

П.1
с 13

архив

ВЫСШАЯ ШКОЛА МОП РСФСР

А. Н. САВУШКИНА, М. В. АЛЕКСЕЕВ

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Примеры и задачи

41

Москва — 1963

П.1
С 13
ВЫСШАЯ ШКОЛА МООП РСФСР

А. Н. САВУШКИНА, М. В. АЛЕКСЕЕВ

ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

Примеры и задачи

Учебно-методическое пособие

Одобрено кафедрой пожарной профилактики

666/29142



НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ
ОТДЕЛ

Москва — 1963

Настоящий сборник примеров и задач составлен по материалу I и II разделов курса «Пожарная профилактика в технологических процессах». Пособие предназначено для слушателей факультета инженеров противопожарной техники и безопасности Высшей школы МООП РСФСР. Для облегчения самостоятельной работы слушателей по усвоению теоретического материала в начале каждой главы пособия приведены основные расчетные формулы с соответствующими пояснениями, а также примеры с решениями и задачи.

Глава I

ОБРАЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРОВ И ГАЗОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПРИ НОРМАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ АППАРАТОВ И ТРУБОПРОВОДОВ

§ 1. Расчетные формулы

Горючая среда в производственных помещениях может образоваться только в том случае, если жидкости, пары или газы будут выходить наружу. Это возможно при наличии аппаратов, работающих под давлением (даже при исправном их состоянии); аппаратов с открытой поверхностью жидкости (емкости, ванны); аппаратов с изменяющимся уровнем жидкости (мерники, промежуточные и расходные резервуары, сборники готовой продукции и т. п.), дыхательные трубы которых не выведены наружу.

1. Количество паров огнеопасных жидкостей, выделяющихся в помещение из аппаратов, сообщающихся с атмосферой через открытые люки или дыхательные трубы, при их наполнении, т. е. при большом дыхании, определяется по формуле:

$$G_6 = (V_1 - V_2) C \cdot \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_{\text{раб}}} \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{в}}} \gamma_{\text{в}}, \quad (1)$$

где G_6 — вес теряемых паров при большом дыхании в кг;

V_1 — объем паровоздушного пространства в резервуаре до его наполнения в м^3 ;

V_2 — объем паровоздушного пространства в резервуаре после его наполнения в м^3 ;

$p_{\text{раб}}$ — давление в емкости в мм рт. ст.;

p_0 — барометрическое давление воздуха в мм рт. ст.;

T_0 — 273°K ;

$T_{\text{раб}}$ — температура жидкости в емкости в $^\circ \text{K}$;

$M_{\text{ж}}$ — молекулярный вес паров жидкости;

M_b — молекулярный вес воздуха, равный 29;

γ_b — объемный вес воздуха, равный 1,29 кг/м³;

C — объемная концентрация насыщенных паров; определяется из выражения:

$$C = \frac{p'_s}{p_{\text{раб}}}, \quad (2)$$

где p_s — давление насыщенных паров жидкости при данной температуре в мм рт. ст.; определяется по табличным данным (см. приложение 1).

Если в емкости будет не чистый продукт, а раствор, то давление насыщенных паров жидкости над раствором определяется по закону Рауля:

$$p'_s = m p_s, \quad (3)$$

где m — молекулярная концентрация жидкости в растворе, которая определяется по весовым процентам компонентов, входящих в раствор;

p_s — давление насыщенных паров жидкости в мм рт. ст.

Пересчет весовых долей в молярные ведется по формуле:

$$m = \frac{\frac{a}{M_a}}{\frac{a}{M_a} + \frac{b}{M_b}}, \quad (3,a)$$

где a, b — весовые доли или весовые проценты компонентов;

M_a, M_b — молекулярные веса компонентов.

2. Количество паров огнеопасной жидкости, выделяющихся из аппаратов и емкостей при малом дыхании, можно определить по формуле:

$$G_m = V \frac{\Delta t}{T_{\text{раб}}} \cdot \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{M_b} \cdot C_{\text{ср}} \gamma_b, \quad (4)$$

где G_m — вес теряемых паров при малом дыхании в кг;

V — объем паровоздушного пространства резервуара в м³;

Δt — изменение температуры паровоздушного пространства;

$T_{\text{раб}}$ — средняя температура жидкости в емкости в °К;

$p_{\text{раб}}$ — давление в емкости в мм рт. ст.;

p_0 — барометрическое давление воздуха в мм рт. ст.;

$M_{\text{ж}}$ — молекулярный вес паров жидкости;

M_b — молекулярный вес воздуха;

γ_b — объемный вес воздуха;

$C_{\text{ср}}$ — средняя концентрация насыщенных паров за период дыхания:

$$C_{\text{ср}} = \frac{C_1 + C_2}{2}.$$

3. Количество жидкости, испаряющейся со свободной поверхности (открытая емкость, ванна и т. п.), определяется по формуле:

$$V = 4k_t (\sqrt{h^2 + r^2} - h) \ln \frac{p - \varphi p_s}{p - p_s}, \quad (5)$$

где V — скорость испарения, т. е. объем паров жидкости в см^3 , испаряющейся со свободной поверхности в 1 сек.;

k_t — коэффициент диффузии паров жидкости в $\text{см}^2/\text{сек}$;

h — расстояние от поверхности испаряющейся жидкости до края емкости в см ;

r — радиус емкости в см ;

p — барометрическое давление воздуха в мм рт. ст. ;

p_s — давление насыщенных паров жидкости при данной температуре в мм рт. ст. ;

φ — степень насыщения.

При испарении с поверхности, имеющей круглую форму и $h=0$ (емкость заполнена до края), количество испаряющейся жидкости определяется по формуле:

$$V = 4rk_t \ln \frac{p - \varphi p_s}{p - p_s}. \quad (6)$$

Если форма емкости или форма разлившейся лужи отличается от круга, то в формулу подставляется приведенный радиус.

Коэффициент диффузии при 0° и давлении 760 мм рт. ст. приближенно можно определить по формуле:

$$k_0 = \frac{0,8}{\sqrt{M}}, \quad (7)$$

где M — молекулярный вес жидкости.

В формулы (5) и (6) значение коэффициента диффузии подставляется с поправкой на температуру и скорость движения воздуха.

Зависимость коэффициента диффузии от температуры выражается формулой Винкельмана:

$$k_t = k_0 \left(\frac{T}{273} \right)^m, \quad (8)$$

где T — абсолютная температура, при которой происходит испарение, в $^\circ\text{К}$;

m — постоянная величина, определяемая из опыта.

Зависимость коэффициента диффузии от скорости движения воздуха определяется из формулы:

$$k_w = k_0 \sqrt{\omega} \ln \frac{1}{1 - \varphi}, \quad (9)$$

где ω — скорость воздуха вдоль испаряющей поверхности в $\text{см}/\text{сек}$.

Коэффициент диффузии с учетом поправок на температуру и скорость движения воздуха относительно испаряющей поверх-

ности определяется по формуле:

$$k_{t, w} = k_0 \left(\frac{T}{273} \right)^m \sqrt{w} \ln \frac{1}{1 - \varphi} . \quad (10)$$

Найденное значение коэффициента диффузии подставляется в формулу (5) или (6).

Коэффициенты диффузии для некоторых жидкостей и значения показателя степени m приведены в приложении 3.

Весовое количество испарившейся жидкости за определенный промежуток времени определяется из следующего выражения:

$$G = v \gamma_t \tau, \quad (11)$$

где G — вес испарившейся жидкости в г;

v — скорость испарения в $\text{см}^3/\text{сек}$;

γ_t — объемный вес паров жидкости при соответствующей температуре в $\text{г}/\text{см}^3$;

τ — время испарения в сек.

4. Количество паров и газов, выходящих через прокладки, сальники, швы и другие места аппаратов и трубопроводов (при исправном их состоянии), работающих под давлением, определяется по формуле Н. Н. Репина:

$$G = kCV \sqrt{\frac{M}{T}} \quad (\text{кг}/\text{час}), \quad (12)$$

где k — коэффициент запаса, учитывающий степень износа производственного оборудования. Обычно k принимается в пределах от 1 до 2;

C — коэффициент, зависящий от давления паров или газов в аппарате; значения коэффициента C даны в табл. 1;

V — внутренний объем аппаратов и коммуникаций, находящихся под давлением в м^3 ;

M — молекулярный вес газов или паров, находящихся под давлением в аппаратах;

T — абсолютная температура паров или газов, находящихся в аппаратах, в $^\circ\text{К}$.

Таблица 1

Давление рабочее в <i>атм</i>	Менее 1	1	6	16	40	160	400	1000
Значение коэффициента C	0,121	0,166	0,182	0,189	0,152	0,238	0,297	0,370

Примечание. Промежуточные значения коэффициента C определяются интерполяцией.

5. Действительную концентрацию паров испарившейся жидкости в воздухе производственного помещения можно определить

по формуле:

$$C_{\text{действ}} = \frac{G_{\text{общ}}}{Vn}, \quad (13)$$

где $C_{\text{действ}}$ — действительная концентрация паров испарившейся жидкости в г/м³;

$G_{\text{общ}}$ — общие потери испарившейся жидкости в г/час;

V — объем помещения в м³;

n — кратность обмена воздуха в час.

6. Количество подсосываемого воздуха через неплотности в аппараты или трубопроводы, работающие под разрежением, определяется по формуле:

$$V = \mu f \sqrt{\frac{2gH}{\gamma}} \frac{T}{T_0}, \quad (14)$$

где V — объем засасываемого воздуха в м³/сек;

μ — коэффициент расхода, равный для воздуха 0,6—0,75;

f — сечение неплотностей, через которые подсосывается воздух, в м²;

g — ускорение силы тяжести в м/сек²;

H — величина разрежения в мм вод. ст. (кг/м²);

γ — удельный вес воздуха, равный 1,29 кг/м³;

T — температура внутри аппарата в °K;

T_0 — температура воздуха в °K.

§ 2. Примеры

1. Определить, какое количество паров метилового спирта выйдет из аппарата при одном большом дыхании, если известно, что в емкости хранится чистый спирт, температура жидкости и паровоздушного пространства 20°С, давление 760 мм рт. ст., объем аппарата 20 м³, коэффициент заполнения равен 0,9.

Решение. Определение количества вытесняемых паров метилового спирта производится по формуле (1):

$$G_6 = (V_1 - V_2) C \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \frac{T_0}{T_{\text{раб}}} \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{в}}} \gamma_{\text{в}},$$

где $V_1 - V_2 = V_1 0,9 = 20 \cdot 0,9 = 18$ м³;

упругость насыщенных паров жидкости при температуре 20° равна 88,67 мм рт. ст. (см. приложение 1), следовательно $C =$

$$= \frac{88,67}{760}, \approx 0,12;$$

$p_{\text{раб}} = p_0 = 760$ мм рт. ст.;

$T_0 = 273^\circ \text{K}$; $T_{\text{раб}} = 20 + 273 = 293^\circ \text{K}$;

$M_{\text{ж}} = 32$ (из формулы метилового спирта); $M_{\text{в}} = 29$; $\gamma_{\text{в}} = 1,29$ кг/м³.

Подставляя найденные данные в формулу, получим:

$$G_6 = 18 \cdot 0,12 \cdot \frac{760}{760} \cdot \frac{273}{293} \cdot \frac{32}{29} 1,29 = 2,86 \text{ кг.}$$

2. Определить, какое количество паров метилового спирта выйдет из аппарата при одном большом дыхании, если известно, что в емкости, указанной в примере 1, хранится не чистый спирт, а 20%-ный раствор метилового спирта в воде. Остальные данные те же, что и в примере 1.

Решение. Определение количества вытесняемых паров метилового спирта производится по формуле (1). Все величины имеют те же значения, что и в примере 1, за исключением

$$C = \frac{p'_s}{p_{\text{раб}}},$$

где p'_s — упругость насыщенных паров метилового спирта над раствором; для определения p'_s воспользуемся формулами (3) и (3,а);

$$p'_s = m p_s; \quad m = \frac{\frac{a}{M_a}}{\frac{a}{M_a} + \frac{b}{M_b}},$$

где по условиям задачи $a = 20\%$; $b = 80\%$; $M_a = 32$; $M_b = 18$.

Подставляя эти величины, найдем

$$m = \frac{\frac{20}{32}}{\frac{20}{32} + \frac{80}{18}} = \frac{0,63}{0,63 + 4,44} \approx 0,124 \text{ доли моля;}$$

тогда $p'_s = 0,124 \cdot 88,67 \approx 11 \text{ мм рт. ст.}$

Следовательно

$$C = \frac{p'_s}{p_{\text{раб}}} = \frac{11}{760} \approx 0,015.$$

Подставляя эти величины в формулу (1), найдем

$$\begin{aligned} G_6 &= (V_1 - V_2) C \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_{\text{раб}}} \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{в}}} \gamma_{\text{в}} = \\ &= 18 \cdot 0,015 \cdot \frac{760}{760} \cdot \frac{273}{293} \cdot \frac{32}{29} 1,29 \approx 0,36 \text{ кг.} \end{aligned}$$

3. Определить, какое количество паров бензола будет те-
ряться при одном малом дыхании из резервуара емкостью 900 м³,
заполненного на 1/2, если известно, что максимальная температу-
ра паровоздушного пространства днем равна 40°, а минимальная
температура ночью 20°. Давление в резервуаре нормальное.

Решение. Количество вытесняемых паров бензола при малом дыхании определяем по формуле (4):

$$G_m = V \frac{\Delta t}{T_{\text{раб}}} \cdot \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{в}}} C_{\text{ср}} \gamma_{\text{в}},$$

где $V = \frac{1}{2} \cdot 900 = 450 \text{ м}^3$;

$$\Delta t = 40^\circ - 20^\circ = 20^\circ;$$

$$T_{\text{раб}} = 273 + 30 = 303^\circ \text{ К};$$

$$p_{\text{раб}} = p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.};$$

$$M_{\text{ж}} = 78;$$

$$M_{\text{в}} = 29.$$

По табл. 1 приложения 1 определяем упругость паров бензола при средней температуре:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{н}} + t_{\text{к}}}{2} = \frac{40^\circ + 20^\circ}{2} = 30^\circ,$$

при $t_{\text{ср}} = 30^\circ$ $p_s = 120 \text{ мм рт. ст.}$

Следовательно, $C_{\text{ср}} = \frac{120}{760} \approx 0,16$;

$$\gamma_{\text{в}} = 1,29 \text{ кг/м}^3.$$

Подставляя известные величины в формулу, найдем:

$$G_m = 450 \cdot \frac{20}{303} \cdot \frac{760}{760} \cdot \frac{78}{29} \cdot 0,16 \cdot 1,29 = 16,55 \text{ кг}.$$

4. Определить количество хлорбензола, выходящего через неплотности аппаратов в помещение при допустимых условиях герметизации, если известно, что рабочее давление в аппаратах 3 ати, суммарный объем аппаратов 40 м³, температура в аппарате 80°.

Решение. Для определения количества выходящих через неплотности паров воспользуемся формулой (12):

$$G = kCV \sqrt{\frac{M}{T}},$$

где k — принимаем равным 1,5;

C — коэффициент, зависящий от давления в аппарате; определяем по табл. 1:

при $p = 1 \text{ ати}$ $C = 0,166$; при $p = 6 \text{ ати}$ $C = 0,182$,

интерполируя, найдем, что при $p = 3 \text{ ати}$ $C = 0,172$. $M = 112,5$.

Подставляя эти данные в формулу, определим, что утечка паров будет равна:

$$G = 1,5 \cdot 0,172 \cdot 40 \sqrt{\frac{112,5}{273 + 80}} \approx 5,80 \text{ кг/час}.$$

5. Определить, сколько испарится за 1 час метилового спирта из открытого резервуара диаметром 5 м при высоте слоя жидко-

сти от кромки резервуара 1,5 м. Температура жидкости 20°. Испарение происходит в воздух, скорость движения воздуха 1 м/сек. Коэффициент насыщения $\varphi = 0,5$.

Решение. Количество испарившегося спирта определим по формуле (5):

$$V = 4k_t(\sqrt{h^2 + r^2} - h) \ln \frac{p - \varphi p_s}{p - p_s},$$

где $h = 150$ см; $r = 250$ см; $p = 760$ мм рт. ст.; $\varphi = 0,5$;

p_s при 20° равно 88,67 мм рт. ст. (см. приложение 1, табл. 1).

Коэффициент диффузии $k_{t,w}$ при $t = 20^\circ$ и скорости воздуха $w = 100$ см/сек определяем по формуле (10):

$$k_{t,w} = k_0 \left(\frac{T}{273} \right)^m \sqrt{w} \ln \frac{1}{1 - \varphi}.$$

Из приложения 3 находим, что $k_0 = 0,1325$ см²/сек и $m = 2$; $T = 273 + 20 = 293^\circ \text{K}$, следовательно:

$$\begin{aligned} k_{t,w} &= 0,1325 \left(\frac{293}{273} \right)^2 \sqrt{100} 2,3 \lg \frac{1}{1 - 0,5} = \\ &= 0,1325 \cdot 1,15 \cdot 10 \cdot 2,3 \cdot 0,301 = 1,05 \text{ см}^2/\text{сек}. \end{aligned}$$

Подставляя найденные значения, получим:

$$\begin{aligned} V &= 4 \cdot 1,05 (\sqrt{150^2 + 250^2} - 150) \ln \frac{760 - 0,5 \cdot 88,67}{760 - 88,67} = \\ &= 4 \cdot 1,05 \cdot 158,2 \cdot 2,3 \lg 1,066 = 43,07 \text{ см}^3/\text{сек}. \end{aligned}$$

За 1 час это составит:

$$43,07 \cdot 3600 = 155\,052 \text{ см}^3/\text{час} = 155,05 \text{ л/час}.$$

$$\gamma = \frac{M}{24} = \frac{32}{24} \approx 1,33 \text{ г/л}; \tau = 1 \text{ час}.$$

Вес испарившейся жидкости найдем из формулы (11):

$$G = V\gamma\tau = 155,05 \cdot 1,33 \cdot 1 = 206,2 \text{ г/час}.$$

6. В производственном помещении при наполнении аппаратов разлили на пол бензол. Образовалась лужа диаметром около 5 м (приведенный диаметр). Температура бензола 30°. Жидкость не убиралась в течение 2 час. Определить, какое количество бензола испарится, если скорость движения воздуха в цехе (параллельно поверхности испарения) равна 1,5 м/сек. Коэффициент насыщения $\varphi = 0,5$. В каком объеме помещения выделившиеся пары могут образовать взрывоопасную концентрацию?

Решение. Количество испарившегося бензола определим по формуле (6):

$$V = 4rk_{t,w} \ln \frac{p - \varphi p_s}{p - p_s} \text{ см}^3/\text{сек},$$

где $r = 250$ см; $p = 760$ мм рт. ст.; p_s при 30° равно 120,24 мм рт. ст. (см. приложение 1, табл. 1).

