

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный архитектурно-строительный университет»

Э.В. Соловьева, В.В. Колотушкин

# **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

**СБОРНИК ЗАДАЧ**

**ВОРОНЕЖ 2016**

УДК 504.75(075)

ББК 30 я 7

С603

**Рецензенты:**

*кафедра промышленной экологии и безопасности жизнедеятельности  
Воронежского государственного технического университета;  
И.В. Климкин, главный инженер ООО «производственный комплекс ВПД-2»;*

**Соловьева, Э.В.**

С603 **БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ** [Текст]: сб. задач для студ. строит. спец. / Э.В. Соловьева, В.В. Колотушкин; Воронежский ГАСУ. - Воронеж, 2016. – 107 с.

ISBN 978-5-89040-605-7

Приводятся краткие теоретические сведения о причинах возникновения опасных факторов при выполнении различных технологических процессов и даны примеры расчетов по снижению негативных воздействий на человека и окружающую среду. Рассмотрены задачи расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, а также инженерные решения по обеспечению безопасности при разработке грунтов, использованию строительных машин. Приведен пример расчета уровней шума транспортных потоков на территории жилой застройки и рассмотрены мероприятия по его снижению.

Сборник предназначен для студентов строительных специальностей.

Ил. 15. Табл. 50. Библиогр.: 6 назв.

**УДК 504.75(075)**

**ББК 30 я 7**

*Печатается по решению учебно-методического совета  
Воронежского ГАСУ*

ISBN 978-5-89040-605-7

© Соловьева Э.В.,  
Колотушкин В.В., 2016  
© Воронежский ГАСУ, 2016

## Введение

Безопасность жизнедеятельности – это состояние деятельности человека, при котором обеспечивается комфортное или допустимое взаимодействие его со средой обитания, обусловленной наличием негативных и антропогенных факторов. Современный этап развития безопасности жизнедеятельности характеризуется разработкой методов, способов и средств обеспечения безопасных и безвредных условий труда. Объектами исследований в безопасности жизнедеятельности являются качественные и количественные характеристики опасных и вредных факторов, а объектом защиты - человек, в его профессиональной деятельности.

В сборнике задач представлен научно-технический и производственный опыт инженерных решений по обеспечению здоровых условий труда при выполнении технологических процессов строительного производства. Изложены краткие теоретические сведения о причинах возникновения опасных факторов при выполнении различных технологических процессов и даны примеры расчетов по снижению негативных воздействий на человека и окружающую среду. Рассмотрены задачи расчетов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, инженерные решения по обеспечению безопасности при разработке грунтов, использованию строительных машин. Приведен пример расчета уровней шума транспортных потоков на территории жилой застройки и рассмотрены мероприятия по его снижению.

Пособие предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство». Также оно может быть использовано студентами, обучающимися в магистратуре, и преподавателями, читающими курс «Безопасность жизнедеятельности».

### 1. Безопасные условия разработки грунтов

#### 1.1. Общие сведения

Основной причиной несчастных случаев при производстве земляных работ является обрушение грунта в котлованах и траншеях при превышении допускаемой глубины вертикальных стенок (без креплений).

Если земляные работы намечается выполнять без откосов, необходимо определить расчётом, до какой глубины в данных условиях можно рыть траншею или котлован с вертикальными стенками без крепления. Критическую высоту вертикальной стенки можно определить следующим образом:

$$H_{кр} = \frac{2C \cos \varphi}{\gamma(1 - \sin \varphi)}, м, \quad (1.1)$$

где  $C$  – сила сцепления грунта, т/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – объемный вес грунта, т/м<sup>2</sup>;

$\varphi$  – угол внутреннего трения, град.

При определении предельной глубины котлована или траншеи с вертикальной стенкой рекомендуется вводить коэффициент запаса. Обычно этот коэффициент принимают равным 1,25. Предельная глубина траншеи

$$H_{np} = \frac{H_{кр}}{1,25}, м.$$

(1.2)

Глубина котлованов и траншей с вертикальными стенками без креплений в нескальных и незамерзающих грунтах выше уровня грунтовых вод и при отсутствии вблизи подземных сооружений допускается не более 1 м в насыпных, песчаных и крупнообломочных грунтах; 1,25 м – супесях; 1,5 м – суглинках и глинах.

При рытье котлованов и траншей на большую глубину вертикальные стенки необходимо укреплять. Крепление вертикальных стенок выемок может быть:

- распорным, когда стойки или прогоны удерживаются горизонтальными распорками, работающими на внецентренное сжатие;

- анкерным, когда стойки удерживаются по верху горизонтальными связями, работающими на растяжение и передающими усилие (давление грунта) на свайный якорь;

- подкосным, когда вертикальные стойки удерживаются наклонными связями, работающими на внецентренное сжатие.

Для выемок глубиной до 3 м применяют, как правило, инвентарные крепления. При отсутствии инвентарных креплений устраивают неинвентарные крепления. При этом если устраиваются деревянные крепления, то в грунтах естественной влажности используют доски толщиной не менее 4 см, а в грунтах повышенной влажности и песчаных – не менее 5 см, которые закладывают горизонтально вплотную к грунту за вертикальные стойки, укрепленные распорками. Вертикальные стойки креплений устанавливают на расстоянии не более 1,5 м одна от другой, а горизонтальные распорки креплений – на расстоянии не более 1 м одна от другой, при этом у концов распорок снизу и сверху забивают бобышки. Верхние доски креплений должны выступать над бровкой не менее чем на 15 см.

Крепления стенок выемок и траншей глубиной более 3 м осуществляют по индивидуальному проекту с расчетным обоснованием ограждающих и крепящих элементов.

Все элементы неинвентарных креплений, а также инвентарных креплений при их эксплуатации в особых условиях (отличных от паспортных) подлежат обязательному расчету.

Крепления рассчитываются на активное давление грунта с учетом дополнительных нагрузок на призму обрушения. Активное давление несвязного грунта определяется по формуле

$$\sigma_{акт} = H\gamma \cdot tg^2(45 - \frac{\psi}{2}), \quad (1.3)$$

где  $H$  – глубина котлована, м.

Активное давление связного грунта, где по поверхности скольжения действуют силы трения и силы сцепления, определяют по формуле

$$\sigma_{акт} = H \cdot \gamma \cdot tg^2(45 - \frac{\psi}{2}) - 2C_c tg(45 - \frac{\psi}{2}), \quad (1.4)$$

где  $C_c$  – сила сцепления грунта на срез, т/м<sup>2</sup>.

Доски горизонтальной зашивки толщиной  $t$  и шириной  $b$  работают на изгиб под действием равномерно распределенной нагрузки  $q_1 = \sigma_{акт} \cdot b$  и рассчитываются на прочность как неразрезная многопролетная балка (места пересечения досок со стойками). Здесь  $\sigma_{акт}$  – боковое давление грунта на глубине подошвы выемки. Сечение досок задают исходя из сортамента пиломатериала и определяют расстояние между вертикальными стойками.

Вертикальные стойки диаметром  $d$  работают на изгиб под действием расчетной линейно-распределенной нагрузки  $q_2 = \sigma_{max} \cdot l$  и рассчитываются на прочность как однопролетная балка с шарнирно-подвижными опорами. Здесь  $\sigma_{max}$  – боковое давление грунта,  $l$  – шаг стоек.

Горизонтальные распорки работают как центрально-сжатые элементы постоянного сечения. Расчетной является наиболее нагруженная нижняя распорка, воспринимающая часть нагрузки от активного давления грунта по длине траншеи, равной расстоянию  $l$  между стойками:

$$H_s = q_2 \cdot \frac{H}{3}, \quad (1.5)$$

где  $q_2$  – расчетное значение распределенной нагрузки у подошвы траншеи, приведенное к длине  $l$ , равной расстоянию между стойками, определяемое по формуле

$$q_2 = \sigma_{max} \cdot l, \quad (1.6)$$

где  $\sigma_{max} = \gamma \cdot H\theta^2$  – для несвязных грунтов;

$$\sigma_{\max} = \gamma Q^2 \left( H - \frac{2C}{\gamma \theta} \right) - \text{для связных грунтов.}$$

При устройстве анкерного крепления верхнего оголовка стоек деревянная стяжка работает как центрально-растянутый элемент и рассчитывается на прочность по формуле

$$\frac{N_A}{F_{нт}} \leq R_p m, \quad (1.7)$$

где  $F_{нт}$  – площадь поперечного сечения элемента нетто (площадь поперечного сечения брутто за вычетом опасных ослаблений);

$R_p$  – расчетное сопротивление древесины вдоль волокон, МПа;

$m$  – коэффициент условий работы.

$N_A$  – расчетная продольная сила, определяемая по формуле

$$N_A = q_2 \frac{H}{6}, \quad (1.8)$$

где  $q_2$  – расчетная распределенная нагрузка ( $q_2 = \sigma_{\max} l$ );

$\sigma_{\max}$  – боковое давление грунта;

$l$  – шаг стоек крепления, м.

Существует ряд упрощенных методов расчета элементов креплений по эмпирическим формулам.

При расчете распорного крепления определяют шаг стоек (пролет досок)

$$l = \frac{14,4 \cdot \delta}{\sqrt{\sigma_{акт}}}, \quad (1.9)$$

где  $\delta$  – принятая толщина доски, см.

Диаметр стойки

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\max}}{0,1(\sigma)}}, \quad (1.10)$$

где  $M_{\max}$  – момент при работе стойки как балки на двух опорах, равный  $qh^2/8$  и  $qh^2/12$  как неразрезной балки, Н · м;

$h$  – расстояние по вертикали между распорками, м.

Распределенная нагрузка  $q$  на 1 см доски при ее ширине  $b$  равна  $\sigma_{акт} \cdot b$ , Па.

Диаметр распорки по действующему на нее усилию определяют по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4N}{n \cdot R_e}}, \quad (1.11)$$

где  $N = \frac{\sigma_{акт} \cdot l \cdot H}{2n}$ ;

$H$  – глубина траншеи;

$n$  – число распорок в шаге;

$R_e$  – расчетное сопротивление на сжатие, Н/см<sup>2</sup>.

Для расчета подкосного крепления при заданном диаметре стойки определяют диаметр подкоса исходя из действующего на него усилия:

$$S_{\max} = \frac{\sigma_{акт} \cdot H \cdot l}{4} \quad \text{при} \quad S_{\max} \leq m R_e F, \quad (1.12)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения подкоса, которую определяют по формуле

$$F = \frac{S_{\max}}{m \cdot R_e}. \quad (1.13)$$

При расчете анкерного крепления определяют при заданном диаметре стойки диаметр затяжки на максимальное усилие:

$$N_{\max} = \frac{\sigma_{акт} \cdot l \cdot H}{2} \quad \text{при} \quad \frac{N_{\max}}{F \cdot m} \leq R_p. \quad (1.14)$$

## 1.2. Пример решения задачи

*Пример 1.* Требуется определить максимальную глубину траншеи с вертикальными стенками и подобрать конструкцию горизонтальной стяжки анкерного крепления этой траншеи глубиной 5 м при следующих исходных данных: грунт объемным весом 1,9 т/м<sup>3</sup>, угол внутреннего трения 30°, сила сцепления 0,5 т/м<sup>2</sup>, шаг между вертикальными стойками принять равным 1,5 м.

**Решение:**

Стяжка анкерного крепления стойки работает как центрально-растянутый элемент от действия активного давления грунта, продольная сила которого на уровне определяется по формуле

$$N_A = \frac{1}{6} q H,$$

где  $H$  – глубина траншеи, равная 5,0 м;

$q$  – линейно-распределенная нагрузка от активного давления грунта, определяемая по формуле

$$q = \gamma(H - H_c)\theta^2 l,$$

где  $l$  – шаг стоек крепления;

$H_c$  – высота вертикальной стенки траншеи, не требующая крепления, определяется по формуле

$$H_c = \frac{2C}{\gamma\theta},$$

где  $\theta$  – параметр, зависящий от угла внутреннего трения и влажности грунта, определяется по формуле

$$\theta = \operatorname{tg}\left(45 - \frac{\varphi}{2}\right).$$

Для нашего примера находим  $\theta = \operatorname{tg}\left(45 - \frac{30}{2}\right) = \operatorname{tg}30 = 0,58$ .

$$H_c = \frac{2 \cdot 0,5}{1,9 \cdot 0,58} = 0,92 \text{ м.}$$

Расчетная сила, действующая на деревянную стойку, работающую как центральный растянутый элемент, определяется по формуле

$$N_{\text{расч}} \leq m_p \cdot R_p \cdot F_{\text{нт}},$$

где  $m_p$  – коэффициент условий работы (принимается равным 0,85);

$R_p$  – расчетное сопротивление древесины растяжению (принимается равным 750 т/м<sup>2</sup>);

$F_{\text{нт}}$  – площадь поперечного сечения стойки.

Условие прочности  $N_A \leq N_{\text{расч}}$  для определения расчетного поперечного сечения стойки анкерного крепления стенки траншеи записывается в виде

$$\frac{1}{6} qH \leq m_p R_p F.$$

Из этого уравнения, подставляя вместо  $q$  аналитическое выражение для его определения, находим

$$F_{\text{нт}} \geq \frac{[\gamma(H - H_c)\theta^2]H}{6m_p R_p} \geq \frac{[1,9(5 - 0,92)0,34 \cdot 1,5 \cdot 5,0]}{6 \cdot 0,85 \cdot 750} \geq 5,17 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Примем для стяжки брус прямоугольного сечения шириной  $b$  при условии  $t=2b$ , тогда  $F_{\text{нт}}=2b^2$ , а, следовательно

$$b = \sqrt{\frac{F_{\text{нт}}}{2}} = \sqrt{\frac{5,17}{2}} = 5,1 \text{ см.}$$

Исходя из того, что существует возможность ослабления сечения во время эксплуатации принимаем для стяжки брус прямоугольного сечения 60x120 мм<sup>2</sup>.

**Пример 2.** Определить глубину траншеи с вертикальными стенками, не требующую крепления и рассчитать необходимое сечение вертикальной стойки из древесины III сорта для крепления траншеи глубиной 5,0 м и шириной 3 м в грунтах с характеристикой: объемный вес грунта 1,7 т/м<sup>3</sup>, сила сцепления 0,8 т/м<sup>2</sup> и угол внутреннего трения 30°.

**Решение:**

Для определения сечения  $b \times t$  прямоугольного бруса, имеющего  $t=2b$ , воспользуемся условием прочности, согласно СНиП II-25-80:

$$\frac{M_{расч}}{W_{нт}} \leq m_6 \cdot R_u,$$

где  $M_{расч}$  – расчетный изгибающий момент в поперечном сечении бруса;

$m_6$  – коэффициент условий эксплуатации (для древесины, соприкасающейся с грунтом  $m=0,85$ );

$R_u$  – расчетное сопротивление изгибу материала (для древесины III сорта  $R_u=8,5$  МПа);

$W_{нт}$  – расчетное сопротивление изгибу поперечного сечения бруса

$$W_{нт} = \frac{b \cdot t^2}{6}.$$

Максимальный изгибающий момент в сечении бруса, работающего в конструкции крепления как шарнирно-подвижная однопролетная балка, нагруженная линейно распределенной нагрузкой  $q_2$  от активного давления грунта в момент образования поверхности скольжения и начале сползания призмы обрушения, составляет

$$M_{max} = 6,4 \cdot 10^{-2} \cdot q_2 H^2,$$

где  $q_2$  – линейно распределенная нагрузка, определяемая для связных грунтов при свободной от нагрузки берме выемке по формуле

$$q_2 = [\gamma(H - H_c)\theta^2] \cdot l.$$

По условию данного примера  $\theta = \operatorname{tg}(45 - \frac{30}{2}) = 0,58$ .

$$H_c = \frac{2 \cdot 0,8}{1,7 \cdot 0,58} = 1,62 \text{ м.}$$

Для вертикальной стойки условие прочности поперечного сечения  $M_{max}=M_{расч}$  записывается в виде уравнения

$$6,4 \cdot 10^{-2} q^2 H^2 \leq m_6 \cdot R_u W_{yn}.$$

Отсюда, для связных грунтов находим

$$W_{нт} \geq \frac{6,4 \cdot 10^{-2} [\gamma(H - H_c)\theta^2] \cdot l}{m_6 R_u}.$$

Подставляя количественные значения величин, входящих в уравнение, находим

$$W_{yn} \geq 6,4 \cdot 10^{-2} \frac{1,7(5,0 - 1,62) \cdot 0,34 \cdot 1,5}{0,85 \cdot 850} = 6,4 \cdot 10^{-2} \cdot 4,1 \cdot 10^{-3} = 2,596 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 259,6 \text{ см}^2.$$

Поскольку  $W_{нт} = bt^2 = \frac{2b^3}{3}$ , то  $b = \sqrt[3]{\frac{3}{2} W_{нт}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 259,6}{2}} = 7,3 \text{ см.}$

Принимаем вертикальную стойку из деревянного бруса сечением  $7,5 \times 15 \text{ см.}$

### 1.3. Задания для самостоятельного решения

1. Определить глубину траншеи с вертикальными стенками, не требующих крепления и рассчитать необходимое сечение стенки анкерного крепления этой траншеи глубиной 6 м для глинистого грунта плотностью  $1,8 \text{ т/м}^3$ , силой сцепления  $0,75 \text{ т/м}^2$  и углом внутреннего трения  $27^\circ$ .

2. Рассчитать необходимое поперечное сечение вертикальной стойки из древесины III сорта для крепления вертикальной стойки траншеи глубиной 6,5 м в грунтах, характеризующихся плотностью  $1,9 \text{ т/м}^3$ , силой сцепления  $0,85 \text{ т/м}^2$  и углом внутреннего трения  $30^\circ$ .

3. Подобрать конструкцию деревянной распорки для крепления траншеи глубиной 6 м и шириной 3 м в грунтах с характеристикой, приведенной в примере №1.

4. Рассчитать необходимые размеры поперечного сечения стяжки анкерного крепления вертикальной стенки траншеи глубиной 6,5 м в грунтах, характеризующихся плотностью  $1,9 \text{ т/м}^3$ , силой сцепления  $0,95 \text{ т/м}^2$  и углом внутреннего трения  $25^\circ$ .

5. Определить максимальную глубину траншеи с вертикальными стенками и подобрать конструкцию горизонтальной стяжки анкерного крепления этой траншеи глубиной 4,5 м при следующих исходных данных: грунт объемным весом  $1,9 \text{ т/м}^3$ , силой сцепления  $0,65 \text{ т/м}^2$  и углом внутреннего трения  $30^\circ$ . Шаг между вертикальными стойками принять равным 1,5 м.

## 2. Освещенность участка дороги

### 2.1. Общие сведения

Установка стационарных осветительных приборов на автомагистралях позволяет обеспечить безопасность движения транспортных средств и пешеходов, а также в значительной степени повысить пропускную способность дорог в темное время суток.

Проектирование осветительной установки сводится к обоснованию выбора типа осветительных устройств, оптимальному размещению их и определению мощности источников света, обеспечивающих необходимые световые параметры для данных условий.

Среднюю освещенность, создаваемую осветительной установкой, по методу коэффициента использования определяют по формуле

$$E_{cp} = \frac{\Phi \eta}{Lbk} \quad (2.1)$$

Пролет между опорами для создания средней освещенности:

$$L = \frac{\Phi \eta}{E_{cp} kb}, \text{ м}, \quad (2.2)$$

где  $\Phi$  – световой поток всех ламп, устанавливаемых на опоре, лм;

$k$  – коэффициент запаса;

$b$  – ширина освещаемой площади (дороги), м;

$\eta$  – коэффициент использования осветительной установки, зависящий от расположения светильников на освещаемой полосе (рис. 2.1).

Коэффициент запаса при использовании светильников с лампами накаливания принимают равным 1,3, а с газоразрядными лампами – 1,5.

