в табл. 1.3.

Вариант задания выбирается по порядковому номеру учащегося в журнале группы. Исходные данные приведены в табл. 1.3, 1.4.

Таблица 1.3

### Исходные данные для самостоятельной работы

№ п/п	Глубина выгорания $\Delta h$ , см	Время выгорания $\tau$ , мин	Приведенная массовая скорость выгорания $\nu_M^{\text{пр}}$ , кг/(м <sup>2</sup> ·с)	Линейная скорость выгорания $u_{\text{л}}$ , мм/с
1	найти	25	0,047	–
2	3,0	найти	0,035	–
3	–	–	0,038	найти
4	–	–	найти	0,083
5	найти	20	0,013	–
6	2,5	найти	0,020	–
7	–	–	0,045	найти
8	–	–	найти	0,055
9	найти	30	0,017	–
10	4,0	найти	0,025	–
11	найти	15	0,022	–
12	2,0	найти	0,033	–
13	–	–	0,040	найти
14	–	–	найти	0,065
15	найти	10	0,015	–
16	3,5	найти	0,030	–
17	–	–	0,045	найти
18	–	–	найти	0,074
19	найти	20	0,039	–
20	3,0	найти	0,028	–
21	найти	15	0,037	–
22	2,5	найти	0,042	–
23	–	–	0,017	найти
24	–	–	найти	0,070
25	найти	10	0,035	–
26	4,0	найти	0,027	–
27	–	–	0,020	найти
28	–	–	найти	0,053
29	найти	30	0,023	–
30	3,5	найти	0,055	–

Таблица 1.4

## Исходные данные для самостоятельной работы

№ п/п	Жидкость	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Диаметр резервуара $d$ , м	Нижшая теплота сгорания $Q_{н}$ , кДж/кг	Коэффициент полноты сгорания $\beta$
1	Ацетон	790	10	31360	0,93
2	Мазут	940	8	41900	0,85
3	Керосин осветительный	790	12	43692	0,8
4	Бензин	800	5	43580	0,85
5	Бутиловый спирт	805	4	36200	0,93
6	Нефть	920	10	43600	0,85
7	Гептан	684	8	44919	0,90
8	Декан	734	12	44602	0,80
9	Изобутиловый спирт	803	5	36743	0,85
10	Изопропиловый спирт	784	4	34139	0,90
11	Метиловый спирт	787	8	23839	0,90
12	Октан	702	10	44787	0,80
13	Пентан	621	15	45350	0,85
14	Пропиловый спирт	801	8	34405	0,85
15	Этиловый спирт	785	6	30562	0,90
16	Дизельное топливо	790	15	43419	0,80
17	Уайт-спирит	780	10	43966	0,90
18	Масло трансформаторное	870	8	43550	0,87
19	Гексан	655	6	45105	0,83
20	Гексиловый спирт	826	5	39587	0,85
21	Изопентан	619	8	45239	0,90
22	Акриловая кислота	1051	7	18000	0,80
23	Амиловый спирт	805	12	34702	0,85
24	Бензол	874	8	38519	0,85
25	Гексадекан	773	10	44312	0,9
26	Этилбензол	863	5	41323	0,87
27	Анилин	1022	6	32384	0,86
28	Ксилол	860	4	52829	0,9
29	Нефть	900	12	42800	0,85
30	Керосин тракторный	820	12	43700	0,85

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Параметры пожаров.....	3
Глава 2. Газообмен на внутреннем пожаре. Режимы пожаров.....	19
Глава 3. Расчет площади пожара в условиях неограниченного газообмена.....	31
Глава 4. Параметры тушения горючих веществ и материалов.....	52
Приложения.....	86
Литература.....	96

Учебное издание

Бобков Сергей Анатольевич  
Бабурин Александр Владимирович  
Комраков Петр Владимирович

ПРИМЕРЫ И ЗАДАЧИ  
ПО КУРСУ  
«ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ  
РАЗВИТИЯ И ТУШЕНИЯ ПОЖАРА»

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор *Г. А. Науменко*  
Технический редактор *Е. А. Пушкина*  
Корректор *Н. В. Федькова*  
Компьютерный набор *С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П.В. Комраков*

Подписано в печать 27.01.2009 г. Формат 60×90 1/16.  
Печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 9,5. Бумага офсетная.  
Тираж 400 экз. Заказ 44

Академия ГПС МЧС России  
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4