Коэффициент диффузии при $t=30^\circ$ и $w=150$ см/сек определяем по формуле (10):

$$k_{t,w} = k_0 \left(\frac{T}{273} \right)^m \sqrt{w} \ln \frac{1}{1-\varphi}.$$

Из приложения 3 находим, что $k_0=0,077$ см²/сек и $m=2$, тогда

$$k_{t,w} = 0,077 \left(\frac{273+30}{273} \right)^2 \sqrt{150} \ln \frac{1}{1-0,5} = 0,805 \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Подставляя известные величины, найдем:

$$V = 4 \cdot 250 \cdot 0,805 \cdot 2,3 \lg \frac{760-0,5 \cdot 120,24}{760-120,24} = 1851,5 \times$$

$$\times \lg 1,094 = 72,2 \text{ см}^3/\text{сек}.$$

За 2 часа это составит:

$$72,2 \cdot 2 \cdot 3600 = 519840 \text{ см}^3 = 519,84 \text{ л}.$$

$$\gamma = \frac{M}{V_t} = \frac{78}{25} = 3,12 \text{ г/л}.$$

Вес испарившейся жидкости будет равен:

$$G = V\gamma = 519,84 \cdot 3,12 = 1621,9 \text{ г}.$$

Зная, что нижний предел взрыва паров бензола равен 42 г/м³, найдем объем помещения, в котором испарившийся бензол может образовать взрывоопасную концентрацию:

$$V = \frac{G}{C} = \frac{1621,9}{42} = 38,6 \text{ м}^3.$$

7. Определить, какое количество бензола испарится по условиям предыдущего примера, если испарение пролитого бензола происходило в неподвижную среду.

Решение. Коэффициент диффузии при $t=30^\circ$ определяем по формуле (8):

$$k_t = k_0 \left(\frac{T}{273} \right)^m;$$

$$k_t = 0,077 \left(\frac{273+30}{273} \right)^2 = 0,095 \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Подставляя найденное значение в основную формулу (6), найдем:

$$V = 4 \cdot 250 \cdot 0,095 \cdot 2,3 \lg \frac{760-0,5 \cdot 120,24}{760-120,24} = 8,52 \text{ см}^3/\text{сек}.$$

За 2 часа это составит: $8,52 \cdot 2 \cdot 3600 = 61344 \text{ см}^3 = 61,34 \text{ л}.$

Вес испарившейся жидкости будет равен:

$$G = 61,34 \cdot 3,12 = 191,4 \text{ г}.$$

8 (комплексный). Технологические аппараты процесса получения этилового спирта размещены в производственном помеще-

нии, имеющем размеры в плане 10×15 м и высоту 15 м. Технологическая схема процесса приведена на рис. 1.

Необходимо. 1. Дать обоснованное заключение о взрывоопасности концентраций внутри производственных аппаратов при их нормальной работе.

2. Определить количество паров спирта, которые могут выходить в производственное помещение из аппаратов при их нормальном состоянии. Все промежуточные емкости и мерники закрыты, но дыхательные устройства не выведены за пределы цеха.

3. Определить среднюю концентрацию паров в воздухе производственного помещения и дать заключение о ее пожарной опасности и допустимости по санитарно-техническим нормам;

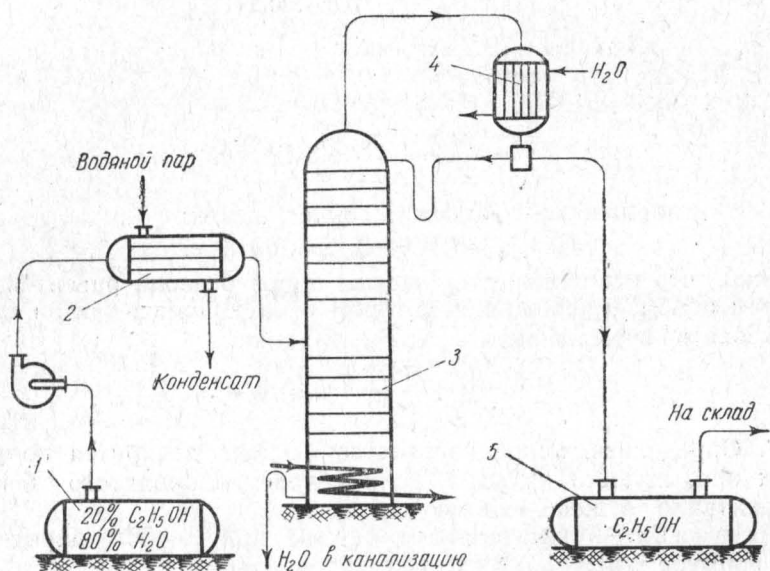


Рис. 1. Технологическая схема процесса производства этилового спирта
1 — промежуточная емкость ($l=4$ м, $d=2,5$ м, $\rho=1$ кг/см³, $t_{\text{раб}}=20^\circ$, время наполнения $\tau=20$ мин.); 2 — подогреватель; 3 — ректификационная колонна ($d=2$ м, $H=12$ м, средняя температура кипения смеси в колонне 89° , $\rho=1,1$ кг/см³); 4 — конденсатор; 5 — мерник спирта ($l=4$ м, $d=2,5$ м, $\rho=1$ кг/см³, $t_{\text{раб}}=20^\circ$, время наполнения $\tau=1,5$ час.)

показать, есть ли возможность образования местных взрывоопасных концентраций.

4. Определить, какое количество паров спирта будет испаряться в воздух производственного помещения при изливе его на пол в момент переполнения мерника с образованием лужи диаметром 4 м (приведенный диаметр). Излившаяся жидкость не убиралась в течение 2 час. Скорость движения воздуха в цехе (параллельно поверхности испарения) равна 1,7 м/сек. Коэффици-

коэффициент насыщения равен 0,4. Определить, в каком объеме производственного помещения можно ожидать при этом образования взрывоопасной концентрации.

Решение. 1. Определяем, какие концентрации будут внутри производственных аппаратов при их нормальной работе, для чего составим табл. 2.

Таблица 2

№ аппарата	Продукт, находящийся в аппарате	Наличие паровоздушного пространства в аппарате	Рабочая температура в °С	Температурные пределы взрываемости в °С		Заключение
				НТПВ	ВТПВ	
1	2	3	4	5		6
1	Смесь: спирт 20%, вода 80%	Есть	20	35	54	Рабочая температура < НТПВ, следовательно, концентрация не взрывоопасна
2	То же	Нет	80	35	54	Нет паровоздушного пространства
3	Спирто-водный раствор различной крепости по высоте колонны	»	78	11	40	Нет паровоздушного пространства, кроме того, рабочая температура > ВТПВ, следовательно, концентрация не взрывоопасна
4	Спирт	»	70	35	54	Нет паровоздушного пространства
5	»	Есть	20	11	40	Рабочая температура находится между НТПВ и ВТПВ, следовательно, концентрация взрывоопасна

Из табл. 2 видно, что взрывоопасная концентрация имеется только в аппарате 5, так как рабочая температура спирта в нем находится в интервале между НТПВ и ВТПВ.

2. Определяем количество паров спирта, которые могут выйти в производственное помещение из аппаратов при их нормальном состоянии:

а) Из аппаратов с дыхательными устройствами (т. е. из аппаратов 1 и 5). Так как температура в аппаратах не изменяется, то выход паров будет только при больших дыханиях. Количество теряемых паров спирта определяется по формуле (1):

$$G_0 = (V_1 - V_2) C \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \cdot \frac{T_0}{T_{\text{раб}}} \cdot \frac{M_{\text{ж}}}{M_{\text{в}}} \gamma_{\text{в}}$$

Для аппарата 1

$$V_1 = \frac{\pi d^2 l}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,5^2 \cdot 4}{4} = 20 \text{ м}^3;$$

$$V_2 = 0,1 V_1 = 2 \text{ м}^3;$$

$$p_{\text{раб}} = p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.};$$

$$T_0 = 273^\circ \text{ К}; \quad T_{\text{раб}} = 273 + 20 = 293^\circ \text{ К};$$

$$M_{\text{ж}} = 46; \quad M_{\text{в}} = 29; \quad \gamma_{\text{в}} = 1,29 \text{ кг/м}^3;$$

$$C = \frac{p_s}{p_{\text{общ}}},$$

где p_s — упругость насыщенных паров спирта при 20° .

Но так как спирт не чистый, а входит в состав раствора, то упругость насыщенных паров над раствором будет определяться по закону Рауля:

$$p'_s = m p_s.$$

Молекулярную концентрацию спирта в растворе определим по формуле (3,а):

$$m = \frac{\frac{a}{M_a}}{\frac{a}{M_a} + \frac{b}{M_b}} = \frac{\frac{20}{46}}{\frac{20}{46} + \frac{80}{18}} = \frac{0,43}{0,43 + 4,44} = 0,09 \approx 0,1 \text{ доли моля.}$$

p_s определяем по табл. 1 приложения 1. Этиловый спирт при 20° имеет $p_s = 44,46 \text{ мм рт. ст.}$

Определяем p'_s :

$$p'_s = m p_s = 44,46 \cdot 0,1 = 4,5 \text{ мм рт. ст.}$$

Следовательно:

$$C = \frac{p'_s}{p_{\text{общ}}} = \frac{4,5}{760} = 0,006.$$

Подставляя известные величины в формулу, будем иметь:

$$G_{\text{сп}} = (20 - 2) \frac{760}{760} \cdot \frac{273}{293} \cdot \frac{46}{29} \cdot 0,006 \cdot 1,29 =$$

$= 18 \cdot 1 \cdot 0,93 \cdot 1,6 \cdot 0,006 \cdot 1,29 \approx 0,207 \text{ кг}$ за всю операцию дыхания, или

$$\frac{207}{20} \approx 10,35 \text{ г/мин.}$$

Для аппарата 5

$$V_1 = 20 \text{ м}^3;$$

$$V_2 = 2 \text{ м}^3;$$

$$C = \frac{p_s}{p},$$

где p_s — упругость паров спирта (чистого) при $t = 20^\circ$ (определяется по приложению 1, табл. 1);

$p_s = 44,46$, следовательно:

$$C = \frac{44,46}{760} \approx 0,06,$$

тогда
$$G = (20 - 2) \frac{760}{760} \cdot \frac{273}{293} \cdot \frac{46}{29} 0,06 \cdot 1,29 =$$

$= 2,07$ кг за всю операцию дыхания,

или
$$\frac{2070}{60 \cdot 1,5} = 23,1 \text{ г/мин.}$$

Общее количество паров этилового спирта, выделявшихся из аппаратов 1 и 5, составляет:

$$G = 10,35 + 23 = 33,35 \text{ г/мин.}$$

б) Из герметичных аппаратов при их нормальном состоянии.

В этом случае количество выделяющихся паров определяется по формуле (12):

$$G = kCV \sqrt{\frac{M}{T}}.$$

Для аппарата 3

k — принимаем равным 2;

C — определяем по табл. 1. Так как в аппарате избыточное давление менее 1 *ати*, то $C = 0,121$;

$$V = \frac{\pi d^2 H}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2 \cdot 12}{4} = 37,7 \text{ м}^3.$$

Принимаем $V_{св} = 0,7 V \approx 26,4 \text{ м}^3$.

Так как в колонне находится смесь паров спирта с парами воды, то расчет ведем по средней молекулярной концентрации, равной 0,5. Тогда

$$M_{ср} = 0,5 (46 + 18) = 32.$$

Средняя температура кипения смеси в колонне (по условию) равна 89° .

Подставляя эти данные в формулу (12), получим:

$$G_{ср} = 2 \cdot 0,121 \cdot 26,4 \sqrt{\frac{32}{273 + 89}} \approx 1,92 \text{ кг/час паров смеси.}$$

или
$$\frac{1920}{60} = 32 \text{ г/мин,}$$

из них паров спирта будет: $0,5 \times 32 = 16 \text{ г/мин.}$

в) Общие потери из аппаратов 1, 3 и 5 составляют:

$$G_{общ} = 33,35 + 16 = 49,35 \text{ г/мин, или } 49,5 \times 60 = 2951 \text{ г/час.}$$

3. Определяем действительную концентрацию паров спирта в воздухе производственного помещения при нормальном состоя-

нии аппаратов и допустимость ее по требованиям пожарной безопасности и санитарно-техническим нормам.

Если предположить, что концентрация паров спирта равномерно распределилась по помещению, то она будет равна

$$C_{\text{действ}} = \frac{G_{\text{общ}}}{Vn},$$

где $G_{\text{общ}}$ — величина общих потерь в г/час;

V — объем помещения в м^3 ;

n — кратность обмена воздуха в час.

$$V = 10 \times 15 \times 15 = 2250 \text{ м}^3.$$

$$\text{Принимая } n=1, \text{ найдем: } C_{\text{действ}} = \frac{2951}{2250 \cdot 1} = 1,31 \text{ г/м}^3.$$

Чтобы сделать вывод о безопасности этой концентрации, нужно сопоставить ее с НПВ и допустимой концентрацией по санитарно-техническим нормам, т. е. с Н 101-54 нижний предел взрыва

$C_{\text{об}}$ для этилового спирта = 3,3%;

$$C_{\text{весов}} = \frac{C_{\text{об}} M}{V_t 100} = \frac{3,3 \cdot 46}{24 \cdot 100} = 0,063 \text{ г/л, или } 63 \text{ г/м}^3.$$

Допустимая концентрация паров этилового спирта в воздухе по Н 101-54 равна 1 г/м³.

$C_{\text{действ}}$ (1,32 г/м³) значительно меньше НПВ (63 г/м³), следовательно, в объеме всего производственного помещения взрывоопасная концентрация образоваться не может, образование же местной концентрации возможно. Эта концентрация ($C_{\text{действ}} = 1,32 \text{ г/м}^3$) больше концентрации, допускаемой по Н 101-54.

4. По формулам (6) и (11) определяем, какое количество паров этилового спирта при изливе его на пол в момент переполнения мерника (аппарат 5) будет испаряться в воздух производственного помещения:

$$V = 4rk_{t, \omega} \ln \frac{p - \varphi p_s}{p - p_s};$$

где $G = V\gamma_t$,

$$r = 200 \text{ см};$$

$k_{t, \omega}$ при $t = 20^\circ$ и $\omega = 1,6 \text{ м/сек}$ определяем по формуле (10):

$$k_{t, \omega} = k_0 \left(\frac{T}{273} \right)^m \sqrt{\omega} \ln \frac{1}{1 - \varphi}.$$

Здесь k_0 — коэффициент диффузии при $t = 0^\circ$ и m определяем по приложению 3

$$k_0 = 0,102; m = 2; \omega = 170 \text{ см/сек (по условию); } \varphi = 0,6;$$

$$p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.; } p_s = 44,46 \text{ мм рт. ст.}$$

$$\text{Следовательно, } k_{t, \omega} = 0,102 \left(\frac{273 + 20}{273} \right)^2 \sqrt{170} \ln \frac{1}{1 - 0,6} = 1,3 \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Подставляя найденные значения, получим:

$$V = 4 \cdot 200 \cdot 1,3 \ln \frac{760 - 0,6 \cdot 44,46}{760 - 44,46} = 2392 \lg 1,025 = 26,3 \text{ см}^3/\text{сек}.$$

Вес испарившегося этилового спирта за 2 часа определяется по формуле:

$$G = V \gamma_t \tau, \text{ но так как } \gamma_t = \frac{M}{V_t}, \text{ то } G = V \frac{M}{V_t} \tau;$$

$$G = 26,3 \frac{46}{24} 2 \cdot 60 \cdot 60 \approx 3636 \text{ г}.$$

Зная нижний предел взрыва паров этилового спирта (63 г/м^3), найдем, в каком объеме помещения испарившийся спирт может образовать взрывоопасную концентрацию:

$$V = \frac{G}{C_{\text{НПВ}}} = \frac{3636}{63} \approx 58 \text{ м}^3.$$

9. В ацетиленовый газопровод, работающий под разрежением 180 мм рт. ст., через незакрытый вентиль диаметром 50 мм подсасывается воздух. Определить, какая концентрация будет внутри газопровода, если известно, что производительность линии $1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$, температура газа в трубопроводе 80° , температура окружающей среды 17° .

Решение. Для определения количества подсасываемого воздуха воспользуемся формулой (14):

$$V = \mu f \sqrt{\frac{2gH}{\gamma}} \frac{T}{T_0},$$

где μ принимаем равным 0,6;

$$f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,00196 \text{ м}^2;$$

$$H = 180 \cdot 13,6 = 2448 \text{ мм вод. ст.};$$

$$\gamma = 1,29 \text{ кг/м}^3;$$

$$T = 273 + 80 = 353^\circ \text{ К};$$

$$T_0 = 273 + 17 = 290^\circ \text{ К}.$$

Подставляя указанные данные, получим:

$$V = 0,6 \cdot 0,00196 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 2448}{1,29}} \frac{353}{290} \approx 0,277 \text{ м}^3/\text{сек воздуха}.$$

К производительности газопровода по ацетилену это составит:

$$C = \frac{V}{V + V_{\text{ац}}} 100 = \frac{0,277}{0,277 + 1,5} 100 \approx 15,6\%.$$

Нижний предел взрыва ацетилена равен $1,53\%$, а верхний — 82% . Действительная концентрация ацетилена в трубопроводе составляет:

$$100 - 15,6 = 84,4\%.$$

Следовательно, внутри ацетиленового газопровода при указанном подсосе воздуха концентрация не взрывоопасная.

§ 3. Задачи

10. Определить, какое количество паров диэтилового эфира выйдет из аппарата при одном большом дыхании, если известно, что температура жидкости и паровоздушного пространства 15° , давление 760 мм рт. ст., объем аппарата 20 м^3 , коэффициент заполнения 0,9, дыхательные устройства не выведены за пределы цеха.

11. Определить, какое количество паров этилового спирта выйдет из аппарата при одном большом дыхании, если известно, что в емкости объемом 20 м^3 хранится раствор: 20%, этилового спирта и 80% воды; температура жидкости и паровоздушного пространства 20° , давление 760 мм рт. ст.; коэффициент заполнения 0,9, дыхательные устройства не выведены за пределы помещения.

12. Определить, какое количество паров хлорбензола выйдет из аппарата при одном большом дыхании, если известно, что температура жидкости и паровоздушного пространства 40° , давление 760 мм рт. ст., объем аппарата 23 м^3 , коэффициент заполнения 0,85, дыхательные устройства не выведены за пределы помещения.

13. Определить, какое количество паров ацетона будет теряться при одном малом дыхании из резервуара емкостью 900 м^3 , заполненного на $\frac{1}{2}$, если известно, что максимальная температура паровоздушного пространства днем 40° , а минимальная температура ночью 20° . Давление в резервуаре нормальное.

14. Определить, какое количество паров бензина выйдет из резервуара при одном большом дыхании, если известно, что температура жидкости и паровоздушного пространства 20° , давление 780 мм рт. ст., номинальный объем резервуара 4000 м^3 , упругость паров бензина при 20° равна 220 мм рт. ст., молекулярный вес бензина 105.

15. Определить, какое количество паров толуола будет теряться при одном малом дыхании из резервуара емкостью 1000 м^3 , заполненного на $\frac{1}{3}$, если известно, что максимальная температура паровоздушного пространства днем 35° , а ночью температура снизилась до 18° . Давление в резервуаре нормальное.

16. Определить количество ацетона, выходящего через неплотности аппаратов в помещение при допустимых условиях герметизации, если известно, что рабочее давление в аппаратах 3 ати, суммарный объем аппаратов 40 м^3 . Температура в аппаратах 40° .

17. Определить количество метилового спирта, выходящего через неплотности аппаратов в помещение при допустимых условиях герметизации, если известно, что рабочее давление в аппаратах 4 ати, суммарный объем аппаратов 35 м^3 . Температура в аппаратах 50° .

18. Определить, сколько испарится за 1 час ацетона из откры-

той ванны размером 3×4 м при высоте слоя жидкости от кромки ванны 0,5 м. Температура жидкости 30° . Испарение происходит в воздух, скорость движения которого 1,5 м/сек. Коэффициент насыщения $\varphi = 0,6$.