Коэффициент использования (табл. 2.1) зависит от расположения светильников и отношений  $\eta_1$  от  $\frac{b_1}{H}$  и  $\eta_2$  от  $\frac{b_2}{H}$ .

В первом случае (рис. 2.1), когда светильники размещены по оси освещаемой полосы, коэффициент использования  $\eta = 2\eta_1$ ; во втором случае  $\eta = \eta_1 + \eta_2$  и в третьем случае, когда светильники размещены вне освещаемой полосы,  $\eta = \eta_1 - \eta_2$ .

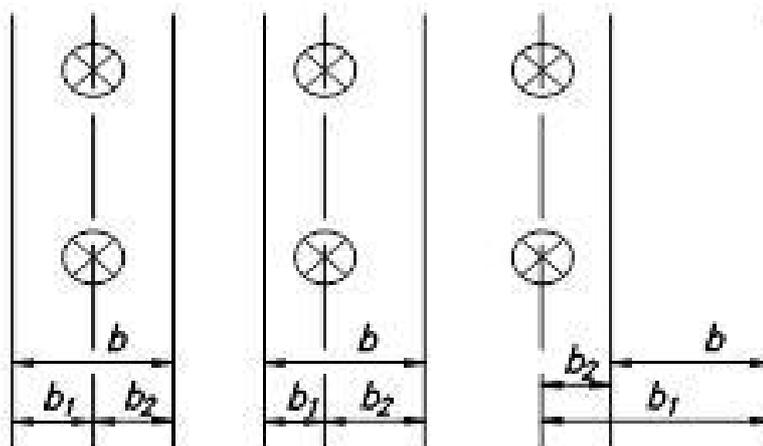


Рис. 2.1. Схемы расположения светильников

Таблица 2.1

Значение коэффициента использования  
светового потока светильников  $\eta$

Тип светильника	Отношение ширины освещённой полосы по одну сторону от ряда светильников к высоте их установки ( $b_1/H$ или $b_2/H$ )					
	0,5	1	2,0	3,0	4,0	5,0
СПО – 200	0,116	0,194	0,253	0,274	0,284	0,290
РКУ – 400	0,154	0,259	0,343	0,376	0,292	0,404
СКЗР-2×250	0,175	0,297	0,400	0,441	0,462	0,476

## 2.2. Задания для самостоятельного решения

1. Дорога шириной  $b=8$  м освещается двумя рядами светильников СКЗР–2×250 с двумя газоразрядными лампами ДРЛ – 250(2×11000 лм), установленными на опорах высотой  $H=8$  м. Левый ряд опор размещён на краю дороги, правый ряд – вне площади дороги, на расстоянии 4 м от неё. Определить необходимый пролёт между опорами при нормативной освещённости  $E_n=5$  лк.

2. По оси дороги шириной  $b=12$  м на высоте  $H=8$  м установлены светильники СПО – 200 с лампами накаливания (световой поток 2800 лм). Требуемая нормативная освещённость  $E=1$  лк. Определить длину пролёта между светильниками.

3. Светильники РКУ–400 с газоразрядными лампами ДРЛ–400 (световой поток 19000 лм) установлены на опорах высотой  $H=8$  м в ряд вдоль освещаемой дороги шириной  $b=8$  м на расстоянии  $b_2 = 4$  м от неё. Расстояние между опорами 50 м. Определить среднюю освещённость на дороге.

4. Светильники РКУ–400 с газоразрядными лампами ДРЛ–400 (19000 лм) установлены на опорах высотой  $H=8$  м в ряд вдоль освещаемой дороги шириной  $b=12$  м на расстоянии  $b_2=2$  м от неё. Расстояние между опорами 50 м. Определить среднюю освещённость на дороге.

5. Дорога шириной  $b=16$  м освещается двумя рядами светильников СКЗР–2×250 с двумя газоразрядными лампами ДРЛ – 250 (2×11000 лм), установленными на опорах высотой  $H=8$  м. Левый ряд опор размещён на краю дороги, правый ряд – вне площади дороги, на расстоянии 4 м от неё. Определить необходимый пролёт между опорами при нормативной освещённости  $E_n=5$  лк.

## 3. Прожекторное освещение

### 3.1. Общие сведения

Организация рационального освещения строительных площадок является одним из основных вопросов безопасности жизнедеятельности. От устройства освещения во многом зависит производительность и безопасность труда, а также качество выполняемых работ.

Необходимое количество прожекторов можно определить по методу светового потока или удельной мощности.

1. По методу светового потока количество прожекторов

$$(3.1) \quad N = \frac{E_n K S}{F_d \eta Z}, \quad \text{шт.},$$

где  $E_n$  – нормируемая освещённость, лк.;

$K$  – коэффициент запаса ( для прожекторного освещения  $K = 1,5$ );

$S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;

$F_l$  – световой поток ламп накаливания для выбранного типа прожектора, (табл. 3.1), лм.;

$\eta$  – КПД прожектора (для прожекторов типа ПЗС–35, ПЗС–45, ПФС– 45-1  $\eta = 0,35 \div 0,38$ );

$u$  – коэффициент использования светового потока прожекторов ( ориентировочно при освещении больших площадей  $u = 0,9$ ; при освещении малых площадей  $u = 0,7 \div 0,8$ );

$Z$  - коэффициент неравномерности освещения, равный отношению минимальной освещенности  $E_{min}$  к  $E_{cp}$  (при правильной расстановке прожекторов можно принять  $Z=0,75$ ).

Таблица 3.1

Световой поток ламп, лм

Тип ламп при напряжении в сети		Мощность, Вт	Световой поток, лм, при напряжении в 127 В и 220 В	
127 В	220 В		127 В	220 В
НВ127-15	НВ220-15	15	130	105
НБ127-40	НБ220-40	40	440	370
НБ127-75	НБ220-75	75	980	840
НБ127-100	НБ220-100	100	1400	1240
НГ127-150	НГ220-150	150	2300	1900
НГ127-200	НГ220-200	200	3200	2700
НГ127-300	НГ220-300	300	5150	4350
НГ127-500	НГ220-500	500	9100	8100
НГ127-750	НГ220-750	750	14250	13100
НГ127-1000	НГ220-1000	1000	19500	18200
НГ127-1500	НГ220-1500	1500	29500	28000

2. По методу удельной мощности удельная мощность прожекторного освещения

$$P_{y\partial} = \frac{P}{S}, \text{Вт/м}^2, \quad (3.2)$$

где  $P$  – мощность ламп всех прожекторов, установленных для освещения площади, Вт.

Принимая число прожекторов  $N=1$ , подставим значения  $S$  из формулы (3.1) в формулу (3.2):

$$P_{y\partial} = \frac{E_n K P_l}{F_l \eta \cdot u Z}, \text{Вт/м}^2. \quad (3.3)$$

Количество прожекторов для создания на расчетной площади заданной освещенности:

$$N = \frac{P_{y\partial} S}{P_l}, \text{шт.}, \quad (3.4)$$

где  $P_d$  – мощность одной лампы, Вт.

Прожекторы применяют двух серий: прожекторы заливающего света (ПЗС–25, ПЗС–55, ПЗС–45) и прожекторы для освещения фасадов (ПФС–35 и ПФС–45). Для освещения строительных площадок в основном применяют прожекторы заливающего света.

При освещении небольших площадей (не более 4000 – 5000 м<sup>2</sup> при ширине освещаемой площади до 100 м) и при невысоких уровнях освещенности (до 2лк) обычно применяют прожекторы ПЗС–25 или ПЗС–35 с лампами накаливания мощностью 300 или 500 Вт, устанавливаемыми на мачтах высотой 15 м. При ширине освещаемой площади от 100 до 150 м применяют мачты высотой 20 м с прожекторами типа ПЗС–35 или ПЗС–45. Для более широких площадок (150 – 350 м) рекомендуются мачты высотой 30 м с прожекторами ПЗС–45, а при ширине площадки более 350 м – мачты высотой 50 м с прожекторами типа ПЗС–45 или ПРС–45–1.

Для ограничения слепимости от прожекторов по нормативным требованиям отношение осевой силы света прожектора к квадрату высоты установки его над уровнем глаза наблюдателя не должно превышать 300. Согласно этому минимально допустимая высота установки прожекторов (табл. 3.2) определяется из уравнения

$$H = \sqrt{\frac{J_{\max}}{300}}, \text{ м}, \quad (3.5)$$

где  $J_{\max}$  – максимальная сила света, кД.

Исходя из параметров освещаемой площади, ее особенностей и назначения определяют число и местоположение прожекторных мачт. Следует учитывать необходимость обеспечения по мере возможности многостороннего освещения каждого из освещаемых участков. Расстояние между мачтами принимается исходя из высоты применяемых прожекторных мачт, назначения и особенностей освещаемой территории. При освещении территорий, свободных от затеняющих сооружений, расстояние между мачтами не должно превышать 15–кратной высоты мачт.

Таблица 3.2

*Минимально допустимая высота установки прожекторов*

Тип прожектора	Источник света		Наименьшая высота установки, м
	Тип лампы	Максимальная сила света, ккД	
ПЗС-25	НГ220-200	10	5
ПЗС-35	НГ220-500	50	8
	НГ220-200	16	5
ПЗС-45	НГ220-1500	150	15
	НГ220-1000	130	13

### 3.2. Задания для самостоятельного решения

1. Определить количество и высоту установки прожекторов для освещения строительной площадки размером 50x70 м. Нормативная освещенность 2 лк. Тип прожектора и ламп принять самостоятельно.

2. Определить потребное количество и высоту установки прожекторов для освещения открытой строительной площадки, размеры которой 300x400. Нормативная освещенность  $E_n=10$  лк. По усмотрению студента принять тип прожектора и ламп.

3. Определить количество и высоту установки прожекторов для освещения открытой строительной площадки, размеры которой 250x280. Нормативная освещенность  $E_n=5$  лк. По усмотрению студента принять тип прожектора и ламп.

4. Определить потребное количество и высоту установки прожекторов для освещения открытой строительной площадки, размеры которой 100x120. Нормативная освещенность  $E_n=0,5$  лк. По усмотрению студента принять тип прожектора и ламп.

5. Определить количество и высоту установки прожекторов для освещения открытой строительной площадки, размеры которой 350x380. Нормативная освещенность  $E_n=10$  лк. По усмотрению студента принять тип прожектора и ламп.

## 4. Расчет заземляющих устройств

### 4.1. Общие сведения

Расчет сопротивления заземлителя производится в следующем порядке.

В соответствии с правилами устройства электроустановок устанавливают допустимое сопротивление заземляющего  $R_n$  ( $R_n=4$  Ом).

Предварительно с учетом отведенной территории намечают расположение заземлителей – горизонтальные, вертикальные, в ряд, по контуру.

Определяют расчетное удельное сопротивление грунта  $\rho_p$  для горизонтальных и вертикальных электродов с учетом повышающего коэффициента  $\psi$ , учитывающего высыхание грунта летом и промерзание его зимой

$$\rho_p = \rho_{изм} \cdot \psi, \text{ Ом}\cdot\text{м}, \quad (4.1)$$

где  $\rho_{изм}$  суммарное (или табл. 4.1) значение удельного сопротивления грунта;

$\psi$  – коэффициент сезонности, определяется по табл. 4.2.

Определяют ориентировочное число вертикальных заземлителей:

$$n = \frac{R_B}{R_n \cdot \eta_B}, \text{ шт.}, \quad (4.2)$$

где  $R_g$  – сопротивление одиночного вертикального электрода, определенное по табл. 4.3;

$R_n$  – нормативное сопротивление, Ом;

$\eta_g$  – коэффициент использования вертикальных стержневых заземлителей, определяемый по табл. 4.4 (для ориентировочного количества принимается  $\eta_g=1$ ).

Таблица 4.1

*Приближенные значения удельных электрических сопротивлений различных грунтов*

Грунт	Удельное сопротивление	
	Возможные пределы колебаний	При влажности 10-20 % к весу грунта
Глина	8-70	40
Суглинок	40-150	100
Песок	400-700	700
Супесок	150-400	300
Чернозем	9-53	20
Садовая земля	30-60	40
Каменный грунт	500-800	-

Таблица 4.2

*Коэффициент сопротивляемости  $\psi$*

Тип электрода	Климатические зоны			
	I	II	III	IV
Вертикальные электроды длиной 2-3м при глубине заложения вершин 0,5-0,8 м	1,8-2,0	1,5-1,8	1,4-1,6	1,2-1,4
Горизонтальные электроды при глубине заложения 0,8 м	4,5-7,0	3,5-4,5	2,0-2,5	1,5-2,0

Находят необходимое количество вертикальных электродов:

$$n = \frac{R_g}{R_n \cdot \eta_g}, \text{ шт.}, \quad (4.3)$$

Определяют расчетное сопротивление растеканию горизонтальных электродов  $R_z$  по табл. 4.3.

Расчетные значения удельного сопротивления грунта принимают с учетом коэффициента сезонности для горизонтальных электродов.

Длина соединительной полосы определяется:

– при расположении стержней по замкнутому контуру:

$$l_n = 1,05 \cdot \alpha \cdot n ; \quad (4.4)$$

– при расположении в ряд:

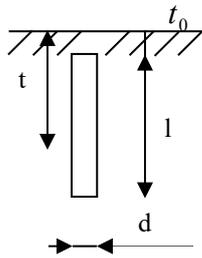
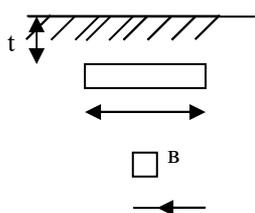
$$l_n = 1,05a(n - 1), \quad (4.5)$$

где  $n$  – количество вертикальных электродов;

$a$  – расстояние между электродами (принимается  $a=1 \div 3l$ ).

Таблица 4.3

*Формулы для вычисления сопротивлений одиночных заземлителей растеканию тока*

Схема	Тип заземлителя	Формула
	То же, в земле	$R_g = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right)$
	Протяженный полосовой в земле	$R_b = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l^2}{bt}$

Вычисляют общее сопротивление заземляющего устройства:

$$R_{об} = \frac{R_g \cdot R_z}{R_g \cdot \eta_z + R_z \cdot \eta_g \cdot n}, \quad (4.6)$$

где  $\eta_z$  – коэффициент использования горизонтального заземлителя (табл. 4.5).

Таблица 4.4

*Коэффициенты использования  $\eta_s$  вертикальных стержневых  
заземлителей*

Число заземлителей, n	Отношение расстояний между заземлителями к их длине					
	1	2	3	1	2	3
	Заземлители расположены в ряд			Заземлители расположены по контуру		
2	0.85	0.91	0.94	-	-	-
4	0.73	0.83	0.89	0.69	0.78	0.85
6	0.65	0.77	0.85	0.61	0.73	0.80
10	0.59	0.74	0.81	0.55	0.68	0.76
20	0.48	0.67	0.76	0.47	0.63	0.71
40	-	-	-	0.41	0.58	0.66
60	-	-	-	0.39	0.55	0.64
100	-	-	-	0.36	0.52	0.62

Таблица 4.5

*Коэффициент использования  $\eta_z$  горизонтального полосового  
заземлителя, соединяющего вертикальные стержневые заземлители*

Отношение расстояния между стержневыми заземлителями к их длине	Число стержневых заземлителей							
	2	4	6	10	20	40	60	100
	Стержневые заземлители расположены в ряд							
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2	0,94	0,89	0,84	0,75	0,56	-	-	-
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
	Стержневые заземлители расположены по контуру							
1	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Делают проверку,

$$R_{об} \leq R_n,$$

если сопротивление оказывается больше  $R_n$ , тогда

- увеличивают количество стержней на 15-20 %;
- принимают новые значения  $\eta_s$  (табл. 4.4) и  $\eta_z$  (табл. 4.5) в зависимости от нового значения количества стержней;
- заново находят  $R_z, l_n, R_{об}$  и убеждаются, что сопротивление не превышает нормативного.

## 4.2. Задания для самостоятельного решения

1. Рассчитать заземляющее устройство для заземления электродвигателя серии 4А напряжением  $U=380$  В в трехфазной сети с изолированной нейтралью при следующих исходных данных: грунт с удельным электрическим сопротивлением  $\rho=100$  Ом·м; в качестве заземлителей принимают стальные трубы диаметром  $d=0,07$  м и длиной  $l=3,0$  м, располагаемые вертикально в ряд и соединенные на сварке стальной полосой шириной  $b=0,05$  м, расстояние между электродами  $a=2l$ . Требуемое по нормам допускаемое сопротивление заземляющего устройства  $R_n \leq 4$  Ом; II климатическая зона. Глубина заложения заземляющего устройства 0,8 м от поверхности земли.

2. Рассчитать заземляющее устройство для заземления электродвигателя серии 4А напряжением  $U=380$  В в трехфазной сети с изолированной нейтралью при следующих исходных данных: грунт с удельным электрическим сопротивлением  $\rho=40$  Ом·м; в качестве заземлителей принимают стальные трубы диаметром  $d=0,06$  м и длиной  $l=2,5$  м, располагаемые вертикально в ряд и соединенные на сварке стальной полосой шириной  $b=0,04$  м, расстояние между электродами  $a=3l$ . Требуемое по нормам допускаемое сопротивление заземляющего устройства  $R_n \leq 4$  Ом; I климатическая зона. Глубина заложения заземляющего устройства 0,8 м от поверхности земли.

3. Рассчитать заземляющее устройство для заземления электродвигателя серии 4А напряжением  $U=380$  В в трехфазной сети с изолированной нейтралью при следующих исходных данных: грунт с удельным электрическим сопротивлением  $\rho=300$  Ом·м; в качестве заземлителей принимают стальные трубы диаметром  $d=0,08$  м и длиной  $l=3,5$  м, располагаемые вертикально по контуру и соединенные на сварке стальной полосой шириной  $b=0,08$  м, расстояние между электродами  $a=2l$ . Требуемое по нормам допускаемое сопротивление заземляющего устройства  $R_n \leq 4$  Ом; II климатическая зона. Глубина заложения заземляющего устройства 0,8 м от поверхности земли.

4. Рассчитать заземляющее устройство для заземления электродвигателя серии 4А напряжением  $U=380$  В в трехфазной сети с изолированной нейтралью при следующих исходных данных: грунт с удельным электрическим сопротивлением  $\rho=100$  Ом·м; в качестве заземлителей принимают стальные трубы диаметром  $d=0,06$  м и длиной  $l=3,5$  м, располагаемые вертикально в ряд и соеди-

ненные на сварке стальной полосой шириной  $b=0,04$  м, расстояние между электродами  $a=l$ . Требуемое по нормам допустимое сопротивление заземляющего устройства  $R_{\text{н}} \leq 4$  Ом; III климатическая зона. Глубина заложения заземляющего устройства 0,8 м от поверхности земли.

5. Рассчитать заземляющее устройство для заземления электродвигателя серии 4А напряжением  $U=380$  В в трехфазной сети с изолированной нейтралью при следующих исходных данных: грунт с удельным электрическим сопротивлением  $\rho=50$  Ом·м; в качестве заземлителей принимают стальные трубы диаметром  $d=0,05$  м и длиной  $l=2,5$  м, располагаемые вертикально в ряд и соединенные на сварке стальной полосой шириной  $b=0,04$  м, расстояние между электродами  $a=l$ . Требуемое по нормам допустимое сопротивление заземляющего устройства  $R_{\text{н}} \leq 4$  Ом; IV климатическая зона. Глубина заложения заземляющего устройства 0,8 м от поверхности земли.

## 5. Электромагнитная напряженность, создаваемая телевизионными передающими антеннами

### 5.1. Общие сведения

Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.4.1191-03 «Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях» устанавливают предельно-допустимые уровни (ПДУ) воздействия на людей электромагнитных излучений в диапазоне частот 30 кГц - 300 ГГц.

При работе радио- и телестанций магнитная составляющая по своей величине не имеет существенного значения, поэтому интенсивность электромагнитного излучения (ЭМИ) оценивается только по величине напряженности электрического поля ( $E$ , в/м).