19. Определить, сколько испарится за 2 часа бензола из открытой окрасочной ванны диаметром 4 м при высоте слоя жидкости от кромки резервуара 1,2 м. Температура жидкости 30° . Испарение происходит в воздух, скорость движения которого 1,6 м/сек. Коэффициент насыщения $\varphi = 0,5$.

20. В производственном помещении при наполнении мерников разлили на пол сероуглерод. Образовалась лужа диаметром 5 м (приведенный диаметр). Температура сероуглерода 30° . Жидкость находилась неубранной в течение 2 часов. Определить, какое количество сероуглерода испарится, если скорость движения воздуха в цехе (параллельно поверхности испарения) равна 1,5 м/сек. Коэффициент насыщения $\varphi = 0,5$. В каком объеме помещения выделившиеся пары могут образовать взрывоопасную концентрацию? Решить эту же задачу в предположении, что разлили на пол диэтиловый эфир, этилацетат.

21. Промежуточная емкость цеха ректификации содержит легковоспламеняющуюся жидкость. Определить, какая концентрация может образоваться в помещении в момент большого дыхания аппарата, и дать заключение о ее пожарной опасности, если известно, что температура жидкости t° , диаметр емкости d , длина l , время заполнения емкости τ , степень заполнения ψ ; дыхательные устройства не выведены за пределы цеха.

Помещение, где установлена промежуточная емкость, имеет размеры $a \times b \times h$; вентиляция естественная с кратностью обмена воздуха равной 1.

Значения буквенных величин для пяти вариантов приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ варианта	Наименование легковоспламеняющейся жидкости	t°	d в м	l в м	τ в час	ψ	$a \times b \times h$ в м
1	Ацетон	15	2,5	3,5	3	0 85	$5 \times 6 \times 8$
2	Серный эфир	20	2	3	4	0 9	$5 \times 7 \times 9$
3	Сероуглерод	20	2	3	4	0 9	$5 \times 7 \times 9$
4	Л етиловый спирт . . .	15	2,5	3,5	3	0 85	$5 \times 6 \times 8$
5	Бензол	20	2	3	4	0 9	$5 \times 7 \times 9$

22. Технологические аппараты процесса получения волокна хлорин размещены в производственном помещении, имеющем

размеры в плане 11×14 м, высоту 16 м. Технологическая схема производства и его описание приводятся ниже (см. рис. 2).

Необходимо. а) Дать обоснованное заключение о взрывоопасности концентраций внутри производственных аппаратов при их нормальной работе.

б) Определить количество паров ЛВЖ, которые могут выходить в производственное помещение из аппаратов при их нормальном состоянии. Все промежуточные емкости и мерники закрыты. Количество выделяющихся паров определить для двух случаев:

- когда дыхательные устройства не выведены за пределы цеха;
- когда дыхательные устройства выведены за пределы цеха.

Количество паров огнеопасных жидкостей, которые могут выходить в производственное помещение из насосов и трубопроводов, составляет 5% общего количества паров, выходящих из аппаратов при их нормальном состоянии.

в) Для каждого случая определить среднюю концентрацию паров в воздухе производственного помещения и дать заключение о ее пожарной опасности и допустимости по санитарно-техническим нормам; показать, есть ли возможность образования местных взрывоопасных концентраций.

г) Определить, какое количество паров жидкости будет дополнительно испаряться в воздух производственного помещения при разливе ее на пол в момент переполнения мерника с образованием лужи диаметром 4 м (приведенный диаметр). Излившаяся жидкость не убиралась в течение 2 часов. Испарение происходило при скорости воздуха 140 см/сек. Коэффициент насыщения равен 0,4. Определить, в каком объеме производственного помещения можно ожидать при этом образования взрывоопасной концентрации.

д) Указать категорию производства по степени пожарной опасности по Н102-54 и класс помещения по ПУЭУ и дать рекомендации по снижению пожарной опасности производственного процесса (при требовании наличия вентиляции указать необходимую кратность обмена воздуха).

Данные для расчета

Наименование основных размеров аппаратов и параметров режима работы	Номер аппаратов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диаметр или сечение в м	2,2	1,2	2,2	$0,7 \times 0,7$	$1 \times 4,5$	2,1	1,2	1,8	1,1	0,9	2,4
Высота или длина в м	3,4	1,5	2,8	3,8	8,5	3,4	2	14	1,5	1,7	3,2
Температура в аппарате в град.	16	16	30	28	20	20	95	95	56	25	20
Давление в кг/см ²	1	1	3,4	5	1	1	1	1,2	1	1	1
Время наполнения в часах	1,4	0,4	—	—	—	1,4	—	—	—	—	1,3

Сырьем для получения волокна хлорин служит синтетическая смола, представляющая собой продукт дополнительного хлорирования полихлорвинила. Чтобы из смолы получить тонкую, гладкую и длинную нить, готовят прядильный раствор, используя свойство хлорина растворяться в ацетоне.

Ацетон из промежуточной емкости 1 (см. рис. 2) насосом 12 подается в расходный бак 2, откуда самотеком поступает в растворитель 3, после чего в растворитель загружают смолу. После окончания процесса растворения внутри аппарата получается раствор смолы хлорин в ацетоне (25%). Этот раствор называют

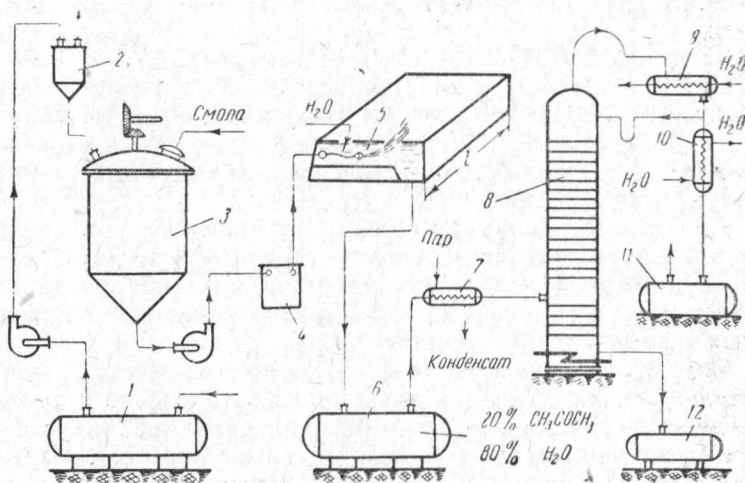


Рис. 2. Технологическая схема производства синтетического волокна хлорин (упрощенная)

прядильным. Из растворителя прядильный раствор для очистки от случайных загрязнений и частиц нерастворенной смолы поступает на фильтрпресс 4, а затем к прядильным машинам 5, где прядильный раствор под давлением продавливается через специальные насадки (так называемые фильеры), имеющие большое количество маленьких отверстий. Струйки раствора поступают в воду.

Благодаря хорошей растворимости в воде ацетон из волокон легко переходит в раствор, образуя концентрацию до 20%, а нить постепенно отвердевает. Полученный раствор, пройдя промежуточную емкость 6 и теплообменник 7, подается для разгонки в ректификационную колонну 8.

Пары ацетона, выходя из верхней части ректификационной колонны, поступают последовательно в конденсатор 9, холодильник 10 и в мерник ацетона 11. Вода отводится из нижней части ректификационной колонны в сборник 12.

23. Технологические аппараты процесса получения хлорбензола размещены в производственном помещении, имеющем размеры в плане 10×15 м, высоту 16 м. Технологическая схема процесса и ее описание приводятся ниже (см. рис. 3).

Необходимо. а) Дать обоснованное заключение о взрывоопасности концентраций внутри производственных аппаратов при их нормальной работе.

б) Определить количество паров ЛВЖ, которые могут выходить в производственное помещение из аппаратов при их нормальном состоянии. Все промежуточные емкости и мерники закрыты. Количество выделяющихся паров определить для двух случаев:

когда дыхательные устройства не выведены за пределы цеха;

когда дыхательные устройства выведены за пределы цеха.

Количество паров огнеопасных жидкостей, которые могут выходить в производственное помещение из насосов и трубопроводов, составляет 5% общего количества паров, выходящих из аппаратов при их нормальном состоянии.

в) Для каждого случая определить среднюю концентрацию паров в воздухе производственного помещения и дать заключение о ее пожарной опасности и допустимости по санитарно-техническим нормам; показать, есть ли возможность образования местных взрывоопасных концентраций.

г) Определить, какое количество паров жидкости будет дополнительно испаряться в воздух производственного помещения при разливе ее на пол в момент переполнения мерника с образованием лужи диаметром 4 м (приведенный диаметр). Излившаяся жидкость не убиралась в течение 2 часов. Испарение происходило при скорости движения воздуха $1,2$ м/сек. Коэффициент насыщения равен 0,4. Определить, в каком объеме производственного помещения можно ожидать при этом образование взрывоопасной концентрации.

д) Указать категорию производства по степени пожарной опасности по Н 102-54 и класс помещения по ПУЭУ и дать ре-

Данные для расчета

Наименование основных размеров аппаратов и параметров режима работы	Номер аппаратов												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Диаметр или сечение в м	2,3	1,1	1,9	$0,6 \times 0,6$	0,8	2	0,8	2	1	0,8	1,6	1,0	2,2
Высота или длина в м	3,5	1,4	3	3,2	2	3,2	2	14	1,5	1,8	2,5	1,6	3,5
Температура в аппарате в град.	18	16	25	22	20	15	95	105	80	30	20	15	16
Давление в кг/см ²	1	1	3,2	5,7	1,1	1	1,1	1,2	1	1	1	1	1
Время наполнения в часах	1,4	0,3	—	—	—	1,2	—	—	—	—	0,6	—	1,3

комендации по снижению пожарной опасности производственного процесса (при требовании наличия вентиляции указать необходимую кратность обмена воздуха).

Бензол из промежуточной емкости 1 (см. рис. 3) насосом подается в расходный бак 2, откуда самотеком поступает в подогреватель 5 для подогрева. После подогрева бензол поступает в реактор 3. В нижнюю часть реактора поступает хлор. В резуль-

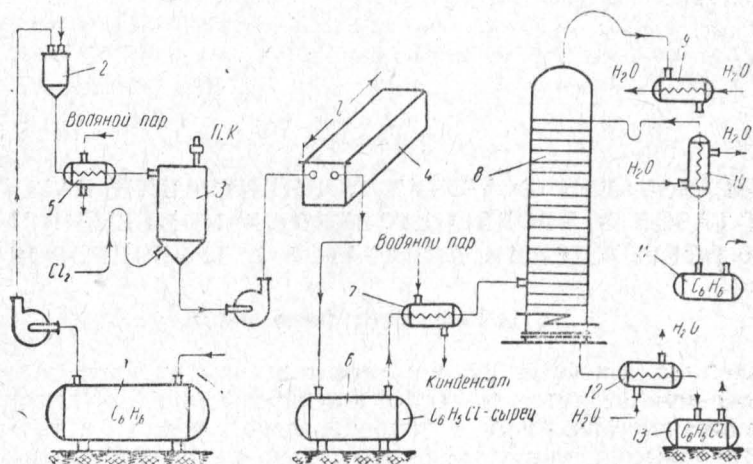


Рис. 3. Технологическая схема производства хлорбензола (упрощенная)

тате взаимодействия бензола и хлора образуется хлорбензол. Во избежание образования нежелательных примесей хлорирование до конца не доводят и бензол используется неполностью. Полученный хлорбензол-сырец, имеющий состав 20% бензола и 80% хлорбензола, поступает для очистки от загрязнений на фильтр-пресс 4, откуда в промежуточную емкость 6. Хлорбензол-сырец имеет НТПВ+15, ВТПВ+30. Хлорбензол-сырец после подогрева в теплообменнике 7 подается на разгонку в ректификационную колонну 8. Пары бензола, выходя из колонны, поступают последовательно в конденсатор 9, холодильный 10 и в мерник бензола 11. Хлорбензол отводится из нижней части ректификационной колонны в холодильник 12, а затем в мерник 13. Из мерников 11 и 13 жидкости поступают на склад готовой продукции.

Глава II

ОБРАЗОВАНИЕ ГОРЮЧИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПАРОВ И ГАЗОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ АППАРАТОВ И ТРУБОПРОВОДОВ

§ 1. Расчетные формулы

Одной из основных причин повреждения производственного оборудования является механическое воздействие, в результате чего материал аппаратов и трубопроводов может испытывать чрезмерно высокие внутренние напряжения, способные вызвать образование неплотностей в швах и разъемных соединениях, а иногда и полное разрушение аппарата или трубопровода.

Причинами появления высоких внутренних напряжений могут быть:

образование в аппаратах и трубопроводах повышенных внутренних давлений в результате нарушения материального баланса, теплового расширения газов или жидкостей, при попадании воды или низкокипящих жидкостей в нагретые высококипящие жидкости и др.;

появление больших динамических нагрузок при резких изменениях внутреннего давления в аппаратах и трубопроводах, при гидравлических ударах и др.;

образование больших температурных напряжений и изменения свойств материала под действием температур.

1. Изменение давления в аппаратах при прекращении подачи воды на конденсацию паров (нарушение материального баланса) определяется по формуле:

$$\Delta p = \frac{V_{\text{п}} \tau}{V_{\text{св}}}, \quad (15)$$

где Δp — избыточное давление, образовавшееся при прекращении подачи воды на конденсацию паров, в кг/см^2 ;

$V_{\text{п}}$ — объем паров жидкости в м^3 , образующихся в аппарате за 1 сек.;

τ — время, в течение которого отсутствует подача воды на конденсацию паров, в сек.;

$V_{\text{св}}$ — свободный объем аппарата в м^3 .

Для ректификационных колонн объем паров, образовавшихся в аппарате, определяется по уравнению:

$$V_{\text{п}} = \frac{G_{\text{р}}}{300 \gamma_{\text{п}}^t}, \quad (16)$$

где $G_{\text{р}}$ — вес ректификата в кг/час ;

$\gamma_{\text{п}}^t$ — объемный вес паров ректификата при температуре кипения в кг/м^3 ,

$$\gamma_{\text{п}}^t = \gamma_0 \frac{T_0}{T_{\text{раб}}}, \quad (17)$$

где $T_{\text{раб}}$ — рабочая температура в аппарате в $^{\circ}\text{К}$;
 T_0 — 273°К .

$$\gamma_0 = \frac{M}{22,4} \text{ кг/м}^3,$$

здесь M — молекулярный вес ректификата.

Следовательно:

$$\Delta p = \frac{G_{\text{р}} \tau}{300 \gamma_{\text{п}}^t V_{\text{св}}}, \quad (18)$$

$V_{\text{св}}$ — принимают равным 0,7—0,8 от общего объема ректификационной колонны.

2. Нарастание давления в аппаратах в результате теплового расширения газов определяется по формуле:

$$p_t = p_0 \frac{T}{T_0}, \quad (19)$$

где p_t — давление при конечной температуре в кг/см^2 ;

p_0 — давление при начальной температуре в кг/см^2 .

3. Величина давления в емкостях и аппаратах с насыщенными парами жидкостей определяется по таблицам зависимости давления паров от температуры (см. приложение 1, табл. 1—3).

4. Для определения величины давления в емкости, сплошь заполненной жидкостью или сжиженным газом при их тепловом расширении, пользуются формулой:

$$\Delta p = \frac{\beta}{\beta_{\text{сж}}} \Delta t, \quad (20)$$

где Δp — величина давления при нагревании жидкости или сжиженного газа на Δt в атм ;

β — коэффициент объемного расширения жидкости;

$\beta_{\text{сж}}$ — коэффициент объемного сжатия жидкости;

Δt — разность между начальной и конечной температурами.

Коэффициенты объемного расширения и объемного сжатия жидкостей и газов приведены в приложениях 11, 12 и 13.

5. Для определения оптимально необходимой величины свободного пространства в емкостях пользуются формулой:

$$V_1 = \beta V \Delta t, \quad (21)$$

где V_1 — свободное пространство в м^3 или л ;

V — объем сосуда в м^3 или л ;

β — коэффициент объемного расширения;

Δt — разность между начальной и конечной температурами.

6. Количество паров, выделяющихся при испарении 1 кг любой жидкости при любой температуре, определяется из следующего выражения:

$$V_t = 0,082 \frac{T_{\text{раб}}}{M}, \quad (22)$$

где V_t — объем паров при испарении одного кг жидкости в м^3 ($\text{м}^3/\text{кг}$);

$T_{\text{раб}}$ — рабочая температура аппарата в $^{\circ}\text{К}$;

M — молекулярный вес испаряющейся жидкости.

7. Повышение давления в трубопроводе при гидравлическом ударе определяется по формуле академика Жуковского:

$$\Delta p = \frac{\gamma C \Delta w}{g} 10^{-4}, \quad (23)$$

где Δp — повышение давления в трубопроводе при гидравлическом ударе в $\text{кг}/\text{см}^2$;

γ — объемный вес жидкости в $\text{кг}/\text{м}^3$;

C — скорость распространения ударной волны в $\text{м}/\text{сек}$;

Δw — уменьшение средней скорости движения при торможении струи в $\text{м}/\text{сек}$;

g — ускорение силы тяжести в $\text{м}/\text{сек}^2$.

Скорость распространения ударной волны определяется из выражения:

$$C = \sqrt{\frac{E_{\text{ж}} g}{\gamma \left(1 + \frac{d E_{\text{ж}}}{\delta E} \right)}}, \quad (24)$$

где C — скорость распространения ударной волны в $\text{м}/\text{сек}$;

$E_{\text{ж}}$ — модуль упругости жидкости в $\text{кг}/\text{м}^2$;

g — ускорение силы тяжести в $\text{м}/\text{сек}^2$;

γ — объемный вес жидкости в $\text{кг}/\text{м}^3$;

d — внутренний диаметр трубопровода в м ;

δ — толщина стенки трубопровода в м ;

E — модуль упругости материала трубопровода в $\text{кг}/\text{м}^2$.

8. Величина температурных напряжений, возникающих в трубах от нагревания, при жестком заземлении обоих концов трубы, определяется по формуле:

$$\sigma_t = 1,2 \frac{t_2 - t_1}{10^5} E \text{ кг}/\text{см}^2, \quad (25)$$

где E — модуль упругости, для стали равный $2,10 \times 10^6 \text{ кг}/\text{см}^2$.

9. Температура стенки теплообменной поверхности при наличии отложений кокса, накали и т. п. можно определить, пользуясь формулой:

$$t_{\text{ст}} = t_1 - \frac{r_1}{R} (t_1 - t_2), \quad (26)$$

где r_1 — термическое сопротивление при переходе тепла от теплоносителя к теплообменной поверхности в $\text{м}^2 \text{ час град/ккал}$;

t_1 — средняя температура теплоносителя в $^{\circ}\text{C}$;

t_2 — средняя температура нагрева жидкости в $^{\circ}\text{C}$;

R — общее термическое сопротивление, т. е. сопротивление при переходе тепла от теплоносителя к нагреваемому веществу в $\text{м}^2 \text{ час град/ккал}$,

$$R = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2},$$

где α_1 — коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке в $\text{ккал/м}^2 \text{ час град}$;

α_2 — коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемому веществу в $\text{ккал/м}^2 \text{ час град}$;

λ_1 и λ_2 — коэффициенты теплопроводности материала стенки и отложения в ккал/м час град ;

δ_1 и δ_2 — толщина стенки и отложения в м.

10. Количество жидкости, выходящей наружу через образующиеся отверстия, определяется по формуле:

$$G = \mu f \gamma \sqrt{2gH}, \quad (27)$$

где G — количество жидкости, вытекающей через отверстие, в кг/сек ;

μ — коэффициент истечения;

f — приведенная площадь отверстия в стенке в м^2 ;

γ — объемный вес жидкости в кг/м^3 ;

g — ускорение силы тяжести в м/сек^2 ;

H — внутреннее давление в аппарате в м вод. ст.

11. Количество паров и газов, выходящих через неплотности аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением, определяется так же, как и при истечении через отверстия предохранительного клапана, по формуле:

$$G = 220 f p \sqrt{\frac{M}{T}}, \quad (28)$$

где G — количество паров или газов, выходящих через неплотности аппаратов и трубопроводов, работающих под давлением, в кг/час ;

f — приведенная площадь отверстия в см^2 ;

p — давление в аппарате в кг/см^2 ;

M — молекулярный вес паров или газов;

T — рабочая температура в аппарате в $^{\circ}\text{K}$.

§ 2. Примеры

24. Определить давление в ректификационной колонне, если в течение 10 мин. будет прекращена подача воды на конденсацию паров (т. е. будет нарушен материальный баланс). Колонна предназначена для разделения смеси: этиловый спирт — вода. Производительность колонны по легкокипящему компоненту (по этиловому спирту) 1446 кг/час. Объем ректификационной колонны 50 м³. Давление в колонне при нормальном режиме работы 1,2 кг/см².

Решение. Давление в ректификационной колонне определяется по формуле (18):

$$\Delta p = \frac{G_p \tau}{3600 \gamma_n^t V_{св}},$$

где $G_p = 1446$ кг/час;

$\tau = 10$ мин. $= 10 \cdot 60 = 600$ сек.;

$$\gamma_n^t = \gamma_0 \frac{T_0}{T_{раб}} = \frac{M}{22,4} \cdot \frac{273}{273+78} = \frac{46 \cdot 273}{22,4 \cdot 351} = 1,6 \text{ кг/м}^3;$$

$$V_{св} = 0,7 V_k = 0,7 \cdot 50 = 35 \text{ м}^3.$$

Подставляя найденные и известные величины, получим:

$$\Delta p = \frac{1446 \cdot 600}{3600 \cdot 1,6 \cdot 35} = 4,3 \text{ кг/см}^2.$$

Следовательно, давление в колонне будет:

$$p_{общ} = \Delta p + p_{раб} = 4,3 + 1,2 = 5,5 \text{ кг/см}^2.$$

25. Определить давление в емкости, сплошь заполненной жидким аммиаком, если известно, что начальная температура 20°, а затем аммиак нагрелся до 50°.

Решение. Давление в емкости находится по формуле (20)

$$\Delta p = \frac{\beta}{\beta_{сж}} \Delta t.$$

Для этого необходимо определить коэффициенты объемного расширения β и сжатия $\beta_{сж}$ для аммиака. Так как эти коэффициенты изменяются в зависимости от величины температуры, то в формулу необходимо подставлять их среднее значение.

По приложению 11 находим, что:

при $t_1 = 20^\circ$ $\beta_1 = 0,00234$, а при $t_2 = 50^\circ$ $\beta_2 = 0,00313$.

Следовательно,

$$\beta = \frac{\beta_1 + \beta_2}{2} = \frac{0,00234 + 0,00313}{2} = 0,002735.$$

По приложению 12 находим:

при $t_1 = 20^\circ$ $\beta'_{сж} = 0,000128$, а при $t_2 = 50^\circ$ $\beta''_{сж} = 0,000220$.

Следовательно:

$$\beta_{сж} = \frac{\beta'_{сж} + \beta''_{сж}}{2} = \frac{0,000128 + 0,000220}{2} = 0,000174.$$

Подставляя полученные значения в основную формулу, будем иметь:

$$\Delta p = \frac{\beta}{\beta_{сж}} \Delta t = \frac{0,002735}{0,000174} (50 - 20) \approx 471,6 \text{ кг/см}^2.$$

При таком давлении неизбежна авария емкости.

26. Определить необходимую величину свободного объема в сосуде со сжиженным аммиаком при увеличении температуры с 10 до 30°. Объем сосуда 200 м³.

Решение. Величина свободного объема в сосуде определяется по формуле (21):

$$V_1 = \beta V \Delta t.$$

По приложению 11 находим, что при $t_{ср} = \frac{30 + 10}{2} = 20^\circ$ $\beta = 0,00234$.

Подставляя значения, получим

$$V_1 = 0,00234 \cdot 200 (30 - 10) = 9,36 \text{ м}^3.$$

Это составляет $\frac{9,36}{200} 2 \cdot 100 = 4,68\%$ объема сосуда.

27. Определить давление, которое образовалось в приемнике пека при перегонке каменноугольной смолы, имеющем температуру 300°, если в него попало 90 кг бензола. Нормальное давление в приемнике 1,3 кг/см², объем его 30 м³, степень заполнения 0,8.

Решение. а) Определяем количество паров, образующихся при испарении 1 кг бензола, по формуле (22):

$$V_1 = 0,082 \frac{T_{раб}}{M} = 0,082 \frac{573}{78} \approx 0,602 \text{ м}^3.$$

б) Определяем общее количество паров, образующихся при испарении 90 кг бензола

$$V_{п} = V_1 G_{ж} = 0,602 \cdot 90 = 54,18 \text{ м}^3.$$

в) Определяем, на сколько увеличится давление в приемнике при попадании в него бензола:

$$\Delta p = \frac{V_{п}}{V_{св}} = \frac{54,18}{(1 - 0,8) 30} = 9,03 \text{ кг/см}^2.$$

Полное давление в аппарате будет:

$$p = p_{раб} + \Delta p = 1,3 + 9,03 = 10,33 \text{ кг/см}^2.$$

28. Определить силу гидравлического удара при быстром закрытии задвижки в стальном трубопроводе, имеющем наружный диаметр 102 мм и толщину стенки 5 мм. По трубопроводу протекает нефть со скоростью 1 м/сек, удельный вес нефти 800 кг/м³.

Решение. Для определения приращения давления в трубопроводе при гидравлическом ударе, воспользуемся формулой (23):

$$\Delta p = \frac{\gamma C \Delta w}{g} 10^{-4},$$

где $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$;

$\Delta\omega = 1 \text{ м/сек}$;

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$.

Скорость распространения ударной волны C определим по формуле (24):

$$C = \sqrt{\frac{E_{\text{ж}} g}{\gamma \left(1 + \frac{dE_{\text{ж}}}{\delta E}\right)}} \text{ м/сек.}$$

Согласно условиям задачи и табличным данным имеем:

$E_{\text{ж}} = 13\,500 \text{ кг/см}^2 = 13\,500 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$; $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$;

$d = 102 - 2 \cdot 5 = 92 \text{ мм} = 0,092 \text{ м}$; $\delta = 5 \text{ мм} = 0,005 \text{ м}$.

$E_{\text{стали}} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2 = 2,1 \cdot 10^6 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2$.

Подставляя значения, найдем:

$$C = \sqrt{\frac{13\,500 \cdot 10^4 \cdot 9,81}{800 \left(1 + \frac{0,092 \cdot 13\,500 \cdot 10^4}{0,005 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 10^4}\right)}} \approx 1216 \text{ м/сек.}$$

Тогда $\Delta p = \frac{800 \cdot 1216 (1-0)}{9,81} = 99164 \text{ кг/м}^2$, или $9,92 \text{ кг/см}^2$.

Такое приращение давления может вызвать разрыв трубопровода.

29. Определить температурные напряжения в стальной трубе (Ст. 3) длиной 8 м при условии жесткого защемления обоих концов трубы и при нагревании ее от 10 до 400°.

Решение. Напряжение в стенках трубы определяется по формуле (25):

$$\sigma_t = 1,2 \frac{t_2 - t_1}{10^5} E = 1,2 \frac{400 - 10}{100000} 2,1 \cdot 10^6 = 9\,828 \text{ кг/см}^2.$$

30. При нагревании горючей жидкости в трубчатой печи произошло частичное ооксование радиантных труб. Слой ооксования составляет 1,6 см (см. рис. 4).

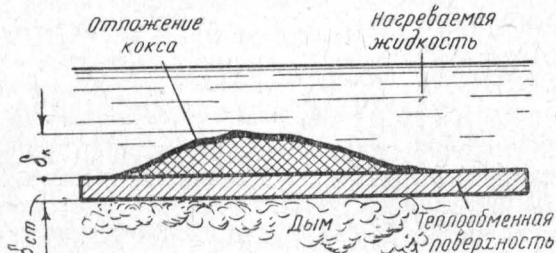


Рис. 4

Определить температуру трубы в местах ооксования и на участках, где нет кокса, если известно, что средняя температура дыма

1 000°, средняя температура нагрева жидкости 250°, коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к стенке $\alpha_1 = 40$ ккал/м²час град; коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой жидкости $\alpha_2 = 600$ ккал/м² час град. Толщина стенки трубы 4 мм; $\lambda_{\text{стали}} = 50$ ккал/м час град; $\lambda_{\text{кокса}} = 0,4$ ккал/м час град.

Решение. Для определения температуры стенки в местах ооксования и на участках, где нет кокса, воспользуемся формулой (26):

$$t_{\text{ст}} = t_1 - \frac{r_1}{R}(t_1 - t_2).$$

Неизвестными величинами в этой формуле являются r_1 и R

$$r_1 = \frac{1}{\alpha_1} = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ м}^2 \text{ час град/ккал.}$$

Для участка теплообменной поверхности, где нет кокса:

$$R_1 = \frac{1}{\alpha} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{40} + \frac{0,004}{50} + \frac{1}{600} = 0,02678 \text{ м}^2 \text{ час град/ккал.}$$

Температура стенки на этом участке будет

$$t_{\text{ст}} = 1000 - \frac{0,025}{0,02678} (1000 - 250) = 299,5^\circ.$$

Для участка теплообменной поверхности с наличием отложения кокса

$$R_2 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{\delta_{\text{к}}}{\lambda_{\text{к}}} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{40} + \frac{0,004}{50} + \frac{0,016}{0,4} + \frac{1}{600} = 0,06678 \text{ м}^2 \text{ час град/ккал.}$$

Температура стенки с наличием отложений кокса

$$t_{\text{ст}} = 1000 - \frac{0,025}{0,06678} (1000 - 250) = 719,5^\circ.$$

Таким образом, наличие кокса резко повышает температуру труб, что может привести к прогару и деформации труб, выполненных из обычных сталей.

31. Определить, какое количество ацетона вытечет из аппарата в помещении цеха через неплотности во фланцевом соединении, если приведенная площадь образовавшегося отверстия равна 5 мм², аппарат работает под давлением 2 кг/см², течь не устранялась в течение 5 мин.

Решение. Количество жидкости, выходящей наружу через образовавшееся отверстие, определяется по формуле (27):

$$G = \mu f \gamma \sqrt{2gH}.$$

Согласно условиям задачи и табличным данным имеем:

$$f = 5 \text{ мм}^2 = 0,000005 \text{ м}^2; \quad \gamma = 812 \text{ кг/м}^3; \quad g = 9,81 \text{ м/сек}^2; \quad H =$$

$= 2 \text{ кг/см}^2 = 20 \text{ м вод. ст.}$ Принимая $\mu = 0,7$ и подставляя известные значения величин в формулу, найдем:

$$G = 0,7 \cdot 0,000005 \cdot 812 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 20} = 0,0562 \text{ кг/сек.}$$

За 5 мин. это составит

$$0,0562 \cdot 5 \cdot 60 = 16,86 \text{ кг.}$$

§ 3. Задачи

32. Определить давление в ректификационной колонне, если в течение 12 мин. будет прекращена подача воды на конденсацию паров. Колонна предназначена для разделения смеси: серный эфир—ацетон. Производительность колонны по легкокипящему компоненту 785 кг/час . Объем ректификационной колонны 17 м^3 . Давление в колонне при нормальном режиме работы $1,2 \text{ кг/см}^2$.

33. Определить давление в ректификационной колонне, если в течение 12 мин. будет прекращена подача воды на конденсацию паров. Колонна предназначена для разделения смеси: бензол—толуол. Производительность по легкокипящему компоненту 787 кг/час . Объем ректификационной колонны 20 м^3 . Давление в колонне при нормальном режиме работы $1,1 \text{ кг/см}^2$.

34. Определить давление в емкости, сплошь заполненной жидким аммиаком, если известно, что начальная температура была 0° , а затем аммиак нагрелся до температуры 20° .

35. Определить давление в емкости, сплошь заполненной жидким пропаном, если известно, что начальная температура была 15° , а затем пропан нагрелся до температуры 30° . Сделать соответствующие выводы.

36. Определить величину давления в емкости, сплошь заполненной жидким бутаном, если известно, что начальная температура была 10° , а затем бутан нагрелся до 25° .

Определить, какое внутреннее напряжение возникает в стенке стального горизонтально расположенного цилиндрического резервуара, изготовленного из Ст. 3, имеющего размеры:

$$D_{\text{ср}} = 4000 \text{ мм}, l = 9000 \text{ мм}, \text{толщина } \delta_{\text{ст}} = 8 \text{ мм.}$$

Резервуар находится в эксплуатации 4 года, стенки подвергались коррозии со скоростью $0,6 \text{ мм}$ в год. Дать анализ поведения резервуара для указанного изменения температуры.

37. Определить требуемую величину свободного объема в сосуде со сжиженным бутаном при изменении температуры с -20 до $+24^\circ$. Объем сосуда 150 м^3 .

38. Определить требуемую величину свободного объема в сосуде со сжиженным пропаном при изменении температур с -10 до $+40^\circ$.

39. Определить давление, которое образовалось в емкости, заполненной мазутом, имеющем температуру 290° , если в него попало 30 кг воды. Нормальное давление в емкости $1,2 \text{ кг/см}^2$, объем емкости 30 м^3 . Степень заполнения $0,85$.

40. В буферную вертикальную цилиндрическую емкость диаметром 2 м, высотой 5 м на 80% заполненную каменноугольным маслом при температуре 320° и давлении 4 кг/см² попало 60 кг бензола. Дать заключение о возможности разрыва стенки буферной емкости, если известно, что она выполнена из Ст. 3, имеет минимальную толщину стенки в местах сильной коррозии 6 мм.

41. Определить силу гидравлического удара при быстром закрытии задвижки в стальном трубопроводе, имеющем наружный диаметр 95 мм и толщину стенки 5 мм. По трубопроводу протекает бензин со скоростью 1,3 м/сек; объемный вес бензина 720 кг/м³.

42. Определить температурное напряжение в трубе из легированной стали длиной 8 м при условии жесткого защемления обоих концов и при нагревании ее от 5 до 300°.

43. В процессе эксплуатации трубчатой печи произошло частичное ококсование труб. Определить температуру стенки на участке трубы, где нет кокса, и на участке ококсованной трубы, если известно, что средняя температура дыма 1100°, жидкость нагревается до 280°, коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости 570 ккал/м² час град, толщина труб 6 мм, трубы крекинговые (легированные) марки 12 МХ.

44. В процессе эксплуатации трубчатой печи произошло частичное ококсование труб. Определить температуру стенки на участке трубы, где нет кокса, и на участке ококсованной трубы, если известно, что средняя температура дыма 980°, жидкость нагревается до 240°; коэффициент теплоотдачи от стенки к жидкости 560 ккал/м² час град, толщина слоя кокса 10 мм, $\lambda_{\text{кокса}}$ 0,4 ккал/м час град, толщина труб 6 мм, трубы крекинговые (легированные) марки 12 МХ.

45. Определить, какое количество бензола вытечет из аппарата в помещение цеха через неплотности во фланцевом соединении, и дать заключение о пожарной опасности образовавшейся концентрации (при испарении всего вытекшего бензола), если приведенная площадь образовавшегося отверстия равна 4 мм², аппарат работает под давлением 1,5 кг/см², течь не устранялась в течение 5 мин. Помещение имеет размеры 6×8×10 м, в помещении работает общеобменная вентиляция с кратностью воздухообмена, равной 6.

Глава III

ОГРАНИЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА ПО ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ УСТРОЙСТВАМ

§ 1. Расчетные формулы

При возникновении пожара необходимо принимать меры к аварийному сливу легковоспламеняющихся и горючих жидкостей и выпуску из аппаратов паров и газов. Для предотвращения возможности распространения пламени по производственным коммуникациям нужно устанавливать различные предохранительные устройства: огнепреградители, гидравлические и сухие затворы, автоматически действующие задвижки, водяные завесы и т. д.

Для срабатывания повышенного давления, образующегося при нарушении технологического режима, и избыточного давления, образующегося при взрыве, аппараты оборудуют предохранительными клапанами.

1. Полное время слива жидкости определяется по формуле:

$$\tau = \frac{V}{q_{\text{ср}}}, \quad (29)$$

где τ — время слива жидкости в сек;

V — объем жидкости, подлежащей сливу, в м^3 ;

$q_{\text{ср}}$ — средний расход жидкости в трубе при сливе в $\text{м}^3/\text{сек}$.

Средний расход жидкости при движении ее по трубе под изменяющимся напором равен:

$$q_{\text{ср}} = 0,5 (q_{\text{макс}} + q_{\text{мин}}),$$

где $q_{\text{макс}}$ — расход, соответствующий напору H_1 , в $\text{м}^3/\text{сек}$ (см. рис. 5);

$q_{\text{мин}}$ — расход, соответствующий напору H_2 , в $\text{м}^3/\text{сек}$ (см. рис. 5).

Расход жидкости в зависимости от величины напора определяется по формуле:

$$q = \mu f \sqrt{2gH}, \quad (30)$$

где q — расход жидкости в зависимости от величины напора в $\text{м}^3/\text{сек}$;

μ — коэффициент расхода;

f — площадь сечения трубы в м^2 ;

g — ускорение силы тяжести в $\text{м}/\text{сек}^2$;

H — свободный напор в м .

При истечении в слой жидкости коэффициент расхода будет равен:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{d} + \Sigma \zeta}}, \quad (31)$$

где λ — коэффициент линейных потерь от трения при движении жидкости;

l — длина аварийной линии в м ;

d — диаметр аварийной линии в м ;

$\Sigma \zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений.

Для определения λ можно пользоваться готовыми таблицами. Так, например, при турбулентном движении жидкости в зависимости от ее вязкости λ можно принимать в пределах значений, указанных в табл. 4.

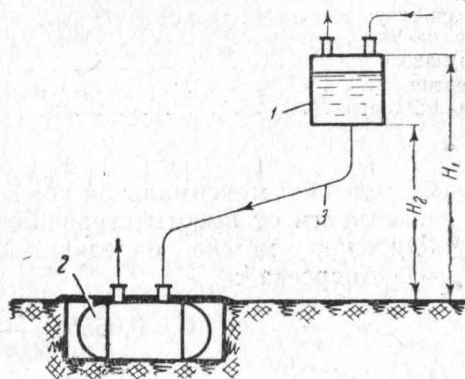


Рис. 5

1 — расходная емкость; 2 — аварийная емкость; 3 — линия аварийного слива

Таблица 4

Диаметр трубы в мм	Кинематическая вязкость ν в $\text{см}^2/\text{сек}$	λ
38	0,01—0,02	0,02
	0,02—0,03	0,025
	0,03—0,07	0,03
	0,07—0,10	0,034
50	0,01—0,03	0,02
	0,03—0,05	0,025
	0,05—0,10	0,03
65	0,01—0,03	0,02
	0,03—0,06	0,025
	0,06—0,10	0,03

Величина местных сопротивлений ζ принимается по табл. 5.