Интенсивность ЭМИ не должна превышать значений, указанных табл. 5.1.

Таблица 5.1

*Предельно допустимые уровни ЭМИ, создаваемые телевизионными станциями*

Частота, МГц	ПДУ, В/м
30-60	5
60-120	4
120-240	3
240-300	2,5

При одновременном облучении от нескольких источников, для которых установлены разные ПДУ, должно соблюдаться следующее условие:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \left( \frac{E_i}{\text{ПДУ}_i} \right)^2 \leq 1, \quad (5.1)$$

где  $E_i$  - напряженность электрического поля, создаваемого  $i$ - источником, В/м;  
 $\text{ПДУ}_i$  - предельно допустимый уровень для  $i$ - го источника, В/м.

Для защиты населения от ЭМИ мощных телерадиостанций (свыше 100 кВт), они должны размещаться за пределами населенных мест, вдали от жилой застройки.

Вокруг телерадиостанций создают санитарно-защитные зоны, размеры которых должны обеспечивать предельно допустимый уровень ЭМИ в населенных местах (табл. 5.2).

Таблица 5.2

*Размеры санитарных зон*

Суммарная мощность передатчика, кВт	Размеры санитарной зоны, м
до 10	в пределах технической территории
10-75	200-300
75-160	400-500
более 160	500-1000

Санитарная зона разделяется на зону строгого режима (50-100 м) и зону ограниченного пользования в зависимости от мощности передатчика. В зоне строгого режима допускается пребывание только работников передающей станции и ограниченное время.

В зоне ограниченного пользования можно располагать объекты, в которых граждане могли бы находиться менее 8 час (гаражи, хозяйственно-бытовые помещения и др.).

Электрическая напряженность ЭМИ в расчетной точке  $A$  (рис. 5.1) определяется по формуле

$$E = \sqrt{\frac{30 \cdot P \cdot \varphi}{h^2 + x^2}}, \text{ В/м}, \quad (5.2)$$

где  $P$  - мощность источника, Вт;

$\varphi$  - коэффициент направленности антенны, рад.

$$\varphi = \arctg \frac{x}{h}, \text{ рад}, \quad (5.3)$$

где  $h$  - высота антенны, м;

$x$  - расстояние от основания антенны до расчетной точки, м.

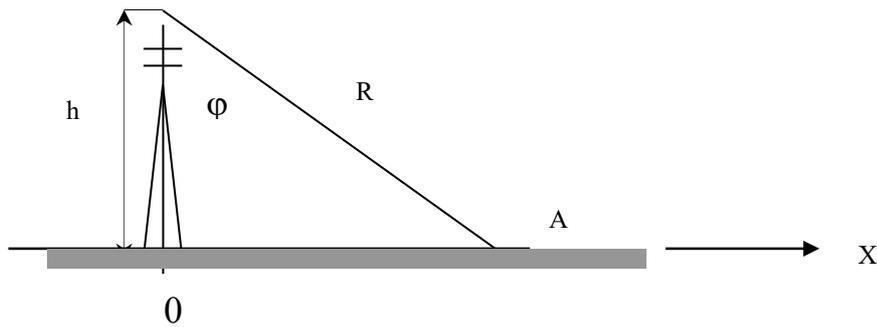


Рис. 5.1. Схема расположения источника электромагнитного излучения

Электрическая напряженность ЭМИ в жилом помещении определяется по формуле

$$E_0 = \kappa_0 E, \text{ В/м}, \quad (5.4)$$

где  $\kappa_0$  - ослабление ЭМИ стенами здания:

$\kappa_0 = 1$  для кирпичных стен;

$\kappa_0 = 0,2$  для панельных стен.

Суммарная мощность источников

$$S = P_1 + P_2 + \dots + P_i, \text{ кВт}. \quad (5.5)$$

## 5.2. Пример расчета

Рассчитать электрическую напряженность ЭМИ, создаваемого телевизионными передающими антеннами по мере удаления от телецентра ( $X=0$ ,  $X=50$ ,  $X=70$ ,  $X=100$ ,  $X=150$ ,  $X=200$ ,  $X=250$ ,  $X=300$ ). Характеристика источников представлена в табл. 5.3. Построить график  $\alpha = f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ.

Определить размер санитарной зоны и напряженность электрического поля внутри жилого дома, расположенного на границе санитарной зоны и сравнить с ПДУ.

Таблица 5.3

Характеристика источников ЭМИ

$h, \text{ м}$	1 канал		2 канал		3 канал	
	$f_1, \text{ МГц}$	$P_1, \text{ Вт}$	$f_2, \text{ МГц}$	$P_2, \text{ Вт}$	$f_3, \text{ МГц}$	$P_3, \text{ Вт}$
100	80	5000	110	10000	210	2500

**Решение:**

Определим ПДУ для каждого канала по табл.5.1 и занесем в табл.5.4.

Определим электрическую напряженность в расчетных точках по формуле (5.2) и результаты расчета сведем в табл. 5.4.

$$x=50 \quad E_1 = \sqrt{\frac{30 \cdot P \cdot \arctg \frac{x}{h}}{h^2 + x^2}} = \sqrt{\frac{30 \cdot 5000 \cdot \arctg \frac{50}{100}}{50^2 + 100^2}} = 2,35 \text{ В/м,}$$

$$E_2 = \sqrt{\frac{30 \cdot 10000 \cdot \arctg \frac{50}{100}}{50^2 + 100^2}} = 3,32 \text{ В/м,}$$

$$E_3 = \sqrt{\frac{30 \cdot 2500 \cdot \arctg \frac{50}{100}}{50^2 + 100^2}} = 1,66 \text{ В/м.}$$

Таблица 5.4

*Результаты решения задачи*

X	$\arctg \frac{x}{h}$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$\alpha$
0	0	0	0	0	0
50	0,464	2,35	3,32	1,66	1,34
100	0,785	2,42	3,43	1,72	1,43
150	0,983	2,13	3,02	1,51	1,11
200	1,107	1,82	2,58	1,29	0,808
250	1,190	1,57	2,21	1,11	0,596
300	1,249	1,37	1,94	0,97	0,456
ПДУ	-	4	4	3	1

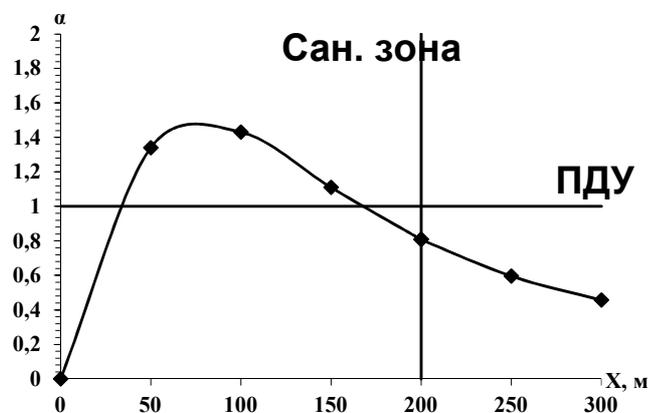
Проверяем условие (5.1):  $\alpha = \left(\frac{2,35}{4}\right)^2 + \left(\frac{3,32}{4}\right)^2 + \left(\frac{1,66}{3}\right)^2 = 0,36.$

Суммарная мощность передатчиков

$$5000+10000+2500=17500 \text{ Вт} = 17,5 \text{ кВт.}$$

Отсюда по табл. 5.2 определяем размер санитарной зоны – 200 м.

Строим график  $\alpha = f(x)$ , рис. 5.2.



*Рис. 5.2. Результат расчета*

Находим по табл. 5.5 величину  $E$  для  $X=200$  м и рассчитываем напряженность электрического поля в кирпичном и панельном домах.

Таблица 5.5

*Результаты решения задачи*

Электрическая напряженность, В/м	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$\alpha$
$X=200$	1,82	2,58	1,29	0,808
Кирпичный дом	1,82	2,58	1,29	0,808
Панельный дом	0,364	0,516	0,258	0,032
ПДУ	4	4	3	1

На границе санитарной зоны ЭМИ в кирпичных и панельных домах не превышает допустимые значения.

**5.3. Задания для самостоятельного решения**

1. Рассчитать электрическую напряженность ЭМИ, создаваемого телевизионными передающими антеннами, по мере удаления от телецентра ( $X=0$ ,  $X=50$ ,  $X=70$ ,  $X=100$ ,  $X=150$ ,  $X=200$ ,  $X=250$ ,  $X=300$ ). Характеристика источников представлена в табл. 5.6. Построить график  $\alpha = f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ.

Определить размер санитарной зоны и напряженность электрического поля внутри жилого дома, расположенного на границе санитарной зоны, и сравнить с ПДУ.

Таблица 5.6

*Характеристика источников ЭМИ*

$h$ , м	1 канал		2 канал		3 канал	
	$f_1$ , МГц	$P_1$ , Вт	$f_2$ , МГц	$P_2$ , Вт	$f_3$ , МГц	$P_3$ , Вт
290	31	1100	61	3100	121	6100

2. Рассчитать электрическую напряженность ЭМИ, создаваемого телевизионными передающими антеннами, по мере удаления от телецентра ( $X=0$ ,  $X=50$ ,  $X=70$ ,  $X=100$ ,  $X=150$ ,  $X=200$ ,  $X=250$ ,  $X=300$ ). Характеристика источников представлена в табл. 5.7. Построить график  $\alpha = f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ.

Определить размер санитарной зоны и напряженность электрического поля внутри жилого дома, расположенного на границе санитарной зоны, и сравнить с ПДУ.

Таблица 5.7

*Характеристика источников ЭМИ*

$h$ , м	1 канал		2 канал		3 канал	
	$f_1$ , МГц	$P_1$ , Вт	$f_2$ , МГц	$P_2$ , Вт	$f_3$ , МГц	$P_3$ , Вт
240	37	1700	67	3700	127	6700

3. Рассчитать электрическую напряженность ЭМИ, создаваемого телевизионными передающими антеннами, по мере удаления от телецентра ( $X=0$ ,  $X=50$ ,  $X=70$ ,  $X=100$ ,  $X=150$ ,  $X=200$ ,  $X=250$ ,  $X=300$ ). Характеристика источников представлена в табл. 5.8. Построить график  $\alpha = f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ.

Определить размер санитарной зоны и напряженность электрического поля внутри жилого дома, расположенного на границе санитарной зоны, и сравнить с ПДУ.

Таблица 5.8

*Характеристика источников ЭМИ*

$h$ , м	1 канал		2 канал		3 канал	
	$f_1$ , МГц	$P_1$ , Вт	$f_2$ , МГц	$P_2$ , Вт	$f_3$ , МГц	$P_3$ , Вт
220	39	1900	69	3900	129	6900

4. Рассчитать электрическую напряженность ЭМИ, создаваемого телевизионными передающими антеннами, по мере удаления от телецентра ( $X=0$ ,  $X=50$ ,  $X=70$ ,  $X=100$ ,  $X=150$ ,  $X=200$ ,  $X=250$ ,  $X=300$ ). Характеристика источников представлена в табл. 5.9. Построить график  $\alpha = f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ.

Определить размер санитарной зоны и напряженность электрического поля внутри жилого дома, расположенного на границе санитарной зоны, и сравнить с ПДУ.

Таблица 5.9

*Характеристика источников ЭМИ*

$h$ , м	1 канал		2 канал		3 канал	
	$f_1$ , МГц	$P_1$ , Вт	$f_2$ , МГц	$P_2$ , Вт	$f_3$ , МГц	$P_3$ , Вт
190	42	1200	72	4200	132	7200

5. Рассчитать электрическую напряженность ЭМИ, создаваемого телевизионными передающими антеннами, по мере удаления от телецентра ( $X=0$ ,  $X=50$ ,  $X=70$ ,  $X=100$ ,  $X=150$ ,  $X=200$ ,  $X=250$ ,  $X=300$ ). Характеристика источников

представлена в табл. 5.10. Построить график  $\alpha = f(x)$ . Определить на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ.

Определить размер санитарной зоны и напряженность электрического поля внутри жилого дома, расположенного на границе санитарной зоны, и сравнить с ПДУ.

Таблица 5.10

*Характеристика источников ЭМИ*

$h$ , м	1 канал		2 канал		3 канал	
	$f_1$ , МГц	$P_1$ , Вт	$f_2$ , МГц	$P_2$ , Вт	$f_3$ , МГц	$P_3$ , Вт
170	44	1400	74	4400	134	7400

## 6. Электромагнитные излучения, создаваемые телевизионными станциями

### 6.1. Общие сведения

Влияние на организм человека электромагнитного излучения радиочастот большой интенсивности связано с частичным поглощением их энергии тканями тела, что вызывает тепловой эффект.

Степень воздействия на человека электромагнитных полей зависит от интенсивности облучения, его длительности, расстояния от источника образования поля и от индивидуальной чувствительности организма человека.

Электрическая напряженность ЭМИ в расчетной точке определяется по формуле

$$E = \sqrt{\frac{30 \cdot P \cdot \theta}{h^2 + x^2}}, \quad (6.1)$$

где  $P$  - мощность источника, Вт;

$\theta$  - коэффициент направленности антенны, рад.

$$\theta = \arctg\left(\frac{x}{h}\right), \quad (6.2)$$

где  $h$  - высота антенны, м;

$x$  - расстояние от основания антенны до расчетной точки, м.

### 6.2. Задания для самостоятельного решения

1. Рассчитать электрическую напряженность, создаваемую телевизионной передающей антенной, на расстоянии 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 м. Высота антенны 280 м, частота 30 МГц, мощность передатчика 1500 Вт. Построить график  $E=f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напря-

женность уменьшается до ПДУ (см. табл. 5.2). Определить размер санитарной зоны (см. табл. 5.3) и возможность строительства жилых домов на границе санитарной зоны.

2. Рассчитать электрическую напряженность, создаваемую телевизионной передающей антенной, на расстоянии 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 м. Высота антенны 270 м, частота 80 мГц, мощность передатчика 2500 Вт. Построить график  $E=f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ (см. табл. 5.2). Определить размер санитарной зоны (см. табл. 5.3) и возможность строительства жилых домов на границе санитарной зоны.

3. Рассчитать электрическую напряженность, создаваемую телевизионной передающей антенной, на расстоянии 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 м. Высота антенны 210 м, частота 300 мГц, мощность передатчика 8000 Вт. Построить график  $E=f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ (см. табл. 5.2). Определить размер санитарной зоны (см. табл. 5.3) и возможность строительства жилых домов на границе санитарной зоны.

4. Рассчитать электрическую напряженность, создаваемую телевизионной передающей антенной, на расстоянии 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 м. Высота антенны 230 м, частота 200 мГц, мощность передатчика 6000 Вт. Построить график  $E=f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ (см. табл. 5.2). Определить размер санитарной зоны (см. табл. 5.3) и возможность строительства жилых домов на границе санитарной зоны.

5. Рассчитать электрическую напряженность, создаваемую телевизионной передающей антенной, на расстоянии 0, 50, 100, 150, 200, 250, 300 м. Высота антенны 260 м, частота 100 мГц, мощность передатчика 4000 Вт. Построить график  $E=f(x)$ . Определить, на каком расстоянии электрическая напряженность уменьшается до ПДУ (см. табл. 5.2). Определить размер санитарной зоны (см. табл. 5.3) и возможность строительства жилых домов на границе санитарной зоны.

## **7. Расчет электрического поля воздушных линий**

### **7.1. Общие сведения**

Воздушные линии электропередачи оказывают негативное влияние на окружающую среду, в частности на ее экологические, социальные и экономические системы. Для сооружения линий электропередачи требуется отвод земель под опоры и вырубка просек при прохождении трассы линии по лесному массиву. Последствия отвода земель и вырубки леса выражаются:

1. в разрушении ценных сельскохозяйственных земель, а именно: в порче посевов, верхних плодородных слоев земли при строительстве линий и,

следовательно, снижении объемов производства сельскохозяйственной продукции;

2. снижении водоохраных, водорегулирующих, противоэрозионных, климаторегулирующих, почвозащитных, полезащитных функций леса;

3. изменении среды обитания животных и птиц, их генофонда (площадь вырубki леса для прокладки 1 км линии напряжением до 10 кВ, а также линий напряжением 35, 110, 220, 330 и 750 кВ составляет соответственно 0,7; 3,4; 3,2; 3,7; 5,6; 8,5 га/км при ширине просеки 7, 7, 34, 37, 56 и 85 м).

Введенная в эксплуатацию воздушная линия электропередачи изменяет рельеф местности и оказывает влияние на условия жизни населения вблизи линии: создает дискомфорт, вызванный акустическим шумом, исходящим от линии, воздействием на телевидение, связь, радио, необходимостью соблюдения безопасности и продолжительности пребывания в зоне отчуждения линии из-за высокой напряженности электрического поля и повышенной концентрации озона и окислов азота.

Сооружение линий электропередач связано с отчуждением земель, что сказывается на сельском хозяйстве. В зоне отчуждения ухудшаются условия работы сельскохозяйственных машин и механизмов из-за механических препятствий, создаваемых опорами и проводами линии, ограничиваются возможности применения авиации и машинного орошения. При выполнении ремонтных работ на линии возможны поправки сельскохозяйственных растений и порча плодородных слоев земли. Линии создают препятствия на путях миграции животных и птиц, оказывают электромагнитное влияние на параллельные им воздушные линии электропередачи.

Эстетическое воздействие воздушных линий электропередачи на окружающую среду связано в основном с высотой и архитектурными формами опор, а также с окраской всех элементов линии электропередачи, т.е. со всем тем, что оказывает влияние на внешний вид и, следовательно, на визуально-эстетическое восприятие линии электропередачи. Улучшения визуально-эстетического восприятия воздушной линии электропередачи можно добиться путем маскировки ее на местности, т.е. обеспечения совместимости общего вида линии с основным характером местности, а именно:

1. придания опорам линий приятных для глаза архитектурных форм за счет использования для изготовления опор высокопрочной стали, что позволяет уменьшать площадь поперечного сечения элементов стальных опор и создавать более изящные их очертания; применения опор с узкой базой, создающих впечатление меньшего объема, чем опоры с широкой базой; использования перекрестных решеток металлических опор с углом наклона  $45^\circ$ ;

2. размещения в общем коридоре линий с опорами одного и того же типа одинаковой (но не слишком большой) высоты, окрашенными в одинаковый цвет и установленными в определенном порядке, с пролетами одинаковой длины (окраска опор производится светопоглощающими наиболее подходящими к фону местности красками - темно-зеленого или черного цвета);

3. принятия мер по недопущению блеска на солнце металлических поверхностей опор, проводов, тросов, линейной арматуры (окраска оцинкованных деталей линейной арматуры темной краской, обработка поверхности сталеалюминиевых проводов пескоструйным аппаратом перед их монтажом, покрытие фарфоровых изоляторов цветной глазурью, применение полимерных изоляторов и т.д.).

В целом воздушные линии электропередачи не представляют значительной угрозы для окружающей среды, так как не загрязняют воздух, воду и землю.

Альтернативой воздушным линиям служат кабельные линии электропередачи, использование которых на номинальных напряжениях электрической сети выше 35 кВ сдерживается их высокой стоимостью и значительной зарядной мощностью, что обуславливает необходимость применения мощных средств поперечной компенсации.

Для сохранности и нормальной эксплуатации воздушных линий электропередачи установлены:

1. охранные зоны вдоль линий, проходящих по населенной местности, определяемые параллельными прямыми, отстоящими от крайних проводов на расстоянии 10, 15, 20, 25, 40 м для линий напряжением до 20, 35, 110, 330 и 750 кВ соответственно;

2. разрывы (т.е. горизонтальные расстояния от крайних проводов линии при наибольшем их отклонении до ближайших выступающих частей зданий и сооружений), которые должны быть не менее 2,4, 6, 8, 40 м для линий напряжением до 20, 35... 110, 220, 330, 750 кВ соответственно;

3. просеки в лесных массивах шириной, равной расстоянию между крайними проводами плюс 3 м в каждую сторону от крайних проводов (при высоте деревьев до 4 м) или плюс высота основного лесного массива в каждую сторону от крайних проводов (при высоте деревьев более 4 м).

При длительном пребывании человека в ЭМП ( $E = 10$  кВ/м) могут возникнуть неблагоприятные физиологические изменения, связанные с воздействием на нервную и сердечно-сосудистую систему (изменения давления, пульса, аритмия и т.д.). Эти явления исчезают через некоторое время после прекращения воздействия ЭМП.

Разработанные нормы, ограничивающие напряжённость электрического поля под воздушными линиями, приведены в табл. 7.1 и табл. 7.2.

Таблица 7.1

*Допустимая напряжённость электрического поля под ВЛ*

Вид местности	Допустимая напряженность, кВ/м
Ненаселённая местность	15
Пересечения с дорогами	10
Населённая местность	5
Жилые дома	1,5

Расстояния от крайних проводов ВЛ до ближайших зданий  
(санитарно - охранный зона)

Напряжение, кВ	Санитарно - охранный зона, м
35	15
110	20
220	25
330	30
500	30
750	40

Напряжённость электрического поля, создаваемого воздушными линиями на поверхности земли (рис.7.1) определяется по формуле

$$E = \frac{C \cdot U}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot \pi \cdot \epsilon_0} * \left[ \frac{2 \cdot H}{(X - D_0)^2 + H^2} - \frac{H}{X^2 + H^2} - \frac{H}{(X + D_0)^2 + H^2} \right], \quad (7.1)$$

где  $E$  – напряжённость электрического поля, кВ/м;

$C$  – ёмкость единицы длины линии, Ф/м;

$U$  – номинальное напряжение, кВ;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ , Кл·Н/м, диэлектрическая постоянная;

$H$  – высота подвеса провода, м;

$D_0$  – расстояние между проводами, м;

$X$  – расстояние до расчётной точки, м.

Ёмкость единицы длины определяется по формуле

$$C = \frac{24 \cdot 10^{-12}}{\lg\left(\frac{2D_0}{d}\right)}, \quad \text{Ф/м}, \quad (7.2)$$

где  $d$  – диаметр провода, м.

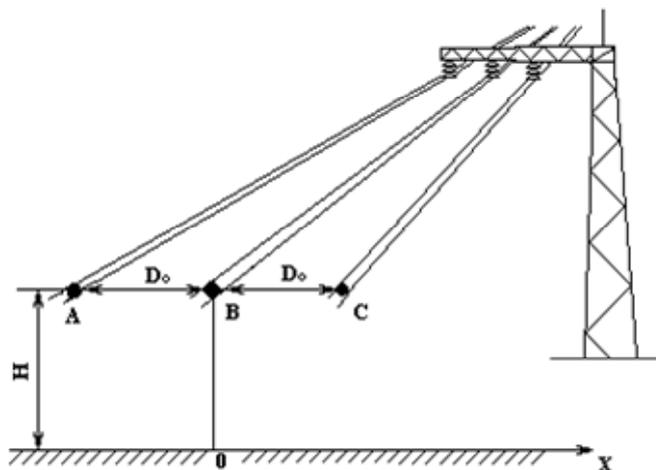


Рис. 7.1. Расчётная схема электрического поля воздушных линий, где A, B, C – провода воздушной линии соответственно фаз A, B, C

## 7.2. Задания для самостоятельного решения

1. Рассчитать напряженности электрического поля, создаваемого ЛЭП, по мере удаления от него. Номинальное напряжение  $U=220$  кВ, сечение провода  $S=240$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=1$ , расстояние между фазами  $D_0=7$  м, высота подвеса провода  $H=17$  м.

2. Рассчитать напряженности электрического поля, создаваемого ЛЭП, по мере удаления от него. Номинальное напряжение  $U=750$  кВ, сечение провода  $S=400$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=4$ , расстояние между фазами  $D_0=18$  м, высота подвеса провода  $H=30$  м.

3. Рассчитать напряженности электрического поля, создаваемого ЛЭП, по мере удаления от него. Номинальное напряжение  $U=500$  кВ, сечение провода  $S=400$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=3$ , расстояние между фазами  $D_0=14$  м, высота подвеса провода  $H=27$  м.

4. Рассчитать напряженности электрического поля, создаваемого ЛЭП, по мере удаления от него. Номинальное напряжение  $U=330$  кВ, сечение провода  $S=400$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=2$ , расстояние между фазами  $D_0=13$  м, высота подвеса провода  $H=25$  м.

5. Рассчитать напряженности электрического поля, создаваемого ЛЭП, по мере удаления от него. Номинальное напряжение  $U=330$  кВ, сечение провода  $S=500$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=2$ , расстояние между фазами  $D_0=12$  м, высота подвеса провода  $H=23$  м.

## 8. Расчёт шума воздушных линий

### 8.1. Общие сведения

Другой негативный фактор воздействия ВЛ - это акустический шум, который возникает на линиях сверхвысокого напряжения.

При своей работе линии электропередачи сверх- и ультравысокого напряжения создают акустические шумы, влияющие на экологическую обстановку. Шум вызывается коронным разрядом на проводах. При отсутствии осадков он определяется «электрическим ветром» – движением воздуха по замкнутым траекториям, вызванным лавинно-импульсным механизмом разряда с отдельных точек поверхности провода, положение которых регулируется сопряженными воздушными потоками. При наличии капель дождя на проводе возникает новый процесс, связанный с деформацией заряженных капель и их отрывом от поверхности провода.

Допустимый уровень шума на территории, непосредственно прилегающей к жилым домам, составляет 45 дБА.

Уровень звука на расстоянии 100 м от крайней фазы в зависимости от напряжения поля на проводах определяется по формуле

$$L = 20 + 0,0111E_{\max} + 900r + 151\lg n - 20\lg B, \text{ дБА}, \quad (8.1)$$

где  $E_{\max}$  – действующее значение максимальной напряжённости на поверхности провода, кВ/м;

$r$  – радиус провода, м;

$n$  – число проводов в фазе, шт;

$B$  – расстояние от крайней фазы, ( $B=100$  м).

Максимальная напряжённость на поверхности провода определяется по формуле

$$E_{\max} = \frac{CU}{2\sqrt{3}\pi\epsilon_0 r}, \text{ кВ/м}, \quad (8.2)$$

где  $U$  – номинальное напряжение, кВ;

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ , Кл·Н/м, диэлектрическая постоянная;

$C$  – ёмкость единицы длины линии, Ф/м, формула 7.2 (задача 7).

## 8.2. Задания для самостоятельного решения

1. Рассчитать уровень шума на расстоянии 100 м от крайней фазы воздушной линии. Сделать вывод о возможности прокладки ВЛ вблизи жилых зданий, для которых допустимый уровень шума составляет 45 дБА. Номинальное напряжение  $U=220$  кВ, сечение провода  $S=240$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=1$ , расстояние между фазами  $D_0=7$  м, высота подвеса провода  $H=17$  м.

2. Рассчитать уровень шума на расстоянии 100 м от крайней фазы воздушной линии. Сделать вывод о возможности прокладки ВЛ вблизи жилых зданий, для которых допустимый уровень шума составляет 45 дБА. Номинальное напряжение  $U=750$  кВ, сечение провода  $S=400$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=4$ , расстояние между фазами  $D_0=18$  м, высота подвеса провода  $H=30$  м.

3. Рассчитать уровень шума на расстоянии 100 м от крайней фазы воздушной линии. Сделать вывод о возможности прокладки ВЛ вблизи жилых зданий, для которых допустимый уровень шума составляет 45 дБА. Номинальное напряжение  $U=500$  кВ, сечение провода  $S=400$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=3$ , расстояние между фазами  $D_0=14$  м, высота подвеса провода  $H=27$  м.

4. Рассчитать уровень шума на расстоянии 100 м от крайней фазы воздушной линии. Сделать вывод о возможности прокладки ВЛ вблизи жилых зданий, для которых допустимый уровень шума составляет 45 дБА. Номинальное напряжение  $U=330$  кВ, сечение провода  $S=400$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=2$ , расстояние между фазами  $D_0=13$  м, высота подвеса провода  $H=25$  м.

5. Рассчитать уровень шума на расстоянии 100 м от крайней фазы воздушной линии. Сделать вывод о возможности прокладки ВЛ вблизи жилых зданий, для которых допустимый уровень шума составляет 45 дБА. Номинальное напряжение  $U=330$  кВ, сечение провода  $S=500$  мм<sup>2</sup>, число проводов в фазе  $n=2$ , расстояние между фазами  $D_0=12$  м, высота подвеса провода  $H=23$  м.

## 9. Расчет звукового давления в рабочем помещении

### 9.1. Общие сведения

Сильный шум в условиях производства значительно снижает производительность труда и может явиться причиной несчастного случая. С физической точки зрения шум представляет собой беспорядочное сочетание по частоте и силе звуков.

Уровень звуковой мощности, дБ, относительно  $10^{-12}$  Вт одного источника определяют по формуле

$$L_1 = 10 \lg \frac{W}{10^{-12}}, \text{ дБ}, \quad (9.1)$$

где  $W$  – звуковая мощность, Вт.

При наличии нескольких одинаковых источников шума суммарный уровень интенсивности шума в равноудалённой от них точке составит

$$L = L_1 + 10 \lg n, \text{ дБ}, \quad (9.2)$$

где  $L_1$  – уровень интенсивности одного источника, дБ;

$n$  – количество источников шума.

Если источники шума имеют разную звуковую мощность, то производится сложение уровней шума. Для расчета можно пользоваться табл. 9.1.

Таблица 9.1

Таблица сложения значений уровней звуковой мощности

Разность двух складываемых значений уровней	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15	20
Добавка к более высокому уровню, необходимая для получения суммарного уровня, дБ	3	2,5	2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,5	0,4	0,2	0

При пользовании таблицей надо последовательно складывать уровни, начиная с максимального. Сначала определяют разность двух складываемых уровней, а затем – добавку к более высокому из складываемых уровней. После этого добавку следует прибавить к большему из складываемых уровней.

Полученные значения сравнить с нормативными, табл. 9.2. Если значение превышает нормативное, необходима звукоизоляция.

Для изоляции шумных помещений предусматривают звукоизолирующие стены и перекрытия. Расчет средней звукоизолирующей способности для сплошного ограждения с весом материала свыше 200 кг/м<sup>2</sup> производят по эмпирической формуле

$$R = 23 \lg Q - 9, \quad (9.3)$$

где  $Q$  – средняя поверхностная плотность стены, кг/м<sup>2</sup>.

Таблица 9.2

*Предельно допустимые уровни звукового давления  
для основных видов трудовой деятельности*

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц									
Наименование	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Уровни звука, дБА
Уровни звукового давления, дБ									
Рабочие помещения административно-управленческого персонала производственных предприятий, лабораторий, помещения для измерительных и аналитических работ	79	70	63	58	55	52	52	49	60
Помещения лабораторий для проведения экспериментальных работ, кабины наблюдения и дистанционного управления без речевой связи по телефону	91	83	77	73	70	68	66	64	75
Рабочие помещения диспетчерских служб, кабины наблюдения и дистанционного управления с речевой связью по телефону, участки точной сборки, телефонные и телеграфные станции, залы обработки информации на ЭВМ	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Помещения с постоянными рабочими местами производственных предприятий, территории предприятий с постоянными рабочими местами	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Уровень шума за стенами помещения цеха

$$\Delta l = L - R, \text{ дБ.} \quad (9.4)$$

Суммарная площадь звукопоглощения в цехе при отсутствии облицовки составит

$$A_{\text{необл.}} = F_{\text{нт.}} \alpha_{\text{нт.}} + F_{\text{ст.}} \alpha_{\text{ст.}} + F_{\text{пл.}} \alpha_{\text{пл.}} + F_{\text{ок.}} \alpha_{\text{ок.}}, \text{ м}^2. \quad (9.5)$$

Суммарная площадь звукопоглощения в цехе при облицовке пола и потолка составит:

$$A_{обл.} = F_{nm} \cdot \alpha + F_{ст.} \cdot \alpha + F_{пл.} \cdot \alpha_{пл.} + F_{ок.} \cdot \alpha_{ок.}, \text{ м}^2, \quad (9.6)$$

где  $\alpha$  – коэффициент звукопоглощения облицовочного материала;

$F_{nm}, F_{пл}$  – площадь пола и потолка,  $\text{м}^2$ ;

$F_{ст}$  – площадь стен,  $\text{м}^2$ ;

$F_{ок}$  – площадь окон,  $\text{м}^2$ ;

$\alpha_{пл}, \alpha_{ст}, \alpha_{nm}, \alpha_{ок}$  – коэффициенты звукопоглощения пола, стен, потолка, окон.

Снижение уровня шума в цехе определяют по формуле

$$\Delta L = 10 \lg \frac{A_{обл.}}{A_{необл.}}, \text{ дБ}. \quad (9.7)$$

После облицовки уровень шума в цехе составит:

$$L_{обл.} = L - \Delta L, \text{ дБ}. \quad (9.8)$$

Уровень шума в цехе после облицовки сравнивают с нормативным значением.

## 9.2. Задания для самостоятельного решения

1. В производственном цехе находятся  $n_1=6$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью источников  $W=4 \cdot 10^{-4}$  Вт;  $n_2=4$  источника шума с излучаемой звуковой мощностью  $W=1,5 \cdot 10^{-3}$  Вт;  $n_3=5$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью  $W=6 \cdot 10^{-4}$  Вт. Площадь пола и потолка  $F_{nm}=F_{пл}=280$   $\text{м}^2$ ; площадь стен  $F_{ст}=360$   $\text{м}^2$  (из них 50 % площади стен занимают окна). Коэффициенты звукопоглощения: пола  $\alpha_{пл}=0,011$ ; стен  $\alpha_{ст}=0,024$ ; потолка  $\alpha_{nm}=0,020$ ; окон  $\alpha_{ок}=0,18$ .

Рассчитать и сравнить с нормативными значениями суммарный уровень звукового давления в производственном цехе (при частоте шума  $f = 125$  Гц). Определить уровень шума в помещении сборки, находящемся за кирпичной стеной цеха. Стена помещения толщиной в 1,5 кирпича (средняя поверхностная плотность 620  $\text{кг}/\text{м}^2$ ).

В случае превышения нормативного значения подобрать облицовочный звукопоглощающий материал и рассчитать эффективность облицовок в производственном цехе. В качестве облицовочного материала можно использовать: акустическую штукатурку с  $\alpha = 0,220$ ; акустическую плиту с  $\alpha = 0,45$ ; минеральную вату толщиной 100 мм с  $\alpha = 0,43$ ; асбестоцементные плиты с  $\alpha=0,98$ .

2. В производственном цехе находятся  $n_1=10$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью источников  $W=8 \cdot 10^{-4}$  Вт;  $n_2=6$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью  $W=1,7 \cdot 10^{-3}$  Вт;  $n_3=4$  источников шума с излу-

чаемой звуковой мощностью  $W=1,2 \cdot 10^{-3}$  Вт. Площадь пола и потолка  $F_{nm}=F_{nl}=300$  м<sup>2</sup>; площадь стен  $F_{cm}=400$  м<sup>2</sup> (из них 50 % площади стен занимают окна). Коэффициенты звукопоглощения: пола  $\alpha_{nl}=0,011$ ; стен  $\alpha_{cm}=0,024$ ; потолка  $\alpha_{nm}=0,020$ ; окон  $\alpha_{ок}=0,18$ .

Рассчитать и сравнить с нормативными значениями суммарный уровень звукового давления в производственном цехе (при частоте шума  $f = 125$  Гц). Определить уровень шума в помещении сборки, находящемся за кирпичной стеной цеха. Стена помещения толщиной в 2 кирпича (средняя поверхностная плотность 820 кг/м<sup>2</sup>).

В случае превышения нормативного значения подобрать облицовочный звукопоглощающий материал и рассчитать эффективность облицовок в производственном цехе. В качестве облицовочного материала можно использовать: акустическую штукатурку с  $\alpha = 0,220$ ; акустическую плиту с  $\alpha = 0,45$ ; минеральную вату толщиной 100 мм с  $\alpha = 0,43$ ; асбестоцементные плиты с  $\alpha=0,98$ .

3. В производственном цехе находятся  $n_1=4$  источника шума с излучаемой звуковой мощностью источников  $W= 1,4 \cdot 10^{-3}$  Вт;  $n_2= 4$  источника шума с излучаемой звуковой мощностью  $W= 9 \cdot 10^{-4}$  Вт;  $n_3=5$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью  $W= 6 \cdot 10^{-4}$  Вт. Площадь пола и потолка  $F_{nm}=F_{nl}=340$  м<sup>2</sup>; площадь стен  $F_{cm}=420$  м<sup>2</sup> (из них 50 % площади стен занимают окна). Коэффициенты звукопоглощения: пола  $\alpha_{nl}=0,011$ ; стен  $\alpha_{cm}=0,024$ ; потолка  $\alpha_{nm}=0,020$ ; окон  $\alpha_{ок}=0,18$ .

Рассчитать и сравнить с нормативными значениями суммарный уровень звукового давления в производственном цехе (при частоте шума  $f = 125$  Гц). Определить уровень шума в помещении лаборатории, находящейся за кирпичной стеной цеха. Стена помещения толщиной в 1 кирпич (средняя поверхностная плотность 420 кг/м<sup>2</sup>).

В случае превышения нормативного значения подобрать облицовочный звукопоглощающий материал и рассчитать эффективность облицовок в производственном цехе. В качестве облицовочного материала можно использовать: акустическую штукатурку с  $\alpha = 0,220$ ; акустическую плиту с  $\alpha = 0,45$ ; минеральную вату толщиной 100 мм с  $\alpha = 0,43$ ; асбестоцементные плиты с  $\alpha=0,98$ .

4. В производственном цехе находятся  $n_1=10$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью источников  $W= 7 \cdot 10^{-4}$  Вт,  $n_2= 6$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью  $W=1,6 \cdot 10^{-3}$  Вт,  $n_3=10$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью  $W= 4 \cdot 10^{-4}$  Вт. Площадь пола и потолка  $F_{nm}=F_{nl}=400$  м<sup>2</sup>; площадь стен  $F_{cm}=510$  м<sup>2</sup> (из них 50 % площади стен занимают окна). Коэффициенты звукопоглощения: пола  $\alpha_{nl}=0,011$ ; стен  $\alpha_{cm}=0,024$ ; потолка  $\alpha_{nm}=0,020$ ; окон  $\alpha_{ок}=0,18$ .

Рассчитать и сравнить с нормативными значениями суммарный уровень звукового давления в производственном цехе (при частоте шума  $f = 125$  Гц). Определить уровень шума в помещении сборки, находящемся за кирпичной перегородкой, которая выполнена толщиной в 0,5 кирпича (средняя поверхностная плотность 220 кг/м<sup>2</sup>).

В случае превышения нормативного значения подобрать облицовочный звукопоглощающий материал и рассчитать эффективность облицовок в производственном цехе. В качестве облицовочного материала можно использовать: акустическую штукатурку с  $\alpha = 0,220$ ; акустическую плиту с  $\alpha = 0,45$ ; минеральную вату толщиной 100 мм с  $\alpha = 0,43$ ; асбестоцементные плиты с  $\alpha=0,98$ .

5. В производственном цехе находятся  $n_1=6$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью источников  $W=1,4 \cdot 10^{-3}$  Вт;  $n_2=4$  источника шума с излучаемой звуковой мощностью  $W=1,1 \cdot 10^{-3}$  Вт;  $n_3=10$  источников шума с излучаемой звуковой мощностью  $W=6 \cdot 10^{-4}$  Вт. Площадь пола и потолка  $F_{nm}=F_{nl}=450$  м<sup>2</sup>; площадь стен  $F_{cm}=530$  м<sup>2</sup> (из них 50 % площади стен занимают окна). Коэффициенты звукопоглощения: пола  $\alpha_{nl}=0,011$ ; стен  $\alpha_{cm}=0,024$ ; потолка  $\alpha_{nm}=0,020$ ; окон  $\alpha_{ок}=0,18$ .