Таблица 5

Вид сопротивления	Местное сопротивление ζ
Вход струи при отверстии с острыми краями	1,78
Колено	1,00
Задвижка	0,05—0,1
Вентиль	0,6—5,0
Выход струи	1,78

2. Величину максимальной концентрации газа на уровне земли в зависимости от высоты стравливающей линии и скорости ветра приближенно можно определить по упрощенным формулам П. И. Андреева¹:

$$C = 0,0655 \frac{G}{w(H+\Delta H)^2}, \quad (32)$$

где C — максимальная концентрация газа на уровне земли в г/м³;

G — количество стравливаемого газа в г/час;

w — скорость ветра в м/сек;

H — высота стравливающей линии над уровнем земли в м;

ΔH — высота подъема струи газа над устьем стравливающей линии (свечи) в м.

Величина ΔH определяется из следующего уравнения:

$$\Delta H = \frac{1,9 D w_{\Gamma}}{w \varphi}, \quad (33)$$

где D — диаметр стравливающей линии в м;

w_{Γ} — скорость выхода газа из стравливающей линии в м/сек;

φ — коэффициент, учитывающий изменение скорости ветра на различной высоте от уровня измерения.

Величину φ можно принимать в зависимости от высоты $H + \Delta H$ в пределах, как показано в табл. 6.

Таблица 6

$(H + \Delta H)$ в м	φ
20	1,15
60	1,4
100	1,5

¹ П. И. Андреев. Рассеивание в воздухе газов, выбрасываемых промышленными предприятиями. Госстройиздат, 1952.

3. Критический диаметр огнепреградителя определяется по формуле:

$$d_{кр} = \frac{4\lambda (t_{св} - t_n)}{\omega [q_n - C_p (t_r - t_{св})]}, \quad (34)$$

где $d_{кр}$ — критический диаметр огнепреградителя в м;
 λ — коэффициент теплопроводности исходной смеси в ккал/м сек град;
 ω — скорость горения смеси в м/сек;
 q_n — количество тепла, выделяющееся при горении 1 м³ смеси, в ккал/м³;
 C_p — теплоемкость продуктов горения в ккал/м³ град;
 t_n — начальная температура смеси в °С;
 $t_{св}$ — температура самовоспламенения смеси в °С;
 t_r — температура горения смеси в °С.

Требуемый диаметр отверстия огнепреградителя принимается равным:

$$d_{тр} = (0,5 - 0,8) d_{кр}.$$

4. Необходимые размеры предохранительного клапана можно определить по следующей упрощенной формуле:

$$G = 220 f p \sqrt{\frac{M}{T}}, \quad (35)$$

где G — пропускная способность клапана в кг/час;
 f — площадь сечения клапана в см²;
 p — давление, при котором клапан должен сработать, в кг/см²;
 M — молекулярный вес паров или газов;
 T — рабочая температура паров или газов в °К.
 Площадь сечения клапана из этой формулы будет равна:

$$f = \frac{G}{220 p \sqrt{\frac{M}{T}}}.$$

5. Давление при взрыве можно определить по следующей формуле:

$$p_{взр} = p_{нач} \frac{T_{взр}}{T_{нач}} \cdot \frac{m}{n}, \quad (36)$$

где $p_{взр}$ — давление при взрыве в кг/см²;
 $p_{нач}$ — давление в аппарате до взрыва в кг/см²;
 $T_{взр}$ — температура при взрыве в °К;
 $T_{нач}$ — температура в аппарате до взрыва в °К;
 m — количество молекул, образовавшихся в результате взрыва;
 n — количество молекул смеси до взрыва.

6. Мощность при взрыве определяется по формуле:

$$N = \frac{A}{75 \tau}, \quad (37)$$

где N — мощность при взрыве в л. с.;

A — работа газообразных продуктов взрыва в момент расширения в кгм;

τ — время взрыва в сек. (в среднем принимается равным: для газов — 0,1 сек.; паров жидкостей — 0,2 сек.; пылей — 0,5 сек.).

Работа при расширении газов определяется по формуле:

$$A = \frac{p_{\text{взр}} V}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_{\text{взр}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right], \quad (38)$$

где V — свободный объем аппарата в м³;

$p_{\text{взр}}$ — давление при взрыве в кг/м²;

p_0 — атмосферное давление (давление газа после разрушения аппарата) в кг/м²;

k — отношение $\frac{C_p}{C_v}$.

7. Площадь мембранного предохранительного клапана определяется по формуле:

$$F = f V_{\text{ап}}, \quad (39)$$

где F — площадь мембранного предохранительного клапана в м²;

f — удельная площадь мембранного предохранительного клапана в м²/м³ объема аппарата;

$V_{\text{ап}}$ — свободный объем защищаемого аппарата в м³.

Удельная площадь мембранного предохранительного клапана определяется из следующего выражения:

$$f = \frac{\Delta V_t}{\tau \omega}, \quad (40)$$

где ΔV_t — избыточное количество продуктов горения, т. е. то количество продуктов взрыва, которое необходимо отвести из каждого м³ объема аппарата, в м³/м³;

ω — скорость истечения газов в м/сек;

τ — время взрыва в сек.

Избыточное количество продуктов горения равно:

$$\Delta V_t = V_t - \frac{P_{\text{доп}}}{P_0}, \quad (41)$$

где V_t — объем газообразных продуктов, получающийся при взрыве смеси, содержащейся в 1 м³ аппарата, в м³;

$P_{\text{доп}}$ — давление в аппарате, при котором должен сработать клапан, в кг/см²;

P_0 — атмосферное давление в кг/см².

Объем газообразных продуктов, получающихся при взрыве смеси, содержащейся в 1 м³ аппарата, равен:

$$V_t = \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \cdot \frac{T_{\text{взр}}}{T_0} \cdot \frac{m}{n}, \quad (42)$$

где V_t — объем газообразных продуктов, получающихся при взрыве смеси, содержащейся в 1 м³ аппарата, в м³;

$p_{\text{раб}}$ — рабочее давление в аппарате в кг/см²;

p_0 — атмосферное давление в кг/см²;

$T_{\text{взр}}$ — температура взрыва в °К;

T_0 — 273° К;

m — количество молекул, образовавшихся в результате взрыва;

n — количество молекул смеси до взрыва.

Скорость истечения через отверстие предохранительного клапана в условиях адиабатического расширения газов (при истечении с дозвуковой скоростью) ω (м/сек) определяется по следующей формуле:

$$\omega = \mu \sqrt{2g \frac{k}{k-1} p_{\text{доп}} V_0^t \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_{\text{доп}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}, \quad (43)$$

где μ — коэффициент расхода, принимаемый для продуктов горения от 0,6 до 0,75;

g — ускорение силы тяжести в м/сек²;

k — отношение $\frac{C_p}{C_v}$;

$p_{\text{доп}}$ — давление, при котором срабатывает клапан, в кг/м²;

p_0 — атмосферное давление в кг/м²;

V_0^t — удельный объем продуктов горения при температуре взрыва в м³/кг.

При нормальных условиях объемный вес γ_0 продуктов горения можно считать примерно равным объемному весу воздуха (1,29 кг/м³). Следовательно, удельный объем продуктов горения при температуре взрыва будет равен:

$$V_0^t = \frac{1}{\gamma_0} \cdot \frac{T_{\text{взр}}}{T_0} = \frac{1 \cdot T_{\text{взр}}}{1,29 T_0} = 0,78 \frac{T_{\text{взр}}}{T_0}, \quad (44)$$

Зная ΔV_t и ω , можно найти f и F , а зная F , диаметр клапана d можно определить из выражения:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi n}}, \quad (45)$$

где n — количество предохранительных клапанов.

Толщину мембраны можно определить по формуле И. Г. Рубинштейна:

$$\delta = k p_{\text{доп}} d 10^{-3}, \quad (46)$$

где δ — толщина мембраны в см;

k — коэффициент, равный для мембран: алюминиевых — 0,33—0,38; медных — 0,15—0,18;

$p_{\text{доп}}$ — давление, при котором мембрана должна сработать, в кг/см^2 ;

d — диаметр мембраны в см .

§ 2. Примеры

46. Определить время аварийного слива 15 м^3 ацетона из промежуточной емкости в аварийный резервуар, если известно, что днище промежуточной емкости от аварийного резервуара находится на высоте 12 м, промежуточная емкость до начала слива имела слой жидкости 2 м, общая длина аварийной линии 25 м, диаметр линии 65 мм, линия имеет два колена. Температура ацетона при сливе 20° .

Решение. Для определения времени аварийного слива воспользуемся формулами (29), (30) и (31):

$$\tau = \frac{V}{q_{\text{ср}}}; \quad q = \mu f \sqrt{2gH}; \quad \mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{d} + \Sigma \zeta}}.$$

Для определения μ найдем λ и $\Sigma \zeta$.

а) Определяем коэффициент линейных потерь от трения; вязкость ацетона при $t=20^\circ$ (см. приложение 5) равна $0,322 \cdot 10^2 \text{ г/см сек}$, или кинематическая вязкость: $\nu=0,04 \text{ см}^2/\text{сек}$.

В соответствии с табл. 4 при такой вязкости ацетона для трубы диаметром 65 мм $\lambda=0,025$.

б) По табл. 5 определяем сумму коэффициентов местных сопротивлений для системы (вход, два колена, задвижка, выход).

$$\Sigma \zeta = 1,78 + 2 \cdot 1,00 + 0,1 + 1,78 = 5,66.$$

в) Подставляя найденные значения в формулу, определяем μ :

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{\lambda l}{d} + \Sigma \zeta}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{0,025 \cdot 25}{0,065} + 5,66}} = 0,256.$$

г) Определяем расход ацетона при сливе, для чего воспользуемся формулой:

$$q = \mu f \sqrt{2gH}; \quad f = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,065^2}{4} = 0,0033 \text{ м}^2.$$

Следовательно:

$$q_{\text{макс}} = 0,256 \cdot 0,0033 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 14} = 0,014 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$q_{\text{мин}} = 0,256 \cdot 0,0033 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 12} = 0,013 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Средний расход будет:

$$q_{\text{ср}} = 0,5(0,014 + 0,013) = 0,0135 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

д) Определяем время слива:

$$\tau = \frac{V}{q_{\text{ср}}} = \frac{15}{0,0135} = 1111 \text{ сек.}, \text{ или } 18,5 \text{ мин.}$$

Таким образом, при данных условиях 15 м³ ацетона будет слито в аварийную емкость приблизительно за 18,5 мин.

47. На крекинг-установке производится аварийное стравливание пропана из аппарата со скоростью 100 кг/час по стравливающей линии диаметром 100 мм; высота ее 15 м от уровня земли, что в 2 раза меньше требуемой высоты свечи. Определить максимальную концентрацию газа на поверхности земли и сделать заключение о ее пожарной опасности, если известно, что скорость движения ветра равна 2 м/сек, а скорость выхода газа из стравливающей линии — 18 м/сек.

Решение. Для определения концентрации газа воспользуемся формулой П. И. Андреева (32):

$$C = 0,0655 \frac{G}{w(H+\Delta H)^2}.$$

По условиям задачи известно:

$G = 100 \text{ кг/час} = 100\,000 \text{ г/час}$; $w = 2 \text{ м/сек}$; $H = 15 \text{ м}$.

Величину ΔH определим по формуле (33):

$$\Delta H = \frac{1,9Dw_r}{w\varphi}.$$

В данном случае $D = 100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$, а $w_r = 18 \text{ м/сек}$.

Так как $H + \Delta H$ будет менее 20 м, по табл. 6 принимаем $\varphi = 1,15$.

Подставляя известные значения в формулу, получим:

$$\Delta H = \frac{1,9Dw_r}{w\varphi} = \frac{1,9 \cdot 0,1 \cdot 18}{2 \cdot 1,15} \approx 1,5 \text{ м}.$$

Тогда:

$$C = 0,0655 \frac{G}{w(H+\Delta H)^2} = 0,0655 \frac{100\,000}{2(15+1,5)^2} \approx 12 \text{ г/м}^3.$$

Эта концентрация меньше величины нижнего предела взрыва ацетона в смеси с воздухом (38,6 г/м³) и пожарной опасности представлять не будет.

48. Определить требуемый диаметр отверстия огнепреградителя, установленного на продувочной линии ацетиленового газгольдера. Известно, что температура газа в газгольдере 20°.

Решение. Для определения критического диаметра отверстия огнепреградителя воспользуемся формулой (34):

$$d_{\text{кр}} = \frac{4\lambda(t_{\text{св}} - t_{\text{н}})}{w[q_{\text{н}} - C_p(t_{\text{г}} - t_{\text{св}})]},$$

где $d_{\text{кр}}$ — критический диаметр отверстия огнепреградителя в м;
 λ — коэффициент теплопроводности исходной смеси в ккал/м сек град;

ω — скорость горения смеси. В трубках малого диаметра скорость горения смесей лежит в пределах 0,1—0,5 м/сек. В нашем случае скорость горения ацетилено-воздушной смеси принимаем равной 0,3 м/сек;

q_n — количество тепла, выделяющееся при горении 1 м³ смеси, в ккал/м³;

C_p — теплоемкость продуктов горения в ккал/м³ град;

$t_{св}$ — температура самовоспламенения ацетона, равная 420° С;

t_n — начальная температура смеси. В нашем случае температура смеси равна температуре ацетилена, т. е. 20° С;

t_r — температура горения ацетилена, принимаем ее равной 1 800° С.

Из условий задачи видно, что неизвестными величинами являются:

$$\lambda, q_n \text{ и } C_p.$$

Определим эти величины.

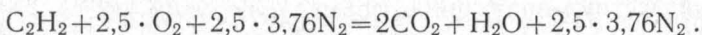
а) Определяем коэффициент теплопроводности исходной смеси при ее средней температуре из формулы:

$$\lambda_{см} = k\lambda_{\text{ацетилена}} + (1 - k)\lambda_{\text{воздуха}},$$

где k — концентрация ацетилена в воздухе в объемных %.

Расчет следует вести по наиболее опасной концентрации, а наиболее опасной концентрацией является стехиометрическая.

Стехиометрическую концентрацию ацетилена в воздухе находим по реакции горения:



$$\text{Тогда } k = \frac{n}{N} = \frac{1}{1 + 2,5 + 2,5 \cdot 3,76} = \frac{1}{12,9} \approx 0,08, \text{ или } 8\%,$$

где n — количество молекул горючего вещества (в данном случае ацетилена);

N — общее число молекул смеси, участвовавших в горении.

Средняя температура смеси:

$$t_{ср} = \frac{t_{св} + t_n}{2} = \frac{420 + 20}{2} = 220^\circ \text{ С.}$$

Коэффициенты теплопроводности при $t_{ср} = 220^\circ$ определяются интерполяцией:

для ацетилена: $\lambda_{\text{ацетилена}} = 37 \cdot 10^{-3}$ ккал/м час град (см. приложение 7),

для воздуха: $\lambda_{\text{воздуха}} = 33,34 \cdot 10^{-3}$ ккал/м час град (см. приложение 7).

Следовательно:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,08 \cdot 37 \cdot 10^{-3} + (1 - 0,08) \cdot 33,34 \cdot 10^{-3} = \\ &= 34 \cdot 10^{-3} \text{ ккал/м час град.} \end{aligned}$$

б) Количество тепла, выделяющегося при горении 1 м³ смеси (q_n), определяем по формуле:

$$q_n = kQ_n \frac{T_0}{T_{cp}} \text{ (ккал/м}^3\text{)},$$

где Q_n — теплотворная способность ацетилена, равная 13 600 ккал/см³ (см. приложение 8).

Подставляя найденные значения в формулу, получим:

$$q_n = 0,08 \cdot 13600 \frac{273}{273+220} = 602,3 \text{ ккал/м}^3.$$

в) Определяем теплоемкость продуктов горения C_p .

Для практических расчетов теплоемкость продуктов горения при нормальных условиях принимается равной теплоемкости воздуха, т. е.

$$C_p = 0,24 \text{ ккал/кг град (см. приложение 7).}$$

Теплоемкость объемная будет:

$$C_p = 0,24 \gamma_{\text{воздуха}} = 0,24 \cdot 1,29 = 0,31 \text{ ккал/м}^3 \text{ град.}$$

Подставив найденные данные в первоначальную формулу, найдем:

$$d_{кр} = \frac{4 \cdot 34 \cdot 10^{-3} (420 - 20)}{0,3 \cdot 3600 [602,3 - 0,31 (1800 - 420)]} = 0,00029 \text{ м, или } 0,29 \text{ мм.}$$

Принимая коэффициент запаса равным 0,6, определяем требуемый диаметр отверстия огнепреградителя

$$d = 0,6 d_{кр} = 0,6 \cdot 0,29 = 0,17 \text{ мм.}$$

49. Определить требуемую площадь пружинного предохранительного клапана, установленного на ректификационной колонне, разделяющей раствор бензол — толуол. Производительность колонны по ректификату 1 000 кг/час. Рабочее давление в колонне 1,2 кг/см², а температура 78°.

Решение. Требуемую площадь пружинного предохранительного клапана определяем по формуле (35):

$$G = 220 fp \sqrt{\frac{M}{T}},$$

откуда площадь сечения клапана будет равна:

$$f = \frac{G}{220 p \sqrt{\frac{M}{T}}},$$

где $G = 1\,000 \text{ кг/час;}$

$$p = p_{\text{раб}} + 0,5 = 1,2 + 0,5 = 1,7 \text{ кг/см}^2;$$

$$M = 78;$$

$$T = t_{\text{раб}} + 273 = 78 + 273 = 351^\circ \text{ К.}$$

Подставляя известные значения в формулу, получим:

$$f = \frac{1000}{220 \cdot 1,7 \sqrt{\frac{78}{351}}} = 5,68 \text{ см}^2.$$

Зная площадь сечения клапана, найдем его диаметр:

$$d = \sqrt{\frac{4f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5,68}{3,14}} \approx 2,7 \text{ см.}$$

50. Определить, какая мощность разовьется при взрыве паров ацетона в промежуточной емкости, если известно, что свободный объем емкости $2,5 \text{ м}^3$, давление в емкости равно атмосферному, температура 20° , средняя температура горения паров ацетона 1400° С .

Решение. Для определения мощности при взрыве необходимо вычислить давление при взрыве и работу при расширении паров ацетона.

Давление при взрыве паров ацетона определяем по формуле (36):

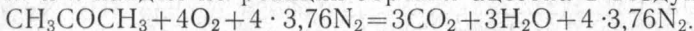
$$p_{\text{взр}} = p_{\text{нач}} \cdot \frac{T_{\text{взр}}}{T_{\text{нач}}} \cdot \frac{m}{n},$$

где $p_{\text{нач}} = 1 \text{ кг/см}^2$;

$$T_{\text{взр}} = 1400 + 273 = 1673^\circ \text{ К};$$

$$T_{\text{нач}} = 20 + 273 = 293^\circ \text{ К};$$

m и n найдем по реакции горения ацетона в воздухе:



Следовательно: $n = 1 + 4 + 4 \cdot 3,76 = 20,04$;

$$m = 3 + 3 + 4 \cdot 3,76 = 21,04.$$

Подставляя найденные значения, получим:

$$p_{\text{взр}} = 1 \cdot \frac{1673}{293} \cdot \frac{21,04}{20,04} = 6,28 \text{ кг/см}^2 = 6,28 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2.$$

Работу, совершаемую газами при их расширении, определяем по формуле (38):

$$A = \frac{p_{\text{взр}} U}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_{\text{взр}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] =$$

$$= \frac{6,28 \cdot 10^4 \cdot 2,5}{1,40-1} \left[1 - \left(\frac{1}{6,28} \right)^{\frac{1,40-1}{1,40}} \right] \approx 16 \cdot 10^4 \text{ кгм.}$$

Принимая время взрыва $\tau = 0,3 \text{ сек.}$, найдем мощность по формуле (37):

$$N = \frac{A}{75\tau} = \frac{16 \cdot 10^4}{75 \cdot 0,3} = 7111 \text{ л. с.}$$

51. Определить требуемую площадь мембранного предохранительного клапана и толщину мембраны для трубопровода, по которому транспортируется паровоздушная смесь бензол — воздух. Трубопровод имеет диаметр 400 мм , длину 30 м и работает под разрежением 300 мм вод. ст. Мембрана должна срабатывать при давлении $1,2 \text{ кг/см}^2$. Средняя температура продуктов горения при взрыве 1600° С . Температура трубопровода 30° С . Материал мембраны — медь.