Рассчитать и сравнить с нормативными значениями суммарный уровень звукового давления в производственном цехе (при частоте шума  $f = 125$ Гц). Определить уровень шума в помещении лаборатории, находящемся за кирпичной стеной цеха. Стена помещения толщиной в 1,5 кирпича (средняя поверхностная плотность 620 кг/м<sup>2</sup>).

В случае превышения нормативного значения подобрать облицовочный звукопоглощающий материал и рассчитать эффективность облицовок в производственном цехе. В качестве облицовочного материала можно использовать: акустическую штукатурку с  $\alpha = 0,220$ ; акустическую плиту с  $\alpha = 0,45$ ; минеральную вату толщиной 100 мм с  $\alpha = 0,43$ ; асбестоцементные плиты с  $\alpha=0,98$ .

## 10. Расчёт уровней шума транспортных потоков на территории жилой зоны

### 10.1. Общие сведения

Расчёт состоит из следующих этапов:

- выявление источников шума и определение их шумовых характеристик;
- установка расчетных точек;
- разбивка территории застройки на участки, отличающиеся по условиям распространения шума;
- определение уровня шума в расчетных точках;
- определение допустимых уровней шума в расчетных точках;
- определение требуемого снижения уровней шума в расчетных точках.

Расчетные точки на территориях размещения жилых и общественных зданий намечаются на расстоянии 2 м от стен этих зданий, ориентированных на источник шума, как правило, на уровне середины окон первого и верхнего этажей. Расчетные точки на площадках отдыха микрорайонов, на площадках детских дошкольных учреждений, школ намечают на ближайшей к источнику шума границе площадок на высоте 1,5 м от их поверхности в зоне видимости источника шума.

В ряде случаев территорию жилой застройки разбивают на отдельные участки, отличающиеся по шумовым характеристикам или условиям распространения шума, а именно:

- между источником шума и расчетной точкой расположены какие-либо экраны;
- шум в расчетную точку поступает с двух или более улиц или дорог;
- улица или дорога в пределах застраиваемого участка изменяет свое направление.

В этих случаях из расчетной точки (РТ) на плане жилого участка проводят лучи через края экранов, через точки пересечения улиц или дорог с осью первой полосы движения транспортных средств.

Эквивалентные уровни звука  $L_{A_{\text{экв.тер.}}}$ , дБА, в расчетных точках определяют по формуле

$$L_{A_{\text{экв.тер.}}} = 10 \lg \sum 10^{0,1 L_{A_{\text{экв.Л}}}}, \text{дБА}, \quad (10.1)$$

где  $L_{A_{\text{экв.Л}}}$  – эквивалентный уровень звука, дБА, в расчетной точке от  $i$ -го экранированного участка  $L_{A_{i\text{экp}}}$  или неэкранированного участка  $L_{A_{i\text{св}}}$  улицы или дороги;

$L_{A_{\text{экв.тер.}}}$  – суммарный эквивалентный уровень звука, дБА, в расчетной точке.

Эквивалентный уровень звука  $L_{A_{i\text{св}}}$ , дБА, в расчетной точке от  $i$ -го неэкранированного участка улицы или дороги определяют по формуле

$$L_{A_{i\text{св}}} = L_{A_{\text{экв}}} - L_{A_{\text{рас}}} - L_{A_{\text{пок}}} - L_{A_{\text{воз}}} - L_{A_{\text{зел}}} - L_{A_{\text{ai}}}, \text{дБА}, \quad (10.2)$$

где  $L_{A_{\text{экв.}}}$  – шумовая характеристика транспортного потока, дБА;

$L_{A_{\text{рас}}}$  – снижение уровня звука в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой, дБА;

$L_{A_{\text{пок}}}$  – снижение уровня звука вследствие влияния покрытия территории, дБА;

$L_{A_{\text{воз}}}$  – снижение уровня звука вследствие затухания звука в воздухе, дБА;

$L_{A_{\text{зел}}}$  – снижение уровня звука полосами зелёных насаждений, дБА;

$L_{A_{\text{ai}}}$  – снижение уровня звука вследствие ограничения угла видимости улицы или дороги из расчетной точки, дБА.

Эквивалентный уровень звука в расчетной точке от  $i$ -го экранированного участка улицы или дороги определяют по формуле

$$L_{A_{i\text{экp}}} = L_{A_{\text{экв}}} - L_{A_{\text{рас}}} - L_{A_{i\text{экp}}} - L_{A_{\text{пок}}} - L_{A_{\text{зел}}} - L_{A_{\text{воз}}} - L_{A_{\text{dL}}}, \text{дБА}, \quad (10.3)$$

где  $L_{A_{i\text{экp}}}$  – снижение уровня звука  $i$ -ым экраном, дБА.

Максимальный уровень звука  $L_{A_{\text{макс.тер.}}}$ , дБА, транспортных средств в расчетной точке на жилотельной зоне определяют по формуле

$$L_{A_{\text{макс.тер.}}} = L_{A_{\text{макс.}}} - L_{A_{\text{рас}}} - L_{A_{\text{экp}}} - L_{A_{\text{пок}}} - L_{A_{\text{зел}}} - L_{A_{\text{воз}}}, \text{дБА}, \quad (10.4)$$

где  $L_{A макс.}$  – расчетный максимальный уровень звука источника шума, дБА.

Требуемое снижение уровней звука в расчетных точках на селитебной территории определяют для каждого источника шума отдельно по формуле

$$L_{A mp тер.} = L_{A тер.} - L_{A тер. доп.}, \text{ дБА}, \quad (10.5)$$

где  $L_{A тер.}$  – эквивалентный или максимальный уровень звука в расчетной точке, дБА;

$L_{A тер. доп.}$  – допустимый эквивалентный уровень звука на селитебной территории, дБа.

Требуемое снижение уровней звука в расчетных точках в помещениях жилых и общественных зданий определяют по формуле

$$L_{A mp пом} = L_{A пом} - L_{A ок} - L_{A пом. доп.}, \text{ дБА}, \quad (10.6)$$

где  $L_{A ок}$  – снижение уровня звука конструкцией окна, дБА;

$L_{A пом. доп.}$  – допустимый эквивалентный или максимальный уровень звука в помещении, дБа.

Снижение эквивалентного уровня звука, дБА, потоков автомобилей и трамваев  $L_{A рас}$  в зависимости от расстояния  $R$ , м, между источником шума и расчетной точкой и числа полос движения проезжей части улицы или дороги определяют по номограмме рис. 10.1.

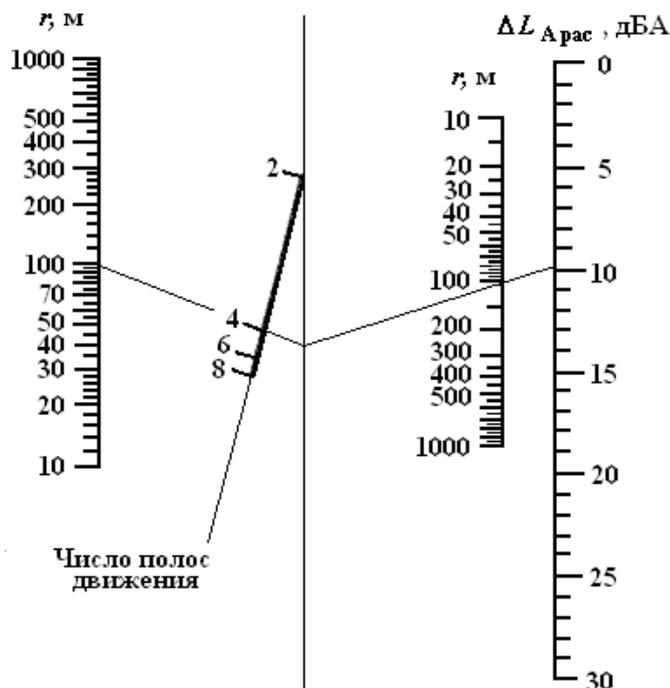


Рис. 10.1. Номограмма для определения снижения эквивалентного уровня шума потока автомобилей, троллейбусов, трамваев в зависимости от расстояния

Расстояние  $R$ , м, отсчитывают от условного акустического центра, источника шума, располагающегося по оси, ближней к расчетной точке полосы движения, на высоте 1 м от уровня проезжей части улицы или дороги.

Снижение уровня звука за счет мягкого покрытия территории (трава, рыхлый грунт)  $L_{A\text{ пок}}$ , дБА, определяется по табл. 10.1, в зависимости от параметра  $\sigma$ .

$$\sigma = \frac{0,1d_n}{H_{pm} \cdot 10^{0,3(H_{uш}-0,5)}} \quad (10.7)$$

Таблица 10.1

Значение параметра  $\sigma$

$\sigma$	1,1	1,2	1,5	1,8	2,2	3,3	4,1	5,2	6,8	9,3	14
$\Delta L_{A\text{ пок}}$ , дБа	0,5	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11

При расположении проезжей части улицы или дороги на одном уровне с поверхностью территории защищаемого от шума объекта параметр можно определить по формуле

$$\sigma = 0,07 \frac{d_n}{H_{pm}}, \quad (10.8)$$

где  $d_n$  – расчетное расстояние, м (для потоков автомобильного транспорта  $d_n = 1,4l_n$ ; для источников шума на территории застройки  $d_n = l_n$ );

$H_{pm}$  – высота расчетной точки над условной плоскостью территории защищаемого объекта, м;

$H_{uш}$  – высота условного акустического центра источника шума над условной плоскостью территории защищаемого от шума объекта, м;

$l_n$  – длина проекции расстояния  $R$  на условную плоскость территории защищаемого от шума объекта, м.

При распространении шума над акустически жестким покрытием территории (асфальт, бетон, вода, плотный грунт) его влиянием пренебрегают.

Снижение шума вследствие поглощения звука в воздухе  $\Delta L_{A\text{ воз}}$ , дБА, определяют по номограмме рис. 10.2, в зависимости от кратчайшего расстояния  $R_n$ , м, между расчетной точкой и акустическим центром источника шума.

Снижение уровня звука экраном-стенкой  $\Delta L_{A\text{ экр. ст}}$ , дБА, можно определить по кривым рис. 10.3, в зависимости от числа Френеля и вида источника шума. Число Френеля определяется по формуле

$$N = 2\delta/\lambda, \quad (10.9)$$

где  $\delta$  – разность длин путей звукового луча, м;

$\lambda$  – длина звуковой волны, м.

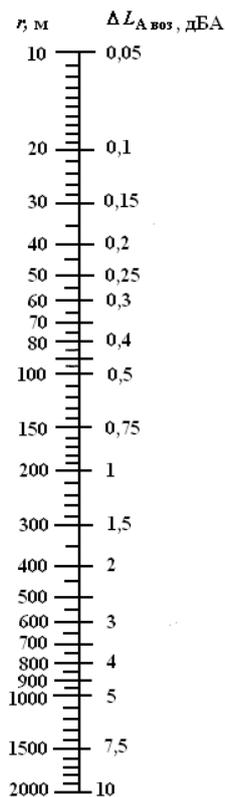


Рис. 10.2. Номограмма для определения снижения уровня шума вследствие поглощения звука в воздухе

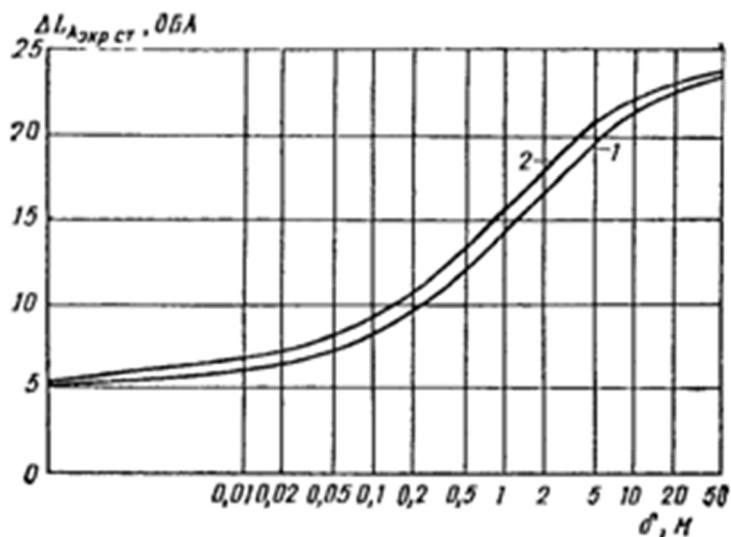


Рис. 10.3. График для определения снижения уровня звука экраном-стенкой:  
 1 — транспортные потоки; 2 — железнодорожные поезда

Разность длин путей звукового луча  $\delta$ , м, в соответствии с расчетными схемами экранов (рис.10. 4) следует определять по формуле

$$\delta = (a + \epsilon) - c, \quad (10.10)$$

где  $a$  – кратчайшее расстояние между акустическим центром источника шума и верхней кромкой экрана (акустический центр потоков автомобильного транспорта располагается на оси дальней от расчетной точки полосы движения на высоте 1 м от уровня поверхности проезжей части дороги (улицы), м;

$\epsilon$  – кратчайшее расстояние между расчетной точкой и верхней кромкой экрана, м;

$c$  – кратчайшее расстояние между акустическим центром источника шума и расчетной точкой, м.

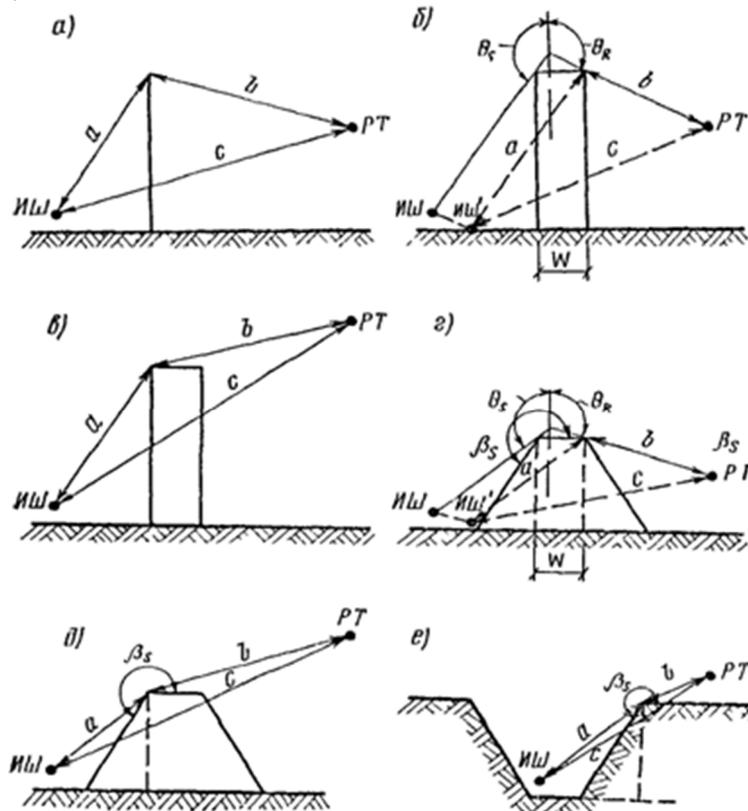


Рис.10.4. Расчетные схемы для определения снижения уровня звука экранами: а – стенка; б, в – здание, г, д – насыпь, е – выемка

Расстояния  $a$ ,  $\epsilon$  и  $c$  следует определять по формулам:

$$a = \sqrt{(a^1)^2 + (H_{\text{экр}} - H_{\text{шш}})^2}, \quad (10.11)$$

$$\epsilon = \sqrt{(\epsilon^1)^2 + (H_{\text{экр}} - H_{\text{рт}})^2}, \quad (10.12)$$

$$c = \sqrt{(a^1 + \epsilon^1)^2 + (H_{\text{рт}} - H_{\text{шш}})^2}, \quad (10.13)$$

где  $a^l, e^l$  – длина проекции расстояния соответственно  $a$  и  $e$  на горизонтальную плоскость, м;

$H_{\text{экр}}$  – отметка уровня верхней кромки экрана, м;

$H_{\text{иш}}, H_{\text{рп}}$  – отметки уровня акустического центра соответственно источника шума и расчетной точки, м.

Длину звуковой волны  $\lambda$  при определении числа Френеля следует принимать равной: для автомобилей, автобусов, троллейбусов – 0,84; для трамваев – 0,6.

Снижение уровня звука экраном-зданием  $\Delta L_{A \text{ экр.зд}}$ , дБА, определяют по формуле

$$\Delta L_{A \text{ экр.зд.}} = \Delta L_{A \text{ экр.ст.}} + \Delta L_{A \text{ т}}, \text{ дБА}, \quad (10.14)$$

где  $\Delta L_{A \text{ экр.ст}}$  – снижение уровня звука экраном-стенкой, дБА;

$\Delta L_{A \text{ т}}$  – дополнительное снижение уровня звука экраном-зданием в зависимости от толщины здания, определяемое по табл. 10.2 в зависимости от расчетного показателя  $K$ , который определяется по номограмме рис. 10.5 в зависимости от углов  $\Theta_r$  и  $\Theta_s$ , определяемых по рис.10.4б, дБА.

Таблица 10.2

*Снижение уровня звука экраном-зданием*

Г, м	Дополнительное снижение уровня звука экраном-зданием $\Delta L_{A \text{ т}}$ , дБа, при $K$ , равном															
	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5
3	1	1,5	2,5	2,5	3,5	4	5	5	5,5	6,5	6,5	7,5	8	8,5	9	10
6	1,5	2	3	3,5	4	5	6	6,5	7	8	8,5	9,5	10	10,5	11,5	12,5
9	1,5	2,5	3,5	4	5	5,5	6,5	7	8	9	9	10,5	11,5	12	13	14
12	1,5	2,5	3,5	4	5	6	7	7,5	9	10	10	11,5	12,5	13	14	15
18	1,5	3	4	4,5	5,5	7	8	8,5	10	10,5	10,5	12,5	13,5	14	15,5	16,5
24	2	3	4	5	6	7	8,5	9	10,5	11,5	11,5	13,5	14,5	15	16,5	17,5
30	2	3	4,5	5	6,5	7,5	9	9,5	10,5	12	12	14	15	16	17	18,5

Величину  $\Delta L_{A \text{ экр.ст}}$ , дБА, определяют для условного экрана-стенки, совмещенного с плоскостью дворового фасада здания (рис. 10.4), и мнимого источника шума ИШ<sup>1</sup>. Для нахождения местоположения акустического центра мнимого источника шума из вершины условного экрана-стенки следует провести линию, параллельную линии, соединяющей акустический центр действительного источника шума ИШ с верхней кромкой экрана-здания в плоскости уличного фасада. Из акустического центра действительного источника шума ИШ следует провести линию, параллельную линии, соединяющей расчетную точку с вершиной условного экрана-стенки. Точка пересечения проведенных линий будет являться акустическим центром мнимого источника шума.

При расположении расчетной точки выше здания-экрана снижение уровня звука  $\Delta L_{A \text{ экр.зд}}$  определяют для условного экрана-стенки, совмещенного с плоскостью уличного фасада здания.

Снижение уровня звука экраном-насыпью  $\Delta L_{A \text{ экр.нас}}$ , дБА, можно определить по формуле

$$\Delta L_{A \text{ экр.нас}} = \Delta L_{A \text{ экр.зд}} - \Delta\beta, \text{ дБА}, \quad (10.15)$$

где  $\Delta L_{A \text{ экр.зд}}$  – снижение звука условным экраном прямоугольного сечения, дБА;  
 $\Delta\beta$  – поправка, определяемая в зависимости от значения внешнего угла  $\beta_s$ , град, (табл. 10.3), дБА.

Таблица 10.3

Значение поправки  $\Delta\beta$

Внешний угол $\beta_s$ , град.	210	225	240	255
Поправка $\Delta\beta$ , дБА	6	5	3	1

При расположении расчетной точки выше экрана-насыпи снижение уровня звука  $\Delta L_{A \text{ экр.нас}}$  определяют для условного экрана-стенки, совмещенного с передней плоскостью условного экрана прямоугольного сечения с учетом поправки  $\Delta\beta$  в соответствии с табл. 10.3.

Снижение уровня звука экраном-выемкой определяют по формуле

$$\Delta L_{A \text{ экр.в}} = \Delta L_{A \text{ экр.ст}} - \Delta\beta, \text{ дБа}, \quad (10.16)$$

где  $\Delta L_{A \text{ экр.ст}}$  – снижение уровня звука условным экраном-стенкой, дБа.

Снижение уровня звука  $\Delta L_{A \alpha}$ , дБа, вследствие ограничения угла видимости с улицы или дороги из расчетной точки определяется по табл. 10.4.

Таблица 10.4

Снижение уровня звука  $\Delta L_{A \alpha}$ , дБа

$\alpha$ , град.	6	7	9	11	14	18	22	30	35	45	55	70	90	115	140
$\Delta L_{A \alpha}$ , дБА	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Снижение уровня звука плотными полосами зеленых насаждений  $\Delta L_{A \text{ зел}}$ , дБА, с примыканием крон деревьев друг к другу, с заполнением подкоронового пространства густым кустарником можно определить по номограмме рис. 10.6.

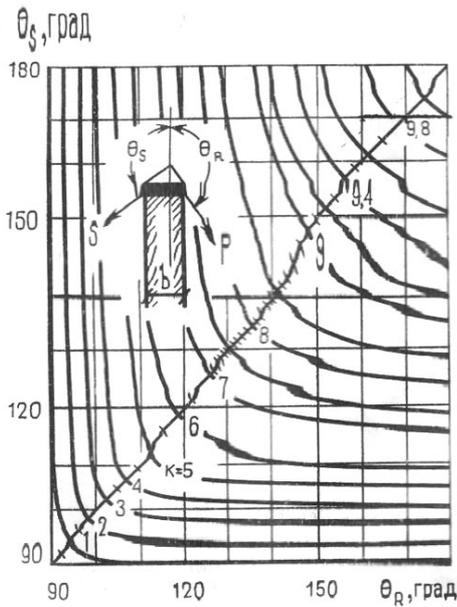


Рис. 10.5. Номограмма для определения расчетного показателя  $K$

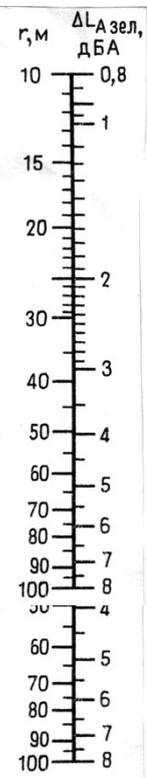


Рис. 10.6. Номограмма определения уровня звука

Номограмму допускается применять при ширине полосы зеленых насаждений не более 100 м. Снижение уровня звука плотными полосами зеленых насаждений свыше 100 м принимают равным 8 дБА.

Обычные полосы зеленых насаждений с редкой посадкой деревьев при расчете звука можно не учитывать.

Для оценки общего уровня шума от нескольких источников производят сложение уровней шума. Последовательное сложение уровней шума начинают с максимального уровня. Сначала определяют разность двух складываемых уровней, затем по установленной разности по табл. 10.5 находят добавку, которую прибавляют к большему из складываемых уровней.

Аналогичные действия проводят с указанной суммой двух уровней и третьим уровнем и т. д.

Таблица 10.5

Разность в двух складываемых уровней, дБА	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	15	20

## 10.2. Пример решения задачи

Источниками шума на территории жилого микрорайона являются транспортные потоки на магистральных улицах городского и районного значения с шумовой характеристикой  $\Delta L_{A \text{ экв.}}$ , равной соответственно 78 и 73 дБА. Ширина проезжей части улиц составляет соответственно 21 и 14 м, число полос движения в обоих направлениях – 6 и 4. Вдоль магистральной улицы городского значения на расстоянии 15 м от края проезжей части расположены два двенадцатиэтажных жилых дома высотой 36 м, а вдоль магистральной улицы районного значения на расстоянии 62 м – один девятиэтажный шумозащитный жилой дом высотой 27 м. Ширина домов составляет 12 м. Отметка уровня проезжей части улиц – 99,8 м, отметка территории застройки – 100 м. Территория между домами, между магистральной улицей районного значения и девятиэтажным домом покрыта травой. Исключение составляют проезды к жилым домам и тротуар шириной соответственно 4 и 3 м. Территория между магистральной улицей городского значения и двенадцатиэтажными домами покрыта асфальтом. Вдоль улиц имеются полосы зеленых насаждений с однорядной посадкой деревьев и кустарников шириной 2 м.

Определить требуемое снижение уровня звука на площадке отдыха, подобрать средства защиты от шума и произвести их расчет.

### Решение:

1. На схеме микрорайона намечаем расчетную точку со стороны, ближайшей к источнику шума границы площадки отдыха в зоне попадания звуковых лучей на высоте 1,5 м от уровня поверхности площадки (отметка 101,5 м).

2. Территорию застройки разбиваем на отдельные экранированные и неэкранированные жилыми домами участки. Для этого из расчетной точки проводим лучи через края зданий. Так как источниками шума на площадке отдыха являются транспортные потоки на пересекающихся улицах, проводим также луч из расчетной точки через пересечения осевых улиц. В рассматриваемом случае этот луч совпал с лучом, проходящим через край здания. Так как вне участков №2-6 в зонах видимости магистральных улиц из расчетной точки застройка отсутствует, то крайние участки №1 и №7 ограничиваем лучами, параллельными соответствующим улицам (полный угол видимости улицы из расчетной точки равен  $180^\circ$ ). Определяем на плане углы видимости отдельных участков улиц из расчетной точки:  $\alpha_1 = 34^\circ$ ,  $\alpha_2 = 72^\circ$ ,  $\alpha_3 = 19^\circ$ ,  $\alpha_4 = 77^\circ$ ,  $\alpha_5 = 29^\circ$ ,  $\alpha_6 = 21^\circ$ ,  $\alpha_7 = 18^\circ$ . Расчет уровней звука в точке 1 от неэкранированных и экранированных участков улиц проводим по формулам (7.2) и (7.3).

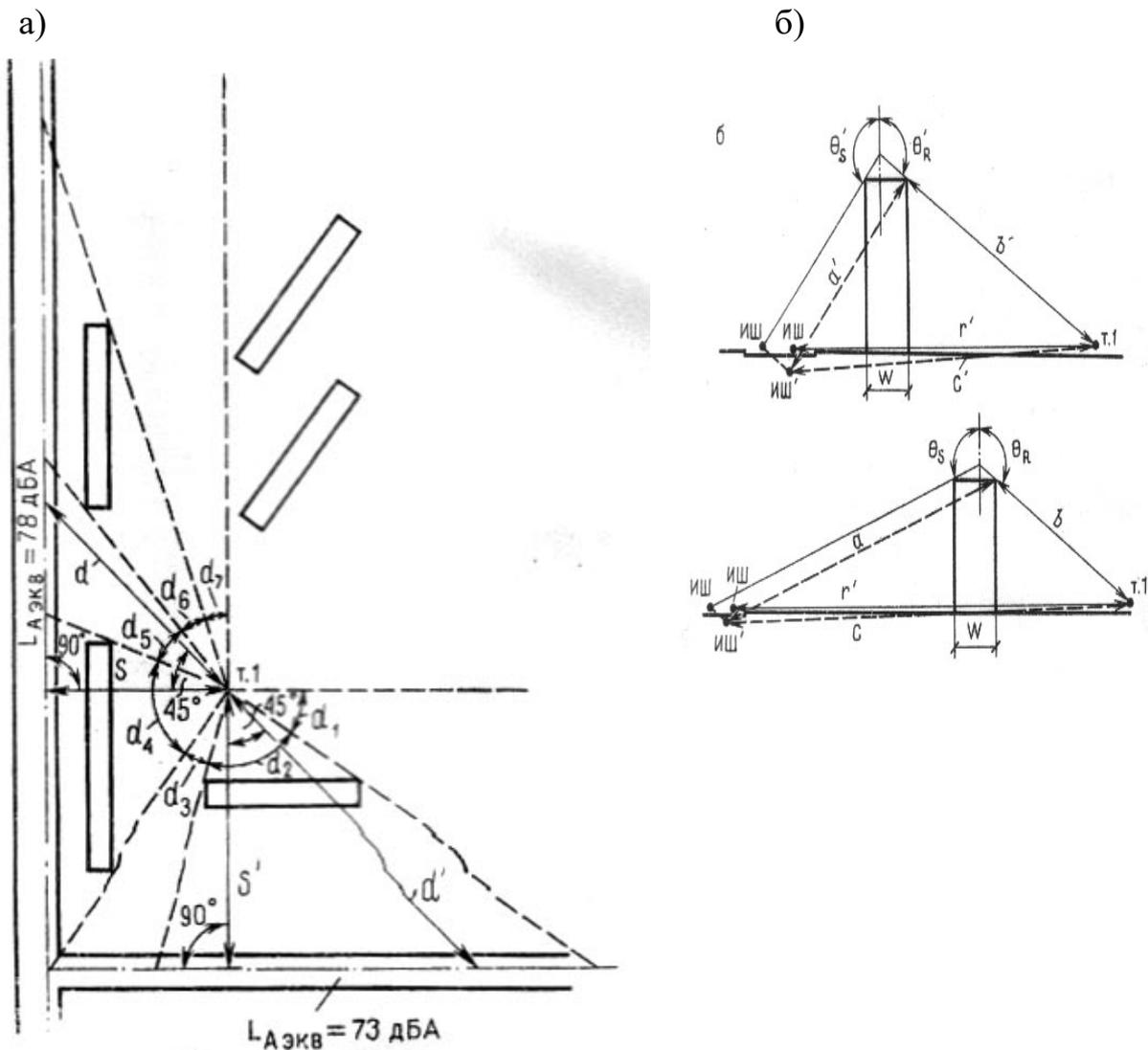


Рис.10.6. Расчетная схема:

*a* – для определения уровня звука на территории застройки;  
*б* – для определения снижения уровня звука зданиями-экранами

3. Определяем снижение уровня звука в зависимости от расстояния  $R_n$  между источником шума и расчетной точкой и числа полос по рис. 10.1. Расстояние  $R_n$  определяют на поперечном профиле улицы и прилегающей территории. Так как в данном случае проезжая часть улицы расположена практически на одном уровне с территорией застройки, это расстояние можно определить на плане. Для всех участков, прилегающих к одной улице, это расстояние одинаково. Для участков №1-3 это расстояние равно 120 м, а для участков № 4-7 оно равно 87 м. Снижение уровня звука на участках № 1-3 составит  $L_{A\text{ рас}} = 12$  дБА, а на участках № 4-7 составит  $L_{A\text{ рас}} = 10,6$  дБА.

4. Определяем снижение уровня звука вследствие его поглощения в воздухе по номограмме рис. 10.2:

- для участков №1-3  $\Delta L_{A\text{ воз}} = 0,6$  дБА;
- для участков №4-7  $\Delta L_{A\text{ воз}} = 0,4$  дБА.

5. Определяем снижение уровня звука вследствие влияния покрытия территории на неэкранированных участках №1, 3, 5, 7 по табл. 10.1. Расчетные расстояния определяем по формуле  $d_n = 1,4 l_n$ , при этом не учитываем ширину проездов и тротуаров, покрытых асфальтом:

– для участков №1 и 3  $d_n = 1,4 * 102 = 143$  м;  $\Delta L_{A \text{пок}} = 9,2$  дБА;

– для участков №5 и 7  $d_n = 1,4 * 69 = 97$  м;  $\Delta L_{A \text{пок}} = 6,1$  дБА.

На участках №2, 4 и 6 покрытие территории не влияет на снижение уровня звука, так как путь звуковых лучей через верхнюю кромку зданий проходит на большой высоте, поэтому  $\Delta L_{A \text{пок}} = 0$ .

6. Определяем снижение уровня звука экранами – девятиэтажным жилым домом на участке № 2 и двенадцатиэтажными жилыми домами на участках № 4 и 6 следующим образом:

а) определяем снижение уровня звука экранами – стенками в плоскости дворовых фасадов зданий  $\Delta L_{A \text{экр.ст}}$ , дБА, по кривым рис.10.3 в зависимости от числа Френеля N, рассчитываемого по формулам (10.9) и (10.10). Расстояния  $a$ ,  $b$  и  $c$  определяем графически по поперечному профилю улиц и прилегающей застройке, а для точных расчетов – по формулам (10.11)–(10.13). На участке №2:

$$a = \sqrt{(66 + 12)^2 + (127 - 98)^2} = 83,22 \text{ м};$$

$$b^1 = \sqrt{40,7^2 + (127 - 101,5)^2} = 48,03 \text{ м};$$

$$c^1 = \sqrt{(66 + 12 + 40,7)^2 + (101,5 - 98)^2} = 118,75 \text{ м};$$

$$\delta = (83,22 + 48,03) - 118,75 = 12,5 \text{ м}.$$

На участках № 4 и 6.

$$a = \sqrt{(21,6 + 12)^2 + (136 - 96)^2} = 52,24 \text{ м};$$

$$b = \sqrt{54,8^2 + (136 - 101,5)^2} = 64,67 \text{ м};$$

$$c = \sqrt{(21,6 + 12 + 54,7)^2 + (101,5 - 96)^2} = 88,47 \text{ м};$$

$$\delta = (52,24 + 64,67) - 88,47 = 28,44 \text{ м}.$$

Находим  $\Delta L_{A \text{экр.ст}}^1 = 21,8$  дБА;  $\Delta L_{A \text{экр.ст}} = 23,2$  дБА;

б) определяем дополнительное снижение уровня звука экраном-зданием  $L_{Am}$ , дБА в зависимости от толщины здания T, м, и по табл. 10.2. Для этого из расчетной схемы экранов–зданий на поперечном профиле улицы и прилегающей застройки определяем углы  $\Theta_S^1 = 110^\circ$ ;  $\Theta_R^1 = 124^\circ$  (для участка № 2) и  $\Theta_S = 139^\circ$ ;  $\Theta_R = 124^\circ$  (для участков № 4 и 6). В зависимости от углов  $\Theta_S^1$ ,  $\Theta_R^1$ ,  $\Theta_S$  и  $\Theta_R$  по номограмме рис. 10.5 определяем расчетный показатель  $K^1 = 5,1$  и  $K = 7,3$ . Определяем величину  $L_{Am}$ , дБА по табл. 10.2, которая составит:  $L_{Am} = 7,2$  дБА и  $L_{Am} = 10,4$  дБА;

в) по формуле (10.14) находим снижение уровня звука экранами-зданиями:

$$L_{A \text{экр.зд}} = 21,8 + 7,2 = 29 \text{ дБА};$$

$$L_{A \text{экр.зд}} = 23,2 + 10,4 = 33,6 \text{ дБА}.$$

7. Определяем снижение уровня звука полосами зеленых насаждений  $L_{A \text{зел}}$   $0,08 * 2 = 0,2$  дБА по номограмме рис.10.6.

8. Определяем снижение уровня звука  $L_{A\alpha}$ , дБА, вследствие ограничения угла видимости участков улиц из расчетной точки по табл. 10.4: для  $\alpha_1 = 34^\circ$   $L_{A\alpha1} = 7,2$  дБА. Для  $\alpha_2 = 72^\circ$   $L_{A\alpha2} = 4$  дБА. Для  $\alpha_3 = 19^\circ$   $L_{A\alpha3} = 9,8$  дБА. Для  $\alpha_4 = 77^\circ$   $L_{A\alpha4} = 3,7$  дБА. Для  $\alpha_5 = 29^\circ$   $L_{A\alpha5} = 7,9$  дБА. Для  $\alpha_6 = 21^\circ$   $L_{A\alpha6} = 9,3$  дБА. Для  $\alpha_7 = 18^\circ$   $L_{A\alpha7} = 10$  дБА.

9. Вычисляем суммарное снижение уровня звука  $L_{AL}$ , дБА, на каждом участке:

$$L_{A1} = 12 + 0,6 + 9,2 + 0,2 + 7,2 = 29,2 \text{ дБА};$$

$$L_{A2} = 12 + 0,6 + 0 + 29 + 0,2 + 4 = 45,8 \text{ дБА};$$

$$L_{A3} = 12 + 0,6 + 9,2 + 0,2 + 9,8 = 31,8 \text{ дБА};$$

$$L_{A4} = 10,6 + 0,4 + 33,6 + 0,2 + 3,7 = 48,5 \text{ дБА};$$

$$L_{A5} = 10,6 + 0,4 + 6,1 + 0,2 + 7,9 = 25,2 \text{ дБА};$$

$$L_{A6} = 10,6 + 0,4 + 0 + 33,6 + 0,2 + 9,3 = 54,1 \text{ дБА};$$

$$L_{A7} = 10,6 + 0,4 + 6,1 + 0,2 + 10 = 27,3 \text{ дБА}.$$

10. Вычисляем уровни звука в расчетной точке  $L_{Ai}$ , дБА, от каждого участка улицы:

$$L_{A1} = 73 - 29,2 = 43,8 \text{ дБА};$$

$$L_{A2} = 73 - 45,8 = 27,2 \text{ дБА};$$

$$L_{A3} = 73 - 31,8 = 41,2 \text{ дБА};$$

$$L_{A4} = 73 - 48,5 = 29,5 \text{ дБА};$$

$$L_{A5} = 73 - 25,2 = 52,8 \text{ дБА};$$

$$L_{A6} = 73 - 54,1 = 23,9 \text{ дБА};$$

$$L_{A7} = 73 - 27,3 = 50,7 \text{ дБА}.$$

11. Вычисляем суммарный уровень шума в расчетной точке, пользуясь правилом сложения шума от нескольких источников и данными табл. 10.5. Находим, что суммарный уровень шума в расчетной точке составляет  $L_{A\text{мер}} = 55$  дБА.

12. Допустимый уровень шума на площадке отдыха микрорайона в соответствии с санитарными нормами составляет 45 дБА.

13. Требуемое снижение уровня шума в расчетной точке находим по формуле (10.15):

$$L_A^{\text{тр.тер.}} = 55 - 45 = 10 \text{ дБА}.$$

14. Расчет показал, что уровень шума в расчетной точке превышает допустимый по санитарным нормам уровень шума на 10 дБА, поэтому необходимо разработать мероприятия по снижению уровня шума на площадке отдыха. Одним из возможных вариантов решения данной задачи является размещение в разрыве между двенадцатиэтажными жилыми домами двухэтажных зданий предприятий торговли, бытового обслуживания и др., а девятиэтажный и двенадцатиэтажный жилые дома, примыкающие к участкам № 1 и 7, дополнить боковыми объемами, пересекающими участки.

15. Принимаем высоту зданий предприятия торговли и др., обеспечивающих снижение шума, достигающих расчетной точки, равной 9 м, и проводим перерасчет уровня шума на площадке отдыха.

16. Перерасчет показал, что при осуществлении предложенных мероприятий уровень шума на площадке отдыха составит  $L_A^{mp_{тер.}} = 44$  дБА и не будет превышать допустимого уровня.

17. Результаты расчета уровня шума в расчетной точке до мероприятий и после их осуществления сводят в табл. 10.6.