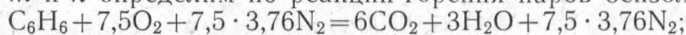
Решение. а) Количество продуктов горения при взрыве бензо-воздушной смеси в 1 м³ трубопровода найдем по формуле (42):

$$V_t = \frac{p_{\text{раб}}}{p_0} \cdot \frac{T_{\text{взр}}}{T_0} \cdot \frac{m}{n}.$$

По условию задачи $p = 1 - 0,03 = 0,97$ кг/см²;

$p_0 = 1$ кг/см²; $T_{\text{взр}} = 1600 + 273 = 1873^\circ \text{K}$.

m и n определим по реакции горения паров бензола в воздухе:



$$n = 1 + 7,5 + 7,5 \cdot 3,76 = 36,7;$$

$$m = 6 + 3 + 7,5 \cdot 3,76 = 37,2.$$

$$V_t = \frac{0,97}{1} \cdot \frac{1873}{273} \cdot \frac{37,2}{36,7} \approx 6,74 \text{ м}^3.$$

б) Определяем количество избыточных продуктов взрыва по формуле (41):

$$\Delta V_t = V_t - \frac{p_{\text{доп}}}{p_0} = 6,74 - \frac{1,2}{1} = 5,54 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ объема аппарата.}$$

в) Определяем скорость истечения газов через отверстие предохранительного клапана по формуле (43):

$$w = \mu \sqrt{2g \frac{k}{k-1} p_{\text{доп}} V_0^t \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_{\text{доп}}} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]}.$$

Принимаем коэффициент расхода $\mu = 0,7$.

Удельный объем продуктов горения при температуре взрыва определяем по формуле (44):

$$V_0^t = \frac{1}{\gamma_{\text{в}}} \cdot \frac{T_{\text{взр}}}{T_0} = \frac{1}{1,29} \cdot \frac{1873}{273} \approx 5,35 \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$p_{\text{доп}} = 1,2 \text{ кг/см}^2 = 1,2 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^2.$$

Подставляя значения в формулу, найдем:

$$w = 0,7 \sqrt{2 \cdot 9,81 \frac{1,40}{1,40-1} 1,2 \cdot 10^4 \cdot 5,35 \left[1 - \left(\frac{1}{1,2} \right)^{\frac{1,40-1}{1,40}} \right]} \approx 326 \text{ м/сек.}$$

г) Определяем удельную площадь предохранительного клапана по формуле (40): (время взрыва бензо-воздушной смеси τ принимаем 0,2 сек.):

$$f = \frac{\Delta V_t}{\tau w} = \frac{5,54}{0,2 \cdot 326} \approx 0,085 \text{ м}^2/\text{м}^3 \text{ трубопровода.}$$

д) Требуемую площадь мембранного клапана определим по формуле (39):

$$F = fV_{\text{тр.}}$$

где $V_{\text{тр}}$ — объем трубопровода.

$$V_{\text{тр}} = \frac{\pi d^2}{4} l = \frac{3,14 \cdot 0,4^2}{4} 30 \approx 3,8 \text{ м}^3.$$

Следовательно:

$$F = 0,085 \cdot 3,8 = 0,323 \text{ м}^2.$$

Принимаем для установки на трубопроводе три предохранительных клапана, площадь каждого из которых должна быть

$$\frac{0,323}{3} \approx 0,108 \text{ м}^2.$$

е) Диаметр предохранительных клапанов будет равен:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,108}{3,14}} \approx 0,371 \text{ м}.$$

ж) Толщину медной мембраны при работе на разрыв определяем по формуле (46):

$$\delta = k p_{\text{доп}} d 10^{-3} = 0,18 \cdot 1,2 \cdot 37,1 \cdot 10^{-3} = 0,008 \text{ см} = 0,08 \text{ мм},$$

где k — принимаем равным 0,18.

§ 3. Задачи

52. Определить время аварийного слива 12 м³ толуола из промежуточной емкости в аварийный резервуар, если известно, что $H_1 = 14$ м; $H_2 = 11,5$ м. Общая длина аварийной линии 25 м, диаметр линии 50 мм, линия имеет два колена. Температура толуола при сливе 15°С.

53. По продувочной линии производится аварийное стравливание ацетилена из газгольдера со скоростью 120 кг/час, диаметр продувочной линии 65 мм, а высота ее 10 м от уровня земли. Определить максимальную концентрацию газа на поверхности земли и сделать заключение о ее пожарной опасности, если известно, что скорость движения ветра 1,5 м/сек, а скорость выхода газа из стравливающей линии 15 м/сек.

54. Определить максимальную концентрацию бутана на поверхности земли и сделать заключение о ее пожарной опасности, если известно, что производится аварийное стравливание бутана из аппарата со скоростью 150 кг/час, диаметр стравливающей линии 75 мм, а высота ее 30 м от уровня земли; скорость движения ветра 2 м/сек, скорость выхода газа из стравливающей линии 16 м/сек.

55. Определить минимальную высоту стравливающей линии (от уровня земли) диаметром 65 мм для аварийного стравливания этилена из аппарата со скоростью 150 кг/час, если известно, что скорость движения ветра равна 1,5 м/сек, а скорость выхода газа из стравливающей линии — 18 м/сек. Концентрация газа на по-

верхности земли должна быть в 4 раза меньше нижнего предела взрыва этилена.

56. Определить требуемый диаметр отверстия огнепреградителя, установленного на дыхательной линии сборника ацетона. Температура ацетона в емкости 15°C .

57. Определить требуемый диаметр отверстия огнепреградителя, установленного на дыхательной линии сборника хлорбензола. Температура хлорбензола в сборнике 15°C .

58. Определить требуемый диаметр отверстия огнепреградителя, установленного на продувочной линии газгольдера, где хранится этан. Температура газа в газгольдере 20°C .

59. Определить требуемый диаметр отверстия огнепреградителя, установленного на продувочной линии газгольдера, где хранится метан. Температура газа в газгольдере 15°C .

60. Определить требуемую площадь пружинного предохранительного клапана, установленного на ректификационной колонне, разделяющей смесь ацетон—вода. Производительность колонны по ректификату 1000 кг/час . Рабочее давление в колонне $1,2\text{ кг/см}^2$.

61. Определить требуемую площадь пружинного предохранительного клапана, установленного на ректификационной колонне, разделяющей смесь метиловый спирт — этиловый спирт. Производительность колонны по ректификату 1100 кг/час . Рабочее давление в колонне $1,4\text{ кг/час}$.

62. Определить требуемую площадь пружинного предохранительного клапана, установленного на адсорбере, производительностью $600\text{ м}^3/\text{час}$ паро-воздушной смеси ацетон—воздух. Концентрация паро-воздушной смеси 10 г/м^3 , ее температура 30°C , давление в адсорбере $1,3\text{ кг/см}^2$.

63. Определить, какая мощность разовьется при взрыве паров бензола в промежуточной емкости, если известно, что свободный объем емкости $2,5\text{ м}^3$, давление в емкости равно атмосферному, температура 5°C , средняя температура горения паров бензола 1600°C .

64. Определить удельный избыточный объем, образовавшийся при горении стехиометрической концентрации сероуглеродо-воздушной смеси в ксантат-барабане, если средняя температура горения смеси равна 1800°C . Рабочее давление в аппарате примерно равно атмосферному.

65. Определить удельный избыточный объем, образовавшийся при горении стехиометрической концентрации метано-воздушной смеси в ресивере, если средняя температура горения равна 1500°C . Рабочее давление в ресивере $1,2\text{ кг/см}^2$.

66. Определить требуемую площадь мембранного предохранительного клапана и толщину мембраны из алюминия для трубопровода, по которому транспортируется паро-воздушная смесь ацетон—воздух; трубопровод имеет диаметр 300 мм , длину 20 м ; работает под разрежением 100 мм вод. ст. Средняя температура

продуктов горения при взрыве 1400° . Начальная температура смеси 25°C .

67. Определить требуемую площадь мембранного предохранительного клапана и толщину мембраны из меди для ацетиленового центрального гидрозатвора среднего давления, имеющего газовый объем 27 л, работающего при давлении $1,5\text{ кг/см}^2$, мембрана должна сработать при давлении 3 кг/см^2 . Средняя температура продуктов горения при взрыве равна 2000°C . Рабочая температура 20°C .

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Давление насыщенных паров некоторых жидкостей
(см. Теплофизические свойства веществ. Справочник. Госэнергоиздат, 1956)

°C	p	°C	p	°C	p	°C	p	°C	p
Ацетон		284,3	45,52	100	3,655	256	28,60	230	16,45
		286,1	46,63	110	4,716	260	30,30	240	19,31
	мм рт. ст.	288,0	47,66	120	5,995	263	31,68	250	22,49
0	63,33	288,5*	47,89	130	7,533	265	32,60	260	26,12
10	110,32			140	9,342	266,5*	33,35	266	28,53
20	180,08	Диэтиловый эфир		150	11,45	Метиловый спирт		270	30,24
30	280,05			160	13,90			273	31,66
40	419,35			170	16,70			275	32,57
50	608,81	мм рт. ст.		180	19,89			276,2*	33,19
	атм	—10	112,3	190	23,61	0	26,82		
60	1,133	0	184,9	200	27,74	10	50,18	Сероуглерод	
70	1,566	10	290,8	210	32,43	20	88,67		
80	2,120	20	439,8	220	37,77	30	149,90		
90	2,817	атм		230	43,89	40	260,50	мм рт. ст.	
100	3,677	40	1,212	232	45,18	50	381,68	0	127,91
		50	1,679	233,7*	46,33	60	679,93	10	198,46
		60	2,281			70	857,16	20	298,03
Бензол		70	3,031	Метилизо-бутират			атм	30	434,62
	мм рт. ст.	80	3,913			80	1238,47	40	617,53
—10	14,97	90	5,041	—10	мм рт. ст.	90	2741,67	атм	
0	26,54	100	6,388	0	6,22	100	2405,15	50	1,128
10	45,19	110	8,003	10	12,15	Пропилацетат		60	1,534
20	74,13	120	9,885	20	22,40			70	2,042
30	117,45	130	12,05	30	38,90	мм рт. ст.		80	2,674
40	180,20	140	14,54	40	65,45	0	7,4	90	3,446
50	268,30	150	17,45	50	104,7	10	13,9	100	4,375
60	388,51	160	20,76	60	162,0	20	25,1	Толуол	
70	548,16	170	24,57	70	243,8	30	42,7		
80	755,0	180	28,65	80	355,2	40	70,8	мм рт. ст.	
	атм	185	31,08	90	505,0	50	112,2	0	7,2
90	1,326	190	33,57	100	707,0	60	171,8	10	13,0
100	1,756	192	34,65			70	257,3	20	22,5
110	2,228	193	35,26		атм	80	372,8	30	37,4
120	2,934	193,8*	35,60	100	1,253	90	524,8	40	59,9
130	3,712	Метилацетат		110	1,671	100	723,6	50	92,8
140	4,631			120	2,187		атм	60	139,5
150	5,704	мм рт. ст.		130	2,819	110	1,284	70	204,1
160	6,974	—20	19,05	140	3,596	120	1,701	80	291,6
170	8,403	—10	35,15	150	4,497	130	2,217	90	407,5
180	10,02	0	62,10	160	5,589	140	2,856	100	558,3
190	11,90	10	104,85	170	6,837	150	3,614	110	751,0
200	14,01	20	169,80	180	8,278	160	4,528	Уксусная кислота	
210	16,38	30	265,75	190	9,943	170	5,617		
220	19,11	40	400,40	200	11,86	180	6,828	мм рт. ст.	
230	22,14	50	588,15	210	14,07	190	8,256	20	11,8
240	25,46		атм	220	16,54	200	9,925	30	19,9
250	29,19	60	1,102	230	19,34	210	11,81	40	34,0
260	33,33	80	2,085	240	22,62	220	13,97		
270	37,96	90	2,781	250	26,22				
280	43,13								

°C	<i>p</i>	°C	<i>p</i>	°C	<i>p</i>	°C	<i>p</i>	°C	<i>p</i>
50	56,2	130	718,95	247	36,23	30	297,5	<i>атм</i>	
60	88,3		<i>атм</i>	249	37,33	40	446,7	139,8	2
70	137,1	140	1,236	250	37,89	50	649,4	172,5	5
80	202,1	150	1,587	250,1*	38,00		<i>атм</i>	203,0	10
90	292,8	160	2,018			60	1,212	237,0	20
100	416,5	170	2,526	Этилпропионат		80	2,245	259,0	30
110	582,6	180	3,118			90	2,980	277,0	40
120	770,0	200	4,633			100	3,881	Изопропиловый спирт	
	<i>атм</i>	210	5,564		<i>мм рт. ст.</i>	110	4,976	<i>мм рт. ст.</i>	
130	1,368	220	6,653	0	8,30	120	6,287	—26,1	1
140	1,817	230	7,880	10	15,55	130	7,834	—7,0	5
150	2,467	240	9,313	20	27,75	140	9,684	2,4	10
160	3,170	250	10,88	30	47,75	150	11,78	12,7	20
170	4,024	260	12,69	40	77,9	160	14,27	23,8	40
180	5,043	270	14,72	50	123,0	170	17,06	30,5	60
190	6,228	329,2	31,49	60	188,0	180	20,21	39,5	100
200	7,675	359,8	44,50	70	279,9	190	23,75	53,0	200
210	9,375			80	403,6	200	27,83	67,8	400
220	11,37	Этилацетат		90	569,5	210	32,37	82,5	760
230	13,69				<i>атм</i>	220	37,54	<i>атм</i>	
240	16,45		<i>мм рт. ст.</i>	100	1,033	230	43,38	101,3	2
250	19,56	—20	6,55	110	1,379	235,3*	46,76	130,2	5
260	23,13	—10	12,95	120	1,824	Этиловый спирт		155,7	10
270	27,17	0	24,3	130	2,370		<i>мм рт. ст.</i>	186,0	20
280	31,74	10	42,7	140	3,047	0	12,70	205,0	30
300	42,16	20	62,8	150	3,842	10	24,23	220,2	40
310	48,61	30	118,7	160	4,812	20	44,46	232,0	50
320	55,99	40	186,2	170	5,928	30	78,52	Н-пропиловый спирт	
321,6*	57,10	50	282,2	180	7,220	40	133,69	<i>мм рт. ст.</i>	
		60	415,4	190	8,709	50	219,90	—15,0	1
Хлорбензол		70	596,3	200	10,44	60	350,24	—5,0	5
			<i>атм</i>	210	12,44	70	511,15	14,7	10
	<i>мм рт. ст.</i>	80	1,096	220	14,73	80	812,91	25,3	20
—35,1	0,176	90	1,487	230	17,30	90	1189,30	36,4	40
—30,1	0,267	100	1,996	240	20,30	100	1697,55	43,5	60
—25,1	0,410	110	2,633	250	23,64	Бутиловый спирт		52,8	100
—15,1	0,913	120	3,403	260	27,40		<i>мм рт. ст.</i>	66,8	200
0	2,52	130	4,339	265	29,47	—1,2	1	82,0	400
10	4,86	140	5,481	268	30,81	20,0	5	97,8	760
20	8,76	150	6,800	270	31,72	30,2	10	<i>атм</i>	
30	15,45	160	8,380	272,9*	33,18	41,5	20	117,0	2
40	26,00	170	10,19			53,4	40	149,0	5
50	41,98	180	12,26	Этилформиат		60,3	60	177,0	10
60	65,54	190	14,64		<i>мм рт. ст.</i>	70,1	100	210,8	20
70	97,90	200	17,37	—20	22,49	84,3	200	232,3	30
80	144,75	210	20,48	—10	41,50	100,8	400	25,0	40
90	208,35	220	24,02	0	72,44	117,5	760		
100	292,75	230	27,99	10	120,35				
110	402,55	240	32,64	20	192,55				
120	542,80	245	35,18						

* Критическая температура

Таблица 2

Давление насыщенных паров некоторых органических жидкостей

p	Температура в °C						
	Анилин	Ацетон	Глицерин	О-ксилол	П-ксилол	М-ксилол	Нитробензол
мм рт. ст.	Толуол						
	Фенол						
34,8	—59,4	125,5	3,8	8,1	6,9	44,4	—26,7
57,9	—40,5	153,8	20,2	15,5	16,8	71,6	— 4,4
69,4	—31,1	167,2	32,1	27,3	28,3	84,9	6,4
82,0	—20,8	182,2	45,1	40,1	41,1	99,3	18,4
96,7	— 9,4	198,0	59,5	54,4	55,3	115,4	31,8
106,0	— 2,0	208,0	68,8	63,5	64,4	125,8	40,3
119,9	7,7	220,1	81,3	75,9	76,8	133,9	51,9
140,1	22,7	240,0	100,2	94,6	95,5	161,2	69,5
161,9	33,5	263,0	121,7	115,9	116,7	185,8	89,5
184,4	56,5	290,0	144,4	138,3	139,1	210,6	110,6
атм	212,8	78,6	—	—	—	—	135,5
2	254,8	113,0	—	—	—	—	178,0
5	292,7	144,5	—	—	—	—	215,8
10	342,0	181,0	—	—	—	—	262,5
20	375,5	205,0	—	—	—	—	292,8
30	400,0	214,5	—	—	—	—	319,8
40	422,4	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	—
60	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 3

Давление насыщенных паров углеводородов метанового ряда

Р	Метан	Этан	Пропан	Бутан	Пентан	Гексан	Гептан	Октан
	Температура в °С							
мм рт. ст.								
1	-205,9	-159,5	-128,9	-101,5	-76,6	-53,9	-34,0	-14,0
5	-199,0	-148,5	-115,4	-85,7	-62,5	-34,5	-12,7	8,3
10	-195,5	-142,9	-108,5	-77,8	-50,1	-25,0	-2,1	19,2
20	-191,8	-136,7	-100,9	-68,9	-40,2	-14,1	9,5	31,5
40	-187,7	-129,8	-92,4	-59,1	-29,2	-2,3	22,3	45,1
60	-185,1	-126,4	-87,0	-52,8	-22,2	5,4	30,6	53,8
100	-181,4	-119,3	-79,0	-44,2	-12,6	15,8	41,8	65,7
200	-175,5	-110,2	-68,4	-31,2	1,9	31,6	58,7	83,6
400	-168,8	-99,7	-55,6	-11,3	18,5	49,6	78,0	104,0
760	-161,5	-88,6	-42,1	-0,5	36,1	68,7	98,4	125,6
атм								
2	-152,3	-75,0	-25,6	18,8	58,0	93,0	124,8	152,7
5	-138,3	-52,8	1,4	50,0	92,4	131,7	165,7	196,2
10	-124,8	-32,0	26,9	79,5	124,7	166,7	202,8	235,8
20	-108,5	-6,4	58,1	116,0	164,3	209,4	247,5	281,4
30	-96,3	10,0	78,7	140,6	191,3	—	—	—
40	-86,3	23,6	94,8	—	—	—	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Удельный вес жидкостей (кг/м³) при различных температурах

°С	Ацетон	Бензол	Глицерин	Спирт метиловый	Спирт пропиловый	Спирт этиловый	Толуол	Уксусная кислота
0	813,0	900,1	1267,4	809,7	819,3	806,25	884,9	—
10	801,9	889,5	1264,2	800,0	803,5	797,9	875,6	—
20	790,5	879,0	1259,4	791,5	787,5	789,5	865,8	1049,1
30	778,8	868,5	1254,7	782,5	—	—	856,9	1039,2
40	767,4	857,6	1250,0	774,0	770,0	772,2	847,4	1028,4
50	756,4	846,6	1243,8	765,0	—	—	838,2	1017,5
60	744,6	835,7	1237,6	755,5	752,0	754,1	829,2	1006,0
70	732,6	824,8	1231,5	746,0	—	—	819,7	994,8
80	720,5	814,5	1223,9	735,5	742,5	734,8	810,4	983,5
90	—	801,1	1216,5	725,0	732,5	—	800,6	971,8
100	—	792,7	1207,7	714,0	722,0	715,7	791,1	959,9
110	—	780,9	1197,6	702,0	711,0	—	781,8	948,3
120	—	769,2	1187,6	690,2	699,5	692,5	772,8	936,2
130	—	756,8	1176,5	677,0	687,5	—	763,3	926,5
140	—	744,0	1162,8	664,0	674,0	663,1	754,1	909,1
150	—	731,0	1146,8	649,5	660,0	—	—	896,3
160	—	718,5	1126,1	634,0	645,0	632,9	—	882,9
170	—	704,3	—	616,0	628,5	—	—	869,4
180	—	690,6	—	598,0	611,0	598,4	—	855,5
190	—	675,8	—	577,0	592,0	—	—	841,3
200	—	660,5	—	553,0	571,5	556,8	—	826,5
210	—	643,2	—	525,5	548,5	—	—	810,9
220	—	625,5	—	490,0	523,0	495,8	—	794,1
230	—	606,5	—	441,0	492,0	455,0	—	776,4

°C	Ацетон	Бензол	Глицерин	Спирт метиловый	Спирт пропиловый	Спирт этиловый	Толуол	Уксусная кислота
240	—	585,1	—	272,2	—	382,5	—	757,1
250	—	560,9	—	—	—	—	—	736,4
260	—	532,8	—	—	—	—	—	713,6
270	—	498,4	—	—	—	—	—	690,0
280	—	451,4	—	—	—	—	—	662,9

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Коэффициент диффузии ($\text{см}^2/\text{сек}$) паров некоторых жидкостей
и значения показателя степени m

Жидкость	K_D в воздухе	m
Анилин	0,06095	2
Бензол	0,077	2
Дифенил	0,0610	2
Диэтиловый эфир	0,0778	2
Капроновая кислота	0,050	1,77
Метилацетат	0,084	2
Метиловый спирт	0,1325	2
Нафталин	0,0513	2
Сероуглерод	0,0892	2
Толуол	0,0709	2
Хлористый бензин	0,066	2
Этилацетат	0,0715	2
Этилбензол	0,0658	1,75
Этиловый спирт	0,1020	2

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Теплопроводность (λ в ккал/м час град) некоторых жидкостей
при различных температурах

Вещество	Температура в °C						
	0	25	50	75	100	125	150
Спирт бутиловый	0,134	0,131	0,127	0,124	—	—	—
Спирт изопропиловый	0,132	0,129	0,125	0,122	—	—	—
Спирт метиловый	0,184	0,181	0,178	0,176	—	—	—
Спирт этиловый 96%	0,162	0,158	0,152	0,147	—	—	—
Уксусная кислота	—	0,147	0,143	0,139	—	—	—
Муравьиная кислота	0,224	0,220	0,216	0,212	—	—	—
Ацетон	0,150	0,145	0,140	0,135	0,130	—	—
Нитробензол	0,132	0,129	0,126	0,123	0,120	0,117	—
Ксилол	0,117	0,113	0,109	0,104	0,101	0,95	—
Толуол	0,122	0,117	0,111	0,106	0,102	0,96	—
Бензол	—	0,124	0,119	0,113	0,108	0,103	—
Анилин	0,160	0,156	0,152	0,148	0,144	0,140	0,137
Глицерин	—	0,240	0,243	0,246	0,248	0,251	0,254

Вязкость жидкостей $\mu \cdot 10^2$ г/см сек (пуазы)

°C	Анилин	Ацетальдегид	Ацетон	Бензол	Бромбензол	Н-бутиловый спирт	Н-гексан	Н-гептан	Глицерин	Диэтиловый эфир	Изоамиловый спирт	Изобутиловый спирт	Метил-ацетат	Метиловый спирт	Муравьиная кислота	Нитробензол
0	10,2	0,267	0,395	—	1,52	5,19	0,397	0,517	12100	0,296	11,1	8,3	—	0,817	—	3,03
10	6,5	0,244	0,356	0,76	1,31	3,87	0,355	0,458	3950	0,268	7,4	5,65	—	—	2,25	2,46
20	4,4	0,222	0,322	0,65	1,13	2,95	0,320	0,409	1480	0,243	5,1	3,95	0,381	0,584	1,78	2,01
30	3,12	—	0,293	0,56	1,00	2,28	0,290	0,367	600	0,220	3,59	2,85	0,344	—	1,46	1,69
40	2,3	—	0,268	0,492	0,89	1,78	0,264	0,332	330	0,199	2,61	2,12	0,312	0,450	1,22	1,44
50	1,8	—	0,246	0,436	0,79	1,41	0,241	0,301	180	—	1,94	1,61	0,284	0,356	1,03	1,24
60	1,5	—	—	0,390	0,72	1,14	0,221	0,275	102	0,166	1,47	1,24	0,258	0,351	0,89	1,09
70	1,28	—	—	0,350	0,66	0,93	—	0,252	59	—	1,15	0,97	0,237	0,311	0,78	—
80	1,1	—	—	0,316	0,60	0,76	—	0,231	35	0,140	0,91	0,78	0,217	—	—	0,87
90	0,94	—	—	0,286	0,55	0,63	—	0,213	21	—	0,74	0,63	0,198	—	—	—
100	0,8	—	—	0,261	0,52	0,54	—	—	13	0,118	0,61	0,52	0,182	—	—	0,70

°C	Пентан	Изопропиловый спирт	Н-пропиловый спирт	Сероуглерод	Толуол	Фенол	Хлорбензол	Хлористый этил	Циклогексан	Этилацетат	Этиловый спирт
0	0,272	4,60	3,85	0,433	0,768	—	1,06	0,320	—	0,578	1,78
10	0,246	3,26	2,89	0,396	0,667	—	0,91	0,291	—	0,507	—
20	0,223	2,39	2,20	0,366	0,586	11,6	0,80	0,266	0,97	0,449	—
30	0,202	1,76	1,72	0,341	0,522	7,0	0,71	0,244	0,82	0,401	—
40	—	1,33	1,38	0,319	0,466	4,77	0,64	0,224	0,71	0,360	—
50	—	—	—	—	0,420	3,43	0,57	—	0,61	0,326	0,695
60	—	0,80	0,92	—	0,381	2,56	0,52	—	0,54	0,297	—
70	—	—	—	—	0,348	2,00	0,475	—	—	0,270	—
80	—	0,52	0,63	—	0,319	1,59	0,435	—	—	0,248	—
90	—	—	0,53	—	0,294	1,29	0,400	—	—	0,228	—
100	—	—	—	—	0,271	1,05	0,370	—	—	0,210	0,526

Теплоемкость некоторых жидкостей

Жидкость	°C	C_p в ккал/кг град	Жидкость	°C	C_p в ккал/кг град	Жидкость	°C	C_p в ккал/кг град
Сероуглерод	-100	0,194	Метилацетат	20	0,51	Этилбензол	-50	0,36
Амиловый спирт	0	0,238	Метиленбензол	20	0,37		20	0,413
Анилин	20	0,243	Метиловый спирт	-50	0,55	Этилметилловый эфир	50	0,45
	20	0,56		0	0,58	Этиловый спирт	20	0,58
	0	0,482		20	0,59		-100	0,45
	20	0,493		50	0,61		-50	0,48
	50	0,512	Муравьиная кислота	20	0,52		0	0,55
	100	0,56	Нитробензол	20	0,36		20	0,59
	150	0,7	Н-октан	20	0,52		50	0,67
Ацетон	-50	0,485	Н-пентан	-100	0,47	Этиловый (диэтиловый) эфир	-100	0,483
	0	0,505		0	0,51		0	0,542
	20	0,516		20	0,52		20	0,556
Бензол	50	0,537	Скипидар	0	0,41			
	-100	0,230		20	0,43			
	20	0,415		50	0,46			
Бромистый этил	50	0,43	Толуол	100	0,50			
Бутан	20	0,21		-50	0,36			
Н-гексан	0	0,549		0	0,39			
Н-гептан	20	0,45		20	0,40			
	-50	0,491		50	0,43			
	0	0,522		100	0,47			
Глицерин	20	0,53	Уксусная кислота	20	0,485			
	0	0,54	Хлорбензол	20	0,31			
Изобутиловый спирт	20	0,58	Хлоролуол	20	0,29			
Ксилол	20	0,55	Этилацетат	20	0,48			
О-крезол	20	0,41						
	20	0,5						

Физические свойства горючих газов и паров жидкостей

(См. Теплофизические свойства веществ. Справочник. Госэнергоиздат, 1956)

°C	$\lambda \cdot 10^3$ в ккал/ м час град	$\rho \cdot 10^6$ в кг сек/м ³	P_r	$\nu \cdot 10^6$ в м ² /сек	C_p в ккал/кг град	$\frac{C_p}{C_v}$	$\alpha \cdot 10^2$ в м ² /час	γ в кг/м ³
----	--	--	-------	---	----------------------------	-------------------	--	------------------------------

В о д о р о д (H_2)

0	148	0,852	0,688	93	3,3904	1,410	48,6	0,0899
100	189	1,05	0,677	157	3,4509	1,398	83,4	0,0657
200	227	1,23	0,666	233	3,4643	1,396	126	0,0519
300	264	1,41	0,655	323	3,4712	1,395	178	0,0428
400	299	1,57	0,644	423	3,4826	1,394	236	0,0364
500	333	1,72	0,640	534	3,5020	1,390	300	0,0317
600	367	1,87	0,635	656	3,5298	1,387	370	0,0281
700	398	2,01	0,637	785	3,5660	1,381	443	0,0252
800	430	2,15	0,638	924	3,6101	1,375	523	0,0228
900	461	2,28	0,640	1070	3,6572	1,369	603	0,0209
1000	491	2,42	0,644	1230	3,7063	1,361	688	0,0192

М е т а н (CH_4)

0	26,4	1,06	0,734	14,5	0,5172	1,314	7,13	0,7168
100	40,0	1,35	0,698	25,1	0,5848	1,268	13,0	0,525
200	54,8	1,62	0,700	38,2	0,6704	1,225	19,8	0,414
300	70,8	1,87	0,707	53,5	0,7584	1,193	27,3	0,342
400	87,7	2,11	0,717	71,0	0,8430	1,171	35,8	0,291
500	105	2,34	0,726	90,8	0,9210	1,155	45,1	0,253
600	124	2,57	0,726	113,0	0,9919	1,141	55,8	0,224

Э т а н (C_2H_6)

0	16,3	0,877	0,746	6,41	0,3934	1,202	3,09	1,342
100	27,4	1,16	0,738	11,6	0,4938	1,154	5,64	0,983
200	40,8	1,44	0,741	18,2	0,5947	1,124	8,85	0,776
300	56,2	1,71	0,736	26,2	0,6854	1,105	12,8	0,640
400	73,5	1,97	0,726	35,6	0,7676	1,095	17,5	0,545
500	92,8	2,24	0,715	46,4	0,8405	1,085	23,3	0,474
600	114,0	2,50	0,701	58,5	0,9045	1,077	30,1	0,420

А ц е т и л е н (C_2H_2)

0	16,1	—	—	—	—	—	—	—
100	25,6	—	—	—	—	—	—	—

$^{\circ}\text{C}$	$\lambda \cdot 10^3 \text{ в}$ ккал/ м час град	$\mu \cdot 10^6 \text{ в}$ кг сек/м ²	P_r	$\nu \cdot 10^6 \text{ в}$ м ² /сек	$C_p \text{ в}$ ккал/кг град	$\frac{C_p}{C_v}$	$\alpha \cdot 10^2 \text{ в}$ м ² /час	$\gamma \text{ в кг/м}^3$
--------------------	--	---	-------	---	------------------------------------	-------------------	--	---------------------------

Пропан (C_3H_8)

0	13,1	0,765	0,762	3,81	0,3701	1,138	1,80	1,967
100	22,6	1,02	0,768	6,94	0,4817	1,102	3,26	1,44
200	34,5	1,27	0,763	10,9	0,5871	1,083	5,17	1,14
300	48,3	1,51	0,748	15,8	0,6770	1,070	7,61	0,939
400	64,3	1,75	0,727	21,6	0,7550	1,062	10,7	0,799
500	82,2	1,98	0,700	28,2	0,8237	1,057	14,4	0,694
600	102,0	2,22	0,678	35,6	0,8831	1,053	18,8	0,616

Бутан (C_4H_{10})

0	11,4	0,697	0,821	2,63	0,3802	1,097	1,16	2,593
100	20,2	0,944	0,798	4,87	0,4842	1,075	2,20	1,90
200	31,4	1,19	0,784	7,78	0,5865	1,061	3,57	1,50
300	44,6	1,43	0,761	11,3	0,6721	1,052	5,37	1,24
400	60,0	1,67	0,734	15,6	0,7474	1,046	7,64	1,05
500	77,6	1,91	0,706	20,5	0,8131	1,043	10,4	0,916
600	97,2	2,15	0,679	26,1	0,8704	1,040	13,7	0,812

Пентан (C_5H_{12})

0	10,6	0,648	0,821	—	0,3805	1,077	—	—
100	18,9	0,882	0,796	3,67	0,4836	1,060	1,66	2,355
200	29,3	1,11	0,781	5,90	0,5846	1,049	2,69	1,86
300	41,8	1,35	0,763	8,62	0,6686	1,042	4,08	1,54
400	56,3	1,58	0,735	11,8	0,7422	1,037	5,81	1,31
500	72,8	1,81	0,708	15,6	0,8066	1,035	7,96	1,14
600	91,2	2,05	0,684	19,9	0,8623	1,031	10,5	1,01

Гексан (C_6H_{14})

0	9,66	0,602	0,841	—	0,3827	1,063	—	—
100	17,4	0,831	0,814	2,89	0,4832	1,050	12,8	2,813
200	27,5	1,06	0,796	4,68	0,5837	1,040	21,2	2,220
300	39,5	1,29	0,769	6,92	0,6666	1,035	32,4	1,833
400	53,7	1,52	0,738	9,60	0,7389	1,031	46,6	1,560
500	69,8	1,76	0,732	12,7	0,822	1,029	62,7	1,355
600	88,2	1,99	0,682	16,2	0,8567	1,027	85,7	1,202

Гептан (C_7H_{16})

0	9,20	0,550	0,812	—	0,3846	1,053	—	—
100	16,6	1,764	0,784	2,28	0,4824	1,042	10,5	3,27
200	26,2	0,981	0,771	3,72	0,5830	1,035	17,4	2,58
300	37,6	1,20	0,749	5,51	0,6651	1,030	26,6	2,13
400	51,1	1,42	0,722	7,68	0,7364	1,027	38,4	1,81
500	66,5	1,64	0,695	10,1	0,7991	1,025	52,6	1,58
600	84,0	1,87	0,670	13,0	0,8526	1,023	70,4	1,40

°C	$\lambda \cdot 10^3$ в ккал/ м час град	$\rho \cdot 10^3$ в кг сек/м ³	P_r	$\nu \cdot 10^6$ в м ² /сек	C_p в ккал/кг град	$\frac{C_p}{C_v}$	$\alpha \cdot 10^2$ в м ² /час	γ в кг/м ³
----	--	--	-------	---	----------------------------	-------------------	--	------------------------------

О к т а н (C_8H_{18})

0	8,4	0,503	0,816	—	0,3856	1,046	—	—
100	15,2	0,692	0,776	1,82	0,4827	1,037	8,46	3,73
200	23,9	0,882	0,759	2,94	0,5825	1,030	13,9	2,945
300	34,4	1,07	0,729	4,32	0,6640	1,026	21,3	2,43
400	46,7	1,26	0,700	5,96	0,7346	1,023	30,7	2,07
500	60,7	1,46	0,677	7,88	0,7968	1,022	42,3	1,80
600	76,7	1,65	0,646	10,1	0,8496	1,020	56,8	1,59

Э т и л о в ы й с п и р т (C_2H_6O)

0	11,1	0,800	0,811	—	0,320	1,16	—	—
100	19,8	1,10	0,796	7,21	0,403	1,12	3,26	1,49
200	30,2	1,40	0,786	11,7	0,480	1,10	5,34	1,18
300	43,0	1,70	0,777	17,2	0,554	1,08	7,96	0,974
400	57,4	2,01	0,769	23,8	0,624	1,08	11,1	0,828
500	73,8	2,31	0,763	31,5	0,691	1,07	14,8	0,720
600	92,4	2,62	0,757	40,2	0,756	1,06	19,1	0,639

П р о п и л о в ы й с п и р т (C_3H_8O)

0	9,91	0,731	0,800	—	0,307	1,12	—	—
100	17,5	0,998	0,793	5,02	0,395	1,09	2,27	1,96
200	27,2	1,26	0,788	8,08	0,479	1,07	3,68	1,54
300	38,7	1,53	0,784	11,8	0,560	1,06	5,43	1,27
400	52,1	1,80	0,779	16,3	0,638	1,05	7,54	1,08
500	67,3	2,07	0,777	21,5	0,713	1,05	10,0	0,943
600	84,4	2,34	0,773	27,5	0,788	1,04	12,8	0,836

Б у т и л о в ы й с п и р т ($C_4H_{10}O$)

0	9,51	0,673	0,753	—	0,301	1,097	—	—
100	16,8	0,913	0,753	—	0,394	1,073	—	—
200	26,1	1,15	0,753	6,06	0,483	1,058	2,89	1,87
300	37,2	1,39	0,753	8,87	0,569	1,049	4,24	1,54
400	50,0	1,63	0,753	12,2	0,654	1,042	5,84	1,31
500	64,6	1,86	0,753	16,0	0,736	1,037	7,68	1,14
600	81,0	2,10	0,753	20,4	0,818	1,033	9,80	1,01

А м и л о в ы й с п и р т ($C_5H_{12}O$)

0	9,30	0,632	0,714	—	0,297	1,08	—	—
100	16,4	0,852	0,718	—	0,392	1,06	—	—
200	25,4	1,07	0,721	4,71	0,484	1,05	2,35	2,230
300	36,1	1,29	0,724	6,86	0,575	1,04	3,41	1,840
400	48,4	1,50	0,726	9,39	0,664	1,03	4,65	1,567
500	62,4	1,71	0,728	12,3	0,750	1,03	6,11	1,362
600	78,1	1,93	0,731	15,6	0,836	1,03	7,74	1,207