Таблица 10.6

*Уровень звука или снижение уровня звука, дБА*

Параметр	Уровень звука или снижение уровня звука, дБА, для участков №													
	1		2		3		4		5		6		7	
	СП	ПМ	СП	ПМ	СП	ПМ	СП	ПМ	СП	ПМ	СП	ПМ	СП	ПМ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$L_{A экв}$	73	73	73	73	73	73	78	78	78	78	78	78	78	78
$L_{A рас}$	12	12	12	12	12	12	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6
$L_{A воз}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
$L_{A пок}$	9,2	0	0	0	9,2	9,2	0	0	6,1	0	0	0	6,1	0
$L_{A экр}$		29	29	29			33,6	33,6		19,5	33,6	33,6		33,6
$L_{A зел}$	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
$L_{A\alpha}$	7,2	2,3	4	9,8	9,8	9,8	3,7	3,7	7,9	7,9	9,3	6,6	10	6,6
$L_A$	29,2	44,1	45,8	44,1	31,8	48,5	48,7	25,2	38,6	54,1	51,4	27,3	50,7	26,6
$L_{AL'}$	43,8	28,9	27,2	28,9	41,2	41,2	29,5	29,3	52,8	39,4	23,9	26,6	50,7	26,6
$L_{A тер}$	на существующее положение (СП) = 55 дБА ; после мероприятия (ПМ) = 44 дБА													

### 10.3. Задания для самостоятельного решения

1. Источниками шума на территории жилого микрорайона являются транспортные потоки на магистральных улицах городского и районного значения с шумовой характеристикой  $\Delta L_{A экв.}$ , равной соответственно 73 и 69 дБА. Ширина проезжей части улиц составляет соответственно 15 и 11 м, число полос движения в обоих направлениях – 3 и 2. Вдоль магистральной улицы городского значения на расстоянии 15 м от края проезжей части расположены два жилых дома высотой 17 м, а вдоль магистральной улицы районного значения на расстоянии 55 м – один шумозащитный жилой дом высотой 27 м. Ширина домов составляет 12 м. Отметка уровня проезжей части улиц – 99,8 м, отметка территории застройки – 100 м. Проезды к жилым домам и тротуар шириной соответственно 4 и 3 м. Территория между магистральной улицей городского значения и двенадцатиэтажными домами покрыта асфальтом. Вдоль улиц имеются полосы зеленых насаждений с одnorядной посадкой деревьев и кустарников шириной 3 м.

Определить требуемое снижение уровня звука на площадке отдыха, подобрать средства защиты от шума и произвести их расчет.

2. Источниками шума на территории жилого микрорайона являются транспортные потоки на магистральных улицах городского и районного значения с шумовой характеристикой  $\Delta L_{A \text{ экв.}}$ , равной соответственно 77 и 72 дБА. Ширина проезжей части улиц составляет соответственно 20 и 15 м, число полос движения в обоих направлениях – 5 и 3. Вдоль магистральной улицы городского значения на расстоянии 18 м от края проезжей части расположены два жилых дома высотой 56 м, а вдоль магистральной улицы районного значения на расстоянии 57 м – один шумозащитный жилой дом высотой 36 м. Ширина домов составляет 12 м. Отметка уровня проезжей части улиц – 99,8 м, отметка территории застройки – 100 м. Проезды к жилым домам и тротуар шириной соответственно 4 и 3 м. Территория между магистральной улицей городского значения и двенадцатиэтажными домами покрыта асфальтом. Вдоль улиц имеются полосы зеленых насаждений с однорядной посадкой деревьев и кустарников шириной 4 м.

Определить требуемое снижение уровня звука на площадке отдыха, подобрать средства защиты от шума и произвести их расчет.

3. Источниками шума на территории жилого микрорайона являются транспортные потоки на магистральных улицах городского и районного значения с шумовой характеристикой  $\Delta L_{A \text{ экв.}}$ , равной соответственно 83 и 79 дБА. Ширина проезжей части улиц составляет соответственно 27 и 21 м, число полос движения в обоих направлениях – 8 и 5. Вдоль магистральной улицы городского значения на расстоянии 19 м от края проезжей части расположены два жилых дома высотой 36 м, а вдоль магистральной улицы районного значения на расстоянии 60 м – один шумозащитный жилой дом высотой 27 м. Ширина домов составляет 12 м. Отметка уровня проезжей части улиц – 99,8 м, отметка территории застройки – 100 м. Проезды к жилым домам и тротуар шириной соответственно 4 и 3 м. Территория между магистральной улицей городского значения и двенадцатиэтажными домами покрыта асфальтом. Вдоль улиц имеются полосы зеленых насаждений с однорядной посадкой деревьев и кустарников шириной 4 м.

Определить требуемое снижение уровня звука на площадке отдыха, подобрать средства защиты от шума и произвести их расчет.

4. Источниками шума на территории жилого микрорайона являются транспортные потоки на магистральных улицах городского и районного значения с шумовой характеристикой  $\Delta L_{A \text{ экв.}}$ , равной соответственно 85 и 81 дБА. Ширина проезжей части улиц составляет соответственно 30 и 22 м, число полос движения в обоих направлениях – 9 и 6. Вдоль магистральной улицы городского значения на расстоянии 20 м от края проезжей части расположены два жилых дома высотой 27 м, а вдоль магистральной улицы районного значения на расстоянии 15 м – один шумозащитный жилой дом высотой 61 м. Ширина домов составляет 12 м. Отметка уровня проезжей части улиц – 99,8 м, отметка территории застройки – 100 м. Проезды к жилым домам и тротуар шириной соответственно 4 и 3 м. Территория между магистральной улицей городского

значения и двенадцатиэтажными домами покрыта асфальтом. Вдоль улиц имеются полосы зеленых насаждений с однорядной посадкой деревьев и кустарников шириной 5 м.

Определить требуемое снижение уровня звука на площадке отдыха, подобрать средства защиты от шума и произвести их расчет.

5. Источниками шума на территории жилого микрорайона являются транспортные потоки на магистральных улицах городского и районного значения с шумовой характеристикой  $\Delta L_{A \text{ экв.}}$ , равной соответственно 87 и 77 дБА. Ширина проезжей части улиц составляет соответственно 32 и 23 м, число полос движения в обоих направлениях – 8 и 5. Вдоль магистральной улицы городского значения на расстоянии 21 м от края проезжей части расположены два жилых дома высотой 42 м, а вдоль магистральной улицы районного значения на расстоянии 63 м – один шумозащитный жилой дом высотой 27 м. Ширина домов составляет 12 м. Отметка уровня проезжей части улиц – 99,8 м, отметка территории застройки – 100 м. Проезды к жилым домам и тротуар шириной соответственно 4 и 3 м. Территория между магистральной улицей городского значения и двенадцатиэтажными домами покрыта асфальтом. Вдоль улиц имеются полосы зеленых насаждений с однорядной посадкой деревьев и кустарников шириной 6 м.

Определить требуемое снижение уровня звука на площадке отдыха и подобрать средства защиты от шума и произвести их расчет.

## **11. Расчет тепловой изоляции горячих поверхностей**

### **11.1. Общие сведения**

Основной задачей расчетов тепловой изоляции является определение потерь тепла и температур в изоляционном слое при заданной изоляционной конструкции или толщине изоляционного слоя, удовлетворяющих определенным требованиям. Эти требования диктуются условиями производственного процесса изоляционной установки и соображениями санитарии и техники безопасности (предохранение от ожогов, обеспечение нормальной температуры воздуха в помещении и т.п.).

Расчетные формулы для плоской стенки значительно проще формул для цилиндрических объектов. Обычно формулы плоской стенки можно применять, если диаметр изолируемой стенки равен 2 м и более.

Обычно толщину изоляционного слоя по заданной температуре на поверхности изоляции определяют в том случае, когда тепловая потеря изолированного объекта не регламентирована, а изоляция необходима как средство, обеспечивающее нормальную температуру воздуха в рабочих помещениях или предохраняющее обслуживающий персонал от ожогов. В таких случаях температура на поверхности изоляции  $t_k$  принимается равной: 45 °С в закрытых рабочих помещениях, 60 °С на открытом воздухе и в открытых помещениях при штука-

турном слое и 50-55 °С при металлическом. В отдельных случаях могут быть заданы и другие значения температур на поверхности.

Для плоской поверхности толщину изоляционного слоя  $\delta_{из}$  определяют по формуле

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}(t - t_K)}{\alpha_H(t_K - t_H)}, \text{ м.} \quad (11.1)$$

Для цилиндрической поверхности пользуются формулой

$$\frac{d_K}{d_H} \ln \frac{d_K}{d_H} = \frac{2\lambda_{из}(t - t_K)}{\alpha_H d_H(t_K - t_H)}. \quad (11.2)$$

После определения по  $x \ln x$  значения  $x = \frac{d_K}{d_H}$  (табл. 11.1) толщину изоляции находим по формуле

$$\delta_{из} = \frac{d_H}{2} \left( \frac{d_K}{d_H} - 1 \right), \text{ м,} \quad (11.3)$$

где  $d_H$  - наружный диаметр изолируемого объекта, м;

$d_K$  - наружный диаметр изоляционной конструкции, м.

$\lambda_{из}$  - коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Ккал/ч м °С, определяется удельным тепловым потоком, проходящим за 1 ч через образец материала толщиной 1 м и площадью 1 м<sup>2</sup> при разности температур на противоположных сторонах образца в 1 °С.

Определяется по формуле

$$\lambda = \lambda_o + b \cdot t_{cp} = \lambda_o + b \frac{t + t_K}{2}, \quad (11.4)$$

где  $\lambda_o$  - коэффициент теплопроводности при 0 °С (табл. 11.2);

$b$  - температурный коэффициент (табл. 11.2);

$t_{cp}$  - средняя температура изоляционного слоя, °С:

$$t_{cp} = \frac{t + t_K}{2}, \quad (11.5)$$

где  $t$  - температура теплоносителя, °С;

$t_K$  - температура наружной поверхности изоляционной конструкции, °С;

$t_H$  - температура окружающего воздуха, °С,

$\alpha_H$  - коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающий воздух (представляет собой количество тепла, переданное в час от теплоносителя к стенке площадью 1 м<sup>2</sup> при разности температур 1 °С между теплоносителем и стенкой). Минимальное значение  $\alpha_H = 4$  Ккал/(ч·м<sup>2</sup>·°С) принимается для малых температурных перепадов, максимальное  $\alpha_H = 100$  Ккал/(ч·м<sup>2</sup>·°С). В некоторых случаях величина  $\alpha_H$  имеет определяющее значение и должна быть вычислена.

Для плоской поверхности, находящейся в помещении,

$$\alpha_H = 8,4 + 0,06(t_K - t_H). \quad (11.6)$$

Для цилиндрической поверхности, находящейся в помещении,

$$\alpha_H = 8,1 + 0,045(t_K - t_H). \quad (11.7)$$

Таблица 11.1

*Значения функции xlnx*

X	xLnx	X	xLnx	X	xLnx	X	xLnx
1,00	0,000	1,255	0,285	1,72	0,932	2,23	1,791
1,005	0,005	1,26	0,291	1,73	0,949	2,24	1,805
1,01	0,01005	1,265	0,298	1,74	0,965	2,25	1,825
1,015	0,01515	1,27	0,304	1,75	0,980	2,26	1,841
1,02	0,0202	1,175	0,309	1,76	0,994	2,27	1,861
1,025	0,0253	1,28	0,316	1,77	1,011	2,28	1,880
1,03	0,0304	1,285	0,322	1,78	1,029	2,29	1,899
1,035	0,0356	1,29	0,328	1,79	1,040	2,30	1,920
1,04	0,0407	1,295	0,334	1,80	1,059	2,31	1,935
1,045	0,0460	1,30	0,340	1,81	1,081	2,32	1,955
1,05	0,0512	1,31	0,354	1,82	1,089	2,33	1,970
1,055	0,0565	1,32	0,367	1,83	1,108	2,34	1,990
1,06	0,0617	1,33	0,380	1,84	1,121	2,35	2,007
1,065	0,0670	1,34	0,389	1,85	1,138	2,36	2,027
1,07	0,0724	1,35	0,405	1,86	1,152	2,37	2,042
1,075	0,777	1,36	0,417	1,87	1,169	2,38	2,062
1,08	0,0831	1,37	0,432	1,88	1,185	2,39	2,080
1,085	0,0885	1,38	0,445	1,89	1,205	2,40	2,100
1,09	0,0946	1,39	0,457	1,90	1,220	2,41	2,120
1,095	0,0994	1,40	0,470	1,91	1,234	2,42	2,140
1,10	0,1048	1,41	0,485	1,92	1,251	2,43	2,160
1,105	0,1100	1,42	0,499	1,93	1,270	2,44	2,180
1,11	0,1162	1,43	0,512	1,94	1,288	2,45	2,195
1,115	0,1210	1,44	0,526	1,95	1,302	2,46	2,217
1,12	0,1270	1,45	0,539	1,96	1,318	2,47	2,233
1,125	0,1327	1,46	0,552	1,97	1,335	2,48	2,255
1,13	0,1380	1,47	0,565	1,98	1,351	2,49	2,270
1,135	0,1430	1,48	0,580	1,99	1,369	2,50	2,290
1,14	0,1492	1,49	0,594	2,00	1,386	2,51	2,310
1,145	0,1545	1,50	0,607	2,01	1,401	2,52	2,328
1,15	0,1607	1,51	0,622	2,02	1,419	2,53	2,344
1,155	0,1665	1,52	0,637	2,03	1,439	2,54	2,370
1,16	0,1721	1,53	0,650	2,04	1,455	2,55	2,385
1,165	0,1772	1,54	0,665	2,05	1,471	2,56	2,405
1,17	1,1899	1,55	0,679	2,06	1,488	2,57	2,425
1,175	0,1890	1,56	0,695	2,07	1,507	2,58	2,444
1,18	0,1958	1,57	0,707	2,08	1,520	2,59	2,462
1,185	0,201	1,58	0,722	2,09	1,542	2,60	2,480
1,19	0,207	1,59	0,737	2,10	1,559	2,61	2,503
1,195	0,213	1,60	0,751	2,11	1,579	2,62	2,521
1,2	0,218	1,61	0,765	2,12	1,592	2,63	2,540
1,205	0,2245	1,62	0,782	2,13	1,610	2,64	2,560
1,21	0,2301	1,63	0,799	2,14	1,630	2,65	2,580
1,215	0,236	1,64	0,815	2,15	1,648	2,66	2,600
1,22	0,242	1,65	0,827	2,16	1,665	2,67	2,620
1,225	0,245	1,66	0,842	2,17	1,681	2,68	2,640
1,23	0,2545	1,67	0,856	2,18	1,699	2,69	2,660
1,235	0,261	1,68	0,872	2,19	1,720	2,70	2,680
1,24	0,2662	1,69	0,889	2,20	1,735	2,71	2,700
1,245	0,272	1,70	0,902	2,21	1,756	2,72	2,720
1,25	0,279	1,71	0,916	2,22	1,771	2,73	2,740

Таблица 11.2

*Расчетные формулы для определения коэффициента теплопроводности*

Материал изоляционного слоя конструкции	Объемная масса изоляционного слоя, кг/м <sup>3</sup>	Максимальная температура применения изоляционной конструкции, °С	Формула для определения коэффициента теплопроводности, Ккал/(ч·м <sup>2</sup> ·°С)
Совелитовые изделия: марки 350 марки 400	350 400	500 500	$\lambda=0,065+0,00016 t_{cp}$ $\lambda=0,067+0,00016 t_{cp}$
Войлок строительный	200	100	$\lambda=0,038+0,00016 t_{cp}$
Прошивные маты и полосы из непрерывного стеклянного волокна	200	450	$\lambda=0,034+0,00022 t_{cp}$
Стекловатные маты на синтетической связке: марки 35 марки 50	55 80	180 180	$\lambda=0,034+0,00035 t_{cp}$ $\lambda=0,036+0,0003 t_{cp}$
Плиты из мин. ваты полужесткие марки 200 на крахмальной связке	240	400	$\lambda=0,048+0,00016 t_{cp}$
Минераловатные полуцилиндры на синтетической связке: марки 150 марки 200	150 200	300 300	$\lambda=0,042+0,00017 t_{cp}$ $\lambda=0,046+0,00016 t_{cp}$

### 11.2. Задания для самостоятельного решения

1. Определить толщину изоляционного слоя из минераловатных плит марки 200 на синтетической связке для стального трубопровода, проложенного в производственном помещении. Диаметр трубопровода 2,2 м, температура теплоносителя 150 °С. Температура на поверхности изоляции не должна превышать 45 °С, температура воздуха в помещении 20 °С.

2. В помещении цеха проходит трубопровод диаметром 1,8 м. Определить толщину изоляционного слоя из прошивных матов из стекловолокна, если температура на поверхности изоляции не должна превышать 45 °С. Температура теплоносителя составляет 200 °С, температура окружающего воздуха 18 °С.

3. Определить толщину изоляции из совелитовых плит марки 350 для стального трубопровода, проложенного в производственном помещении. Диа-

метр трубопровода 1,2 м. Температура теплоносителя 150 °С, температура в помещении 20 °С. Температура на поверхности изоляции не должна превышать 40 °С.

4. В помещении проходит трубопровод диаметром 2,2 м. Температура теплоносителя 200 °С. Температура в помещении 25 °С. Определить толщину слоя изоляции из прошивных матов из стекловолокна, если температура на поверхности изоляции не должна превышать 50 °С.

5. Трубопровод с жидким продуктом проложен по эстакаде в помещении цеха. Диаметр трубопровода 1,8 м. Температура жидкого продукта 90 °С. В качестве изоляционного материала используется строительный войлок. Температура в помещении цеха 20 °С. Определить толщину изоляционного слоя, если температура на поверхности изоляции не должна превышать 40 °С.

## 12. Отопление кабины строительной машины

### 12.1. Общие сведения

Основное требование к теплоизоляционным материалам – это минимальная теплопроводность, высокие звукоизоляционные свойства и необходимая прочность. В большинстве случаев теплоизолированные панели кабин выполняются трехслойными: наружный слой – облицовка из металлического листа 0,8-3,0 мм; средний слой, теплоизоляционный - из пенопласта, войлока, резины, ваты, картона или воздушной прослойки и внутренний слой – из кожзаменителя, фанеры и других материалов.

Потеря теплоты через многослойную панель кабины составляет

$$Q = kA(t_e - t_n), \text{ Ккал/ч}, \quad (12.1)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи, Ккал/м<sup>2</sup>°С·ч);

$A$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;

$t_n, t_e$  – наружная и внутренняя температура, °С.

Коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \text{ Ккал/м}^2 \text{°С} \cdot \text{ч}, \quad (12.2)$$

где:  $\alpha_e = 7,5$  Ккал/м<sup>2</sup> °С · ч – коэффициент теплоотдачи поверхности ограждения;

$\alpha_n = 25$  Ккал/м<sup>2</sup> °С · ч – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности ограждения к окружающей среде;

$\delta_i$  - толщина каждого слоя теплоизоляционного материала, м;

$\lambda_i$  - коэффициент теплопроводности материала ограждения ( табл. 12.1),  
Ккал/м °С·ч;

$\Sigma$  - в данной формуле имеется в виду панель из нескольких слоев тепло-  
изоляции.

Таблица 12.1

*Коэффициенты теплопроводности*

Материал	Коэффициент теплопроводности, Ккал/м °С·ч
Сталь листовая	50,0
Линолеум	0,16
Доска сосновая	0,15
Фанера	0,15
Стекло	0,64
Войлок	0,04
Резина	0,11

Теплопотери с учетом надбавки на неучтенные потери

$$Q_n = Q + 0,2Q, \text{ Ккал/ч.} \quad (12.3)$$

Мощность электрической печи

$$W = \frac{Q_n}{0,864}, \text{ Вт.} \quad (12.4)$$

**12.2. Задания для самостоятельного решения**

1. Рассчитать электрическое отопление кабины строительной машины. Кабина изготовлена из стального листа толщиной 2 мм. Наружное остекление выполнено из стекла толщиной 3 мм. Теплошумоизоляция выполнена: по полу – губчатой резиной в 5 мм, покрытой линолеумом (2 мм), по крыше и стенам кабины – искусственным войлоком (7 мм), облицованным фанерой в 5 мм. Площади: пола – 1,5 м<sup>2</sup>, потолокка – 1,5 м<sup>2</sup>, правой боковой стенки – 3,2 м<sup>2</sup>, левой боковой стенки – 3,2 м<sup>2</sup>, задней стенки – 3,1 м<sup>2</sup>, остекления – 3,5 м<sup>2</sup>. Температура внутри кабины  $t_v = 20$  °С, снаружи кабины –  $t_n = - 40$  °С. Определить мощности электрической печи.

2. Рассчитать электрическое отопление кабины строительной машины. Кабина изготовлена из стального листа толщиной 3 мм. Наружное остекление выполнено из стекла толщиной 4 мм. Теплошумоизоляция выполнена: по полу – губчатой резиной в 4 мм, покрытой линолеумом (3 мм), по крыше и стенам кабины – искусственным войлоком (9 мм), облицованным фанерой в 5 мм. Площади: пола – 2,2 м<sup>2</sup>, потолокка – 2,2 м<sup>2</sup>, правой боковой стенки – 3,0 м<sup>2</sup>, левой боковой стенки – 3,0 м<sup>2</sup>, задней стенки – 3,2 м<sup>2</sup>, остекления – 3,8 м<sup>2</sup>. Температура

внутри кабины  $t_{в} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , снаружи кабины –  $t_{н} = - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить мощности электрической печи.

3. Рассчитать электрическое отопление кабины строительной машины. Кабина изготовлена из стального листа толщиной 1 мм. Наружное остекление выполнено из стекла толщиной 2 мм. Теплошумоизоляция выполнена: по полу – губчатой резиной в 3 мм, покрытой линолеумом (4 мм), по крыше и стенам кабины – искусственным войлоком (8 мм), облицованным фанерой в 10 мм. Площади: пола –  $1,6 \text{ м}^2$ , потолка –  $1,6 \text{ м}^2$ , правой боковой стенки –  $2,3 \text{ м}^2$ , левой боковой стенки –  $2,3 \text{ м}^2$ , задней стенки –  $2,8 \text{ м}^2$ , остекления –  $2,5 \text{ м}^2$ . Температура внутри кабины  $t_{в} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , снаружи кабины –  $t_{н} = - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить мощности электрической печи.

4. Рассчитать электрическое отопление кабины строительной машины. Кабина изготовлена из стального листа толщиной 2 мм. Наружное остекление выполнено из стекла толщиной 3 мм. Теплошумоизоляция выполнена: по полу – губчатой резиной в 2 мм, покрытой линолеумом (2 мм), по крыше и стенам кабины – искусственным войлоком (8 мм), облицованным фанерой в 9 мм. Площади: пола –  $1,8 \text{ м}^2$ , потолка –  $1,8 \text{ м}^2$ , правой боковой стенки –  $2,7 \text{ м}^2$ , левой боковой стенки –  $2,4 \text{ м}^2$ , задней стенки –  $3,0 \text{ м}^2$ , остекления –  $2,8 \text{ м}^2$ . Температура внутри кабины  $t_{в} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , снаружи кабины –  $t_{н} = - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить мощности электрической печи.

5. Рассчитать электрическое отопление кабины строительной машины. Кабина изготовлена из стального листа толщиной 3 мм. Наружное остекление выполнено из стекла толщиной 4 мм. Теплошумоизоляция выполнена: по полу – губчатой резиной в 3 мм, покрытой линолеумом (3 мм), по крыше и стенам кабины – искусственным войлоком (8 мм), облицованным фанерой в 8 мм. Площади: пола –  $2,0 \text{ м}^2$ , потолка –  $2,0 \text{ м}^2$ , правой боковой стенки –  $3,3 \text{ м}^2$ , левой боковой стенки –  $3,0 \text{ м}^2$ , Задней стенки –  $3,2 \text{ м}^2$ , остекления –  $2,7 \text{ м}^2$ . Температура внутри кабины  $t_{в} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , снаружи кабины –  $t_{н} = - 40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определить мощности электрической печи.

## 13. Расчет площади приточных и вытяжных проемов

### 13.1. Общие сведения

Для своевременного удаления паров масел, растворителей, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, а также горючих газов и органических пылей необходимо организовать воздухообмен, применив естественную или механическую вентиляцию. При естественной вентиляции воздухообмен происходит под влиянием разности температур (теплого напора) и ветра (ветрового напора).

Общая величина теплового напора может быть определена по формуле

$$H_m = h(\gamma_n - \gamma_e), \text{ кг/м}^2, \quad (13.1)$$

где  $h$  – расстояние между центрами нижних и верхних рядов проемов здания, м;  
 $\gamma_n$  – вес 1 м<sup>3</sup> наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_e$  – вес 1 м<sup>3</sup> внутреннего воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Величину наибольшего давления, которое создает поток воздуха при внезапном торможении (встреча на своем пути здания), определяют по формуле

$$H_e = \frac{v^2 \gamma_n}{2g}, \text{ кг/м}^2, \quad (13.2)$$

где  $v$  – скорость ветра, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения (принимается 9,81 м/с<sup>2</sup>).

При этом необходимо учитывать, что давление воздуха с наветренной стороны здания или сооружения обычно составляет 0,75÷0,85  $H_e$ , а на заветренной стороне создается разрежение, величина которого составляет (от минус 0,4 до минус 0,45)  $H_e$ . Следовательно, разность давлений с наветренной и заветренной сторон здания будет 1,15÷1,30  $H_e$ . Для практических расчетов можно принять  $\gamma_e=1,2$  кг/м<sup>3</sup>. Тогда

$$H_e = \frac{v^2}{16}, \text{ кг/м}^2. \quad (13.3)$$

С целью более эффективного использования ветра для вытяжки паров, над местом их образования целесообразно устраивать зонты с вытяжными шахтами (трубами), заканчивающиеся дефлекторами.

Объем воздуха, который возможно удалить путем естественной вентиляции, можно определить по формуле

$$V = F \cdot \mu \cdot v \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (13.4)$$

где  $F$  – площадь воздухоотвода, м<sup>2</sup>;

$\mu$  – коэффициент расхода; для открытых проемов или пристворных переплетах, открытых на угол 90°,  $\mu=0,65$ , открытых на угол 45°,  $\mu=0,44$ , открытых на угол 30°,  $\mu=0,32$ ;

$v$  – скорость воздуха, м/с, определяется на основании соотношения для скоростного напора, полученного из уравнения Бернулли

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta H}{\gamma}}, \text{ м/с}, \quad (13.5)$$

где  $\Delta H$  – разность давлений, кг/м<sup>2</sup>.

### 13.2. Задания для самостоятельного решения

1. Определить объем удаляемого и приточного воздуха в помещении, где выделяется 24 кг паров ацетона в 1 час, а также площадь приточных и вытяжных проемов при следующих условиях: нижний предел взрывоопасной концен-

трации  $62,5 \text{ г/м}^3$ ; расстояние между осями нижних и верхних проемов 3 м, нижние и верхние створки открыты на угол  $90^\circ$ ; температура и вес наружного воздуха  $t_n=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_n=1,205 \text{ кг/м}^3$ ; внутреннего  $t_b=29 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_b=1,169 \text{ кг/м}^3$ . ПДК  $200 \text{ мг/м}^3$ .

2. Определить объем удаляемого и приточного воздуха в помещении, где выделяется 30 кг паров бензола в 1 час, а также площадь приточных и вытяжных проемов при следующих условиях: нижний предел взрывоопасной концентрации  $35,6 \text{ г/м}^3$ ; расстояние между осями нижних и верхних проемов 6 м, нижние и верхние створки открыты на угол  $90^\circ$ ; температура и вес наружного воздуха  $t_n=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_n=1,205 \text{ кг/м}^3$ ; внутреннего  $t_b=29 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_b=1,169 \text{ кг/м}^3$ . ПДК  $5 \text{ мг/м}^3$ .

3. Определить объем удаляемого и приточного воздуха в помещении, где выделяется 28 кг паров бензина в 1 час, а также площадь приточных и вытяжных проемов при следующих условиях: нижний предел взрывоопасной концентрации  $28,5 \text{ г/м}^3$ ; расстояние между осями нижних и верхних проемов 3 м, нижние и верхние створки открыты на угол  $45^\circ$ ; температура и вес наружного воздуха  $t_n=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_n=1,205 \text{ кг/м}^3$ ; внутреннего  $t_b=29 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_b=1,169 \text{ кг/м}^3$ . ПДК  $100 \text{ мг/м}^3$ .

4. Определить объем удаляемого и приточного воздуха в помещении, где выделяется 30 кг паров ацетона в 1 час, а также площадь приточных и вытяжных проемов при следующих условиях: нижний предел взрывоопасной концентрации  $62,5 \text{ г/м}^3$ ; расстояние между осями нижних и верхних проемов 6 м, нижние и верхние створки открыты на угол  $45^\circ$ ; температура и вес наружного воздуха  $t_n=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_n=1,205 \text{ кг/м}^3$ ; внутреннего  $t_b=29 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_b=1,169 \text{ кг/м}^3$ . ПДК  $200 \text{ мг/м}^3$ .

5. Определить объем удаляемого и приточного воздуха в помещении, где выделяется 20 кг паров бензола в 1 час, а также площадь приточных и вытяжных проемов при следующих условиях: нижний предел взрывоопасной концентрации  $35,6 \text{ г/м}^3$ ; расстояние между осями нижних и верхних проемов 3 м, нижние и верхние створки открыты на угол  $90^\circ$ ; температура и вес наружного воздуха  $t_n=20 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_n=1,205 \text{ кг/м}^3$ ; внутреннего  $t_b=29 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $\gamma_b=1,169 \text{ кг/м}^3$ . ПДК  $100 \text{ мг/м}^3$ .

## 14. Устойчивость кранов

### 14.1. Общие сведения

«Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» ПБ10-382-00 требуют, чтобы свободно стоящие грузоподъемные краны были устойчивы в рабочем и нерабочем состояниях.

Грузовая и собственная устойчивость крана характеризуется коэффициентами устойчивости, которые должны быть определены расчетом.

Различают следующие коэффициенты устойчивости.

1. *Коэффициенты грузовой устойчивости крана.* Без учета дополнительных нагрузок они определяются как отношение момента, создаваемого весом всех частей крана, к моменту, создаваемому рабочим грузом, относительно того же ребра опрокидывания. При этом кран считается установленным на твердой горизонтальной площадке в безветренной зоне, на крюке подвешен груз для

данного вылета стрелы и никаких движений ни один механизм крана не совершает (рис. 14.1). В этом положении должно соблюдаться условие:

$$K = M_{y\partial}/M_{on} \geq 1,4. \quad (14.1)$$

2. Коэффициенты грузовой устойчивости с учетом дополнительных нагрузок и уклона основания крана. Они определяются как отношение разницы моментов от веса всех частей крана и моментов от дополнительных нагрузок (ветровой, инерционной, центробежной) к моменту, создаваемому рабочим грузом относительно того же ребра опрокидывания. При этом кран считается установленным на твердой наклонной площадке, а наружный ветер направлен в сторону уклона и все механизмы крана одновременно совершают рабочие движения. Эти коэффициенты определяются для двух расчетных положений стрелы:

а) стрела направлена в сторону уклона и перпендикулярна к ребру опрокидывания;

б) стрела направлена в сторону уклона, но расположена под углом  $45^\circ$  к ребру опрокидывания (в плане).

В этих положениях должно соблюдаться условие

$$K_1 = \frac{M_{y\partial} - M_1 - M_2 - M_3 - M_4 - M_5 - M_6 - M_7 - M_8 - M_9}{M_{гр}} \geq 1,5, \quad (14.2)$$

где  $M_{y\partial}$  – удерживающий (восстанавливающий) момент крана,  $кН\cdot м$ ;

$M_1$  – момент центробежной силы, действующей на груз при его вращении относительно оси поворота крана,  $кН\cdot м$ ;

$M_2$  – момент сил инерции груза и стрелы при неустановившемся движении механизма вращения,  $кН\cdot м$ ;

$M_3$  – момент силы инерции груза при неустановившемся движении механизма подъема,  $кН\cdot м$ ;

$M_4$  – момент силы инерции груза при неустановившемся движении механизма передвижения крана,  $кН\cdot м$ ;

$M_5$  – момент силы инерции крана при неустановившемся движении механизма передвижения крана,  $кН\cdot м$ ;

$M_6, M_7$  – моменты сил инерции стрелы и груза при неустановившемся движении механизма изменения вылета соответственно в горизонтальной и вертикальной плоскостях,  $кН\cdot м$ ;

$M_8, M_9$  – моменты сил ветра, действующих соответственно на кран и груз,  $кН\cdot м$ ;

$M_{гр}$  – момент от сил груза,  $кН\cdot м$ .

3. Коэффициенты собственной устойчивости. Определяются как отношение момента удерживающего к моменту опрокидывающему от сил ветра при нера-

бочем состоянии крана. При этом кран установлен на наклонной плоскости в сторону противовесной платформы, стрела поднята в крайнее положение (рис. 14.2):

$$K_2 = M_{уд}/M_{в.н} \geq 1,15 . \quad (14.3)$$

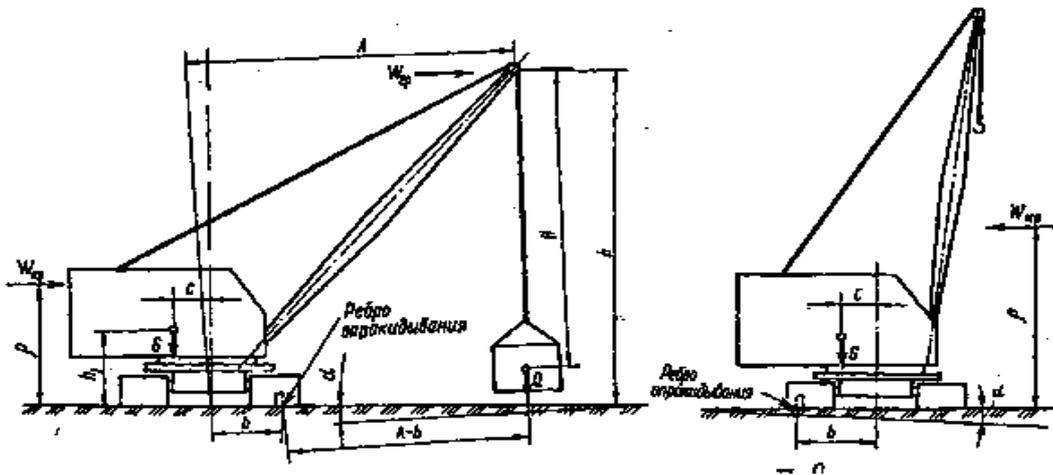


Рис. 14.1. Расчетная схема для определения численных значений коэффициентов грузовой устойчивости

Рис. 14.2. Расчетная схема для определения собственной устойчивости

## 14.2. Пример решения задачи

*Расчеты численных значений коэффициентов устойчивости.*

Коэффициент грузовой устойчивости для первого расчетного положения

$$K = G \cdot (b+c) / Q \cdot (A-b) \geq 1,4 ,$$

где  $G = 500 \text{ кН}$  – вес крана;

$Q = 400 \text{ кН}$  – вес груза;

$b = 1,7 \text{ м}$  – половина колеи крана (расстояние от оси вращения крана до ребра опрокидывания);

$A = 4,5 \text{ м}$  – вылет крана;

$c$  – расстояние от оси вращения крана до центра тяжести крана, м.

Используя данные момента восстанавливающего  $M_0 = 1640 \text{ кН}\cdot\text{м}$  и веса крана  $G = 500 \text{ кН}$ , получим

$$c = (M_0/G) - b = 1640/500 - 1,7 = 1,58 \text{ м}.$$

Тогда

$$K = [500 \cdot (1,7 + 1,58)] / [400 \cdot (4,5 - 1,7)] = 1,46 .$$

Для второго расчетного положения удерживающий момент:

$$а) M_y = G[(b+c) \cdot \cos \alpha_0 - h_1 \cdot \sin \alpha_0] = 500[(1,7+1,58) \cdot 0,998 - 1,7 \cdot 0,05] = 159,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$$б) M_y = 1346 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

$$h_1 = (\sum G_i \cdot h_i) / G = \frac{G_1 \cdot h_H + G_2 \cdot h_2 + G_{II} \cdot h_3}{G} = 180 \cdot 0,8 + 220 \cdot 2,5 + 100 \cdot 1,6 / 500 = 1,7 \text{ м};$$

$$h_H = 0,8 \text{ м}; h_2 = 2,5 \text{ м}; h_3 = 1,6 \text{ м};$$

$\alpha_0 = 3^\circ$  — максимальный угол наклона крана.

Момент сил инерции груза при повороте крана:

$$M_I = (Q \cdot n^2 \cdot A \cdot h) / (900 - n^2 \cdot h) = (400 \cdot 0,4^2 \cdot 4,5 \cdot 16,8) / (900 - 0,4^2 \cdot 16,8) = 5,39 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

где  $Q = 400 \text{ кН}$  — вес груза;

$n = 0,4 \text{ об/мин}$  — частота вращения крана;

$A = 4,5 \text{ м}$  — вылет крана;

$h = L_c \cdot \sin \alpha_0 + h_k = 15 \cdot 0,05 + 2,1 = 2,175 \text{ м};$

$h_k = 2,1 \text{ м}$  — высота корневого шарнира стрелы от опорного контура (принято в масштабе по рис. 14.3).

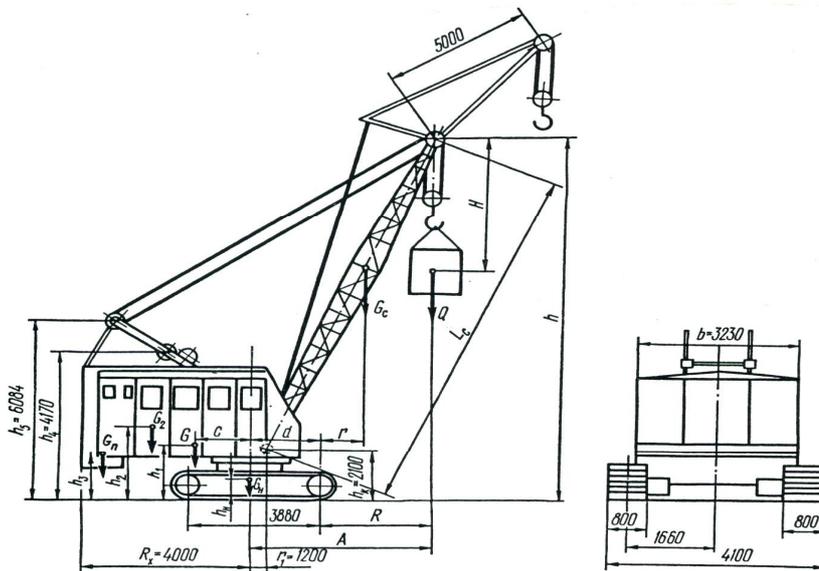


Рис.14.3. Расчетная схема гусеничного крана

$$\alpha_0 = \arcsin (A-b) / L_c = \arcsin(4,5-1,7) / 15 = 79,6^\circ.$$

Момент сил инерции груза и стрелы при повороте крана (учитывается только при расположении стрелы под углом  $45^\circ$  к ребру опрокидывания)

$$M_2 = [66 \cdot (G_{np} + Q) \cdot n \cdot A \cdot h] / (900 - n^2 \cdot H) \cdot t_3 = [66 \cdot (0,85 + 40) \cdot 0,4 \cdot 4,5 \cdot 16,8] / [(900 - 0,4^2 \cdot 14) \cdot 1,4] = 61,69 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$G_{np}$  — приведенная масса стрелы к ее головке,

$$G_{np} = L_c \cdot