°C	$\lambda \cdot 10^3$ в ккал/ м час град	$\mu \cdot 10^6$ в кг сек/м ²	P_r	$\nu \cdot 10^6$ в м ² /сек	C_p в ккал/кг град	$\frac{C_p}{C_v}$	$\alpha \cdot 10^2$ в м ² /час	γ в кг/м ³
----	--	---	-------	---	----------------------------	-------------------	--	------------------------------

А м м и а к (N H₃)

0	18,1	0,954	0,908	12,2	0,488	1,31	4,81	0,7714
100	29,2	1,33	0,852	23,2	0,530	1,28	9,78	0,564
200	42,0	1,70	0,818	38,0	0,573	1,26	16,5	0,445
300	56,3	2,10	0,812	56,4	0,617	1,24	24,8	0,368
400	72,2	2,48	0,796	78,7	0,656	1,22	35,1	0,313
500	89,1	2,87	0,793	105	0,697	1,20	47,0	0,272
600	107	3,26	0,792	134	0,736	1,19	60,6	0,241
700	127	3,67	0,791	168	0,775	1,18	75,8	0,217
800	147	4,06	0,793	205	0,813	1,17	92,7	0,196
900	169	4,5	0,798	247	0,849	1,16	111	0,179
1000	191	4,88	0,800	291	0,886	1,15	131	0,165

А ц е т о н (C₃H₆O)

0	8,36	0,70	0,886	—	0,300	1,130	—	—
100	14,9	0,96	0,840	5,07	0,367	1,103	2,18	1,87
200	23,1	1,23	0,806	8,22	0,427	1,086	3,68	1,47
300	33,2	1,50	0,774	12,1	0,483	1,076	5,64	1,22
400	44,8	1,77	0,743	16,9	0,534	1,067	8,15	1,03
500	58,0	2,04	0,720	22,3	0,580	1,062	11,1	0,901
600	72,8	2,32	0,695	28,3	0,618	1,059	14,7	0,799

Б е н з о л (C₆H₆)

0	7,93	0,712	0,716	—	0,2253	1,127	—	—
100	14,9	0,735	0,554	3,74	0,3189	1,086	1,84	2,55
200	24,2	1,233	0,719	5,99	0,4003	1,067	3,01	2,01
300	35,8	1,493	0,688	8,80	0,4673	1,057	4,62	1,66
400	49,5	1,754	0,652	12,1	0,5213	1,050	6,74	1,41
500	65,7	2,015	0,614	15,9	0,5659	1,047	9,44	1,23
600	82,8	2,275	0,585	20,4	0,6029	1,044	12,6	1,09

Т о л у о л (C₇H₈)

0	11,10	0,674	0,748	—	0,246	1,097	—	—
100	—	0,903	—	—	0,337	1,068	—	—
200	—	1,123	—	4,65	0,418	1,054	—	2,38
300	—	1,35	—	6,75	0,489	1,045	—	1,96
400	—	1,57	—	9,23	0,548	1,040	—	1,667
500	—	1,78	—	12,0	0,598	1,036	—	1,45
600	—	2,00	—	15,3	0,638	1,034	—	1,28

$^{\circ}\text{C}$	$\lambda \cdot 10^3 \text{ в}$ $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час}}$ $\frac{\text{град}}$	$\mu \cdot 10^6 \text{ в}$ $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{м}^2}$	P_r	$\nu \cdot 10^6 \text{ в}$ $\frac{\text{м}^2}{\text{сек}}$	$C_p \text{ в}$ $\frac{\text{ккал}}{\text{кг}}$ $\frac{\text{град}}$	$\frac{C_p}{C_v}$	$\alpha \cdot 10^2 \text{ в}$ $\frac{\text{м}^2}{\text{час}}$	$\gamma \text{ в}$ $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
--------------------	---	---	-------	---	--	-------------------	--	--

Циклогексан (C_6H_{12})

0	8,36	0,651	0,718	—	0,2614	1,100	—	—
100	15,6	0,864	0,768	3,075	0,3933	1,064	1,44	2,75
200	25,1	1,071	0,769	4,84	0,5110	1,049	2,26	2,17
300	36,8	1,275	0,749	7,00	0,6128	1,040	3,35	1,79
400	50,6	1,476	0,723	9,50	0,7018	1,033	4,74	1,52
500	68,2	1,635	0,656	12,4	0,7753	1,030	6,67	1,32
600	85,5	1,870	0,646	15,7	0,8365	1,027	8,74	1,17

Этилацетат ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)

0	7,79	0,705	0,892	—	0,279	1,088	—	—
100	14,3	0,966	0,832	5,16	0,350	1,069	1,42	2,88
200	22,6	1,23	0,798	8,32	0,416	1,056	2,39	2,27
300	32,9	1,49	0,765	12,2	0,479	1,049	3,67	1,87
400	44,9	1,74	0,738	16,9	0,539	1,043	5,21	1,60
500	58,6	2,01	0,723	22,4	0,597	1,038	7,06	1,39
600	74,7	2,28	0,703	28,5	0,652	1,035	9,31	1,23

Диэтиловый эфир ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$)

0	11,2	0,699	0,766	—	0,344	1,084	—	—
100	19,6	0,946	0,748	3,83	0,440	1,065	1,844	2,42
200	30,3	1,19	0,736	6,12	0,531	1,053	2,990	1,91
300	43,0	1,43	0,727	8,92	0,618	1,045	4,42	1,57
400	57,9	1,68	0,720	12,2	0,703	1,039	6,14	1,34
500	74,3	1,92	0,714	16,1	0,782	1,036	8,14	1,17
600	93,0	2,16	0,716	20,5	0,862	1,032	10,4	1,03

Воздух (сухой)

0	21,0	1,75	0,707	13,3	0,240	1,400	6,76	1,233
100	27,6	2,23	0,688	23,0	0,241	1,397	12,1	0,946
200	33,8	2,65	0,680	34,8	0,245	1,390	18,4	0,747
300	39,6	3,03	0,674	48,2	0,250	1,378	25,7	0,616
400	44,8	3,37	0,678	63,0	0,255	1,366	33,5	0,524
500	49,4	3,69	0,687	79,3	0,261	1,357	41,5	0,456
600	53,6	3,99	0,699	96,8	0,266	1,345	49,9	0,404
700	57,7	4,26	0,706	115	0,271	1,337	58,7	0,363
800	61,7	4,52	0,713	135	0,276	1,330	68,2	0,328
900	65,6	4,76	0,717	155	0,280	1,325	77,8	0,301
1000	69,4	5,00	0,719	178	0,283	1,320	88,8	0,276

Наименование вещества	ккал/кг	ккал/н м³	ккал/г моль
Углеводороды			
Метан	—	9410,7	210,8
Этан	—	16560	368,4
Пропан	—	23450	526,7
Пропилен	—	22540	—
Бутан	—	30230	683,3
Бутилен	—	29010	—
Пентан	11601,3	—	838,0
Гексан	11616,2	—	999,0
Бензол	10000	—	783,4
Толуол	10174	—	936,0
Ксилол	10292	—	1091,0
Ацетилен	—	13600	312,0
Спирты			
Метиловый	7500	—	170,9
Этиловый	7402	—	328,0
Пропиловый	8310	—	482,0
Бутиловый	8898	—	639,0
Амиловый	9319	—	787,0
Кетоны, простые и сложные эфиры			
Ацетон	7384	—	427,0
Диэтиловый эфир	8807	—	651,7
Этилацетат	6103	—	538,5
Амиллацетат	8000	—	1040,0
Нефть и нефтепродукты			
Нефть сырая	10500	—	—
Бензин	11200	—	—
Керосин	9900—11100	—	—
Мазут	10000—11000	—	—
Каменные угли и другие продукты			
Антрацит	7500	—	—
Бурый уголь	2000—6000	—	—
Водород	28905 (пар)	2580,8 (пар)	57,8
Водяной газ	—	2600—2800	—
Дерево воздушно-сухое	3500	—	—
» свежее	1300—1700	—	—
Крахмал	4179	—	—
Кальций	3620	—	114,8
Каменный уголь	6000—8500	—	—
Кокс	7000—8000	—	—
Магний	6000	—	145,8
Натрий	2180	—	50,14
Окись углерода	—	3045,5	68,22
Парафин	11140	—	—
Сера	2493	—	79,8
Сероуглерод	3352,6	—	246,6
Сероводород	—	3524	129,7
Сахар	3950	—	1352
Светильный газ	—	5000	—
Торф сухой	6600	—	—
Торф с 19-процентной влажностью	3965	—	—
Фосфор	5964	—	—
Целлюлоза	4100—4200	—	—

Температуры горения (пламени) некоторых веществ

Вещество	Теоретическая температура горения в °C	Фактическая температура пламени в °C
Ацетилен	2270	—
Н-бутан	2080	1895
Изо-бутан	2080	1900
Бензин	1865	—
Водород	1970	—
Водяной газ	1850	—
Генераторный газ (из битуминозных топлив)	1750	—
Генераторный газ смешанный (из тощих топлив)	1670	—
Газ подземной газификации углей	1265	—
Доменный газ	1470	—
Керосин	1925	—
Коксовый газ (из каменных углей)	2090	—
Коксовый газ (из сланца)	2040	—
Мазут	2158	—
Метан	1980	1875
Оксись углерода	2030	—
Природный газ	2020	—
Пропан	2300	1925
Пропилен	2270	1935
Светильный газ	1870	—
Этан	2150	1895
Этилен	2200	1975

Температура самовоспламенения горючих веществ на воздухе

Наименование вещества	Температура самовоспламенения в град.			
	материал реакционного сосуда			данные, полученные при различных условиях
	платина	сталь	стекло-кварц	
1. Углеводороды				
Метан	—	—	—	605—750
Этан	—	—	—	550; 540; 520; 510
Пропан	—	—	—	530
Бутан	—	—	—	515; 489; 429
Пентан	579	—	—	—
Гексан	520	605	539	—
Гептан	451	612	539	—
Октан	458	—	—	—
Ацетилен	—	—	—	406—480
Этилен	—	—	—	540
Пропилен	—	—	—	510
Бутилен	—	—	—	485
Бензол	659	649	580, 723	625—730
Толуол	633	769	732	—
p-Ксилол	618	—	—	—
Этилбензол	553	—	—	—
Мезитилен	621	—	—	—
Цимол	466	—	—	—
Антрацен	—	—	—	470
Декалин	—	—	—	262
Нафталин	—	—	—	260
				(в кислородной среде)
2. Спирты				
Метиловый спирт	574	740	565	535; 475; 427
Этиловый спирт	557	724	641	670; 421
Пропиловый спирт	540	—	—	590; 371
Бутиловый спирт	503	—	—	337; 450
Амиловый спирт	—	—	—	548
Изо-пропиловый спирт	620	—	—	457
Изо-амиловый спирт	518	—	—	349
Этиленгликоль	522	—	—	416; 413
Глицерин	523	—	—	393; 343
Фенол	—	—	—	716
o-Крезол	599	—	—	—
Аллиловый спирт	—	—	—	378
Бензиловый спирт	—	—	—	435
3. Альдегиды, кетоны и простые эфиры				
Муравьиный альдегид	—	—	—	430
Уксусный альдегид	—	—	—	185

Наименование вещества	Температура самовоспламенения в град			
	материал реакционного сосуда			данные, полученные при различных условиях
	платина	сталь	стекло-кварц	
Пропионовый альдегид	419	—	—	—
Н - масляный альдегид	409	—	—	—
Паральдегид	541	—	—	210
Фурфурол	—	—	—	393
Бензальдегид	—	—	—	180—191,5
Ацетон	727	—	—	—
Диэтилкетон	608	—	—	—
Этилпропилкетон	557	—	—	—
Диэтиловый эфир	491	188	193	—
Изо - амиловый эфир	428	—	—	—
4. Кислоты				
Муравьиная	504	—	—	—
Уксусная	509	—	—	500
Пропионовая	596	—	—	—
Масляная	552	—	—	—
5. Сложные эфиры				
Метилформиат	—	—	—	449
Этилформиат	577	—	—	—
Метилацетат	654	—	—	506; 454
Этилацетат	610	—	—	484; 427
Пропилацетат	662	—	—	—
Бутилацетат	—	449	422	—
Амилацетат	563	—	—	—
Этилпропионат	602	—	—	—
Этилбутират	612	—	—	—
6. Соединения, содержащие азот, серу, фосфор				
Анилин	620	—	—	—
Аммиак	—	—	—	651
Диметиланилин	—	—	—	371—432
Нитробензол	556	—	—	495; 482
Нитроглицерин	—	—	—	160—220
Нитрсанилин	—	—	—	371
о — толуидин	537	—	—	482
Пиридин	—	—	—	482—593
р — толуидин	580	—	—	—
Сера	—	—	—	260—290
Сернистый фосфор	—	—	—	92
Сероуглерод	149	—	—	112—170
Сероводород	—	—	—	364; 246; 279
Тринитротолуол	—	—	—	290—295
Тринитроклетчатка	—	—	—	185—195
Фосфористый водород	—	—	—	100

Продолжение приложения 10

Наименование вещества	Температура самовоспламенения в град,			
	материал реакционного сосуда			данные, полученные при различных условиях
	платина	сталь	стекло-кварц	
Фосфор желтый	—	—	—	45—60
Фосфор красный	—	—	—	240—260
Целлулоид	—	—	—	140—180
Этиланилин	479	—	—	—
7. Различные соединения и смеси				
Бензин	390	685	585	415
Бурый уголь	—	—	—	—
Водород	—	—	—	585; 530
Дерево	—	—	—	250—350
Керосин	432	609	604	250—294,5
Касторовое масло	—	—	—	449
Каменный уголь	—	—	—	400—500
Кокс	—	—	—	700
Льняное масло	—	—	—	343—399
Окись углерода	—	—	—	651; 644
Окись этилена	—	—	—	429
Петролейный эфир	—	—	—	246—329
Скипидар	—	—	—	253, 275
Стеарин	—	—	—	394
Антрацит	—	—	—	600—700
Торф	—	—	—	225—280
Хлопковое масло	—	—	—	343
Целлюлоза	—	—	—	360
Шеллак	—	—	—	325

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Коэффициенты объемного расширения сжиженных газов и воды ($\beta \cdot 10^5$)

°C	Аммиак	Хлор	Углекислота	Сероводород	Вода	
					°C	$\beta \cdot 10^6$
—40	174	153	—	157	10	45
—30	180	158	—	160	20	150
—20	185	165	300	164	30	258
—10	194	175	386	169	40	347
0	204	187	568	175	50	425
10	217	199	704	182	60	498
20	234	212	708	192	70	565
30	257	226	724	206	80	629
40	285	242	—	223	90	691
50	313	250	—	240	100	753
60	338	278	—	261	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Коэффициенты объемного сжатия жидких газов ($\beta_{сж} 10^6$)

°C	Аммиак	Хлор	Углекислота	Сероводород	Закись азота
0	111	130	824	118	523
10	123	149	1333	128	1132
20	128	172	3564	141	2396
30	158	200	11592	158	4564
40	185	237	—	181	—
50	220	276	—	205	—
60	262	327	—	237	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Коэффициенты объемного сжатия различных жидкостей

Наименование вещества	$\beta_{сж} 10^6$	Наименование вещества	$\beta_{сж} 10^6$	Наименование вещества	$\beta_{сж} 10^6$
Азотная кислота	338	Льняное масло	52	Этиловый спирт	112
Ацетон	121	Метиловый спирт	80	Этиловый эфир	76
Бензол	74,7	Пентан	142	Аммиак	185
Вода	48	Сероуглерод	87	Хлор	237
Глицерин	22	Толуол	86	Углекислота	824
Керосин	64	Хлороформ	95	Нефтяные газы	450
Ксилол	74	CCl ₄	92	Смазочное масло	45

**Предельно допустимые концентрации паров в воздухе рабочей зоны
производственных помещений (см. Н 101-58)**

Наименование веществ	Величина предельно допустимых концентраций в мг/л
Аммиак	0,02
Ацетон	0,2
Анилин, толуизин, ксилидин	0,005
Бензин, уайт - спирт, лигроин, керосин	0,3
Бензол	0,05
Дивинил, псевдобутилен	0,1
Ксилол	0,1
Нитро- и динитрохлорсоединения бензола (нитро- хлорбензол, динитрохлорбензол и др.)	0,001
Нитросоединения бензола и его гомологов—нитробен- зол, нитротолуол и др.	0,005
Оксись углерода	0,03
Сероуглерод	0,01
Скипидар	0,3
Спирты:	
амиловый	0,1
бутиловый	0,2
метиловый	0,05
пропиловый	0,2
этиловый	1,0
Толуол	0,1
Формальдегид	0,005
Хлорбензол	0,05
Хлористый водород	0,01
Диэтиловый эфир	0,3
Эфиры уксусной кислоты:	
метилацетат	0,1
этилацетат	0,2
пропилацетат	0,2
бутилацетат	0,2
.	0,1

ЛИТЕРАТУРА

Алексеев М. В. Причины образования горючей среды в производствах с наличием жидкостей и газов. Изд. ВШ МВД РСФСР, 1961.

Алексеев М. В. Ограничение возможности распространения пожара по производственным устройствам. Изд. ВШ МВД РСФСР, 1961.

Демидов П. Г. Основы горения веществ. Изд. МХ РСФСР, 1951.

Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Госхимиздат, 1955.

Техническая энциклопедия. Справочник физико-химических величин, т. 7.

Кутателадзе С. С., Боришанский В. М. Справочник по теплопередаче. Теплофизические свойства веществ. Госэнергоиздат, 1956.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. Образование горючих концентраций паров и газов в производственных помещениях при нормальном состоянии аппаратов и трубопроводов	3
§ 1. Расчетные формулы	3
§ 2. Примеры	7
§ 3. Задачи	18
Глава II. Образование горючих концентраций паров и газов в производственных помещениях при повреждении аппаратов и трубопроводов	24
§ 1. Расчетные формулы	24
§ 2. Примеры	28
§ 3. Задачи	32
Глава III. Ограничение возможности распространения пожара по производственным устройствам	34
§ 1. Расчетные формулы	34
§ 2. Примеры	40
§ 3. Задачи	46
Приложения	49
1. Давление насыщенных паров некоторых жидкостей	49
2. Удельный вес жидкостей при различных температурах	52
3. Коэффициент диффузии паров некоторых жидкостей и значения показателя степени n	53
4. Теплопроводность некоторых жидкостей при различных температурах	53
5. Вязкость жидкостей	54
6. Теплоемкость некоторых жидкостей	55
7. Физические свойства горючих газов и паров жидкостей	56
8. Теплота горения веществ	61
9. Температуры горения (пламени) некоторых веществ	62
10. Температура самовоспламенения горючих веществ на воздухе	63
11. Коэффициенты объемного расширения сжиженных газов и воды	65
12. Коэффициенты объемного сжатия жидких газов	66
13. Коэффициенты объемного сжатия различных жидкостей	66
14. Предельно допустимые концентрации паров в воздухе рабочей зоны производственных помещений	67
Литература :	67

Антонина Николаевна Савушкина, Михаил Васильевич Алексеев
ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ
Примеры и задачи

Редактор В. П. Перевалюк
Технический редактор Э. П. Чурова
Корректор М. Д. Акифьева

Сдано в набор 9 января 1963 г. Подписано к печати 3 апреля 1963 г.
Формат бумаги 60×90¹/₁₆. Печ. л. 4,25 Уч.-изд. л. 3,45
Л 68281 Тираж 875 экз. Цена 12 коп. Зак. 15.

1-я типография Профиздата. Москва, Крутицкий вал, 18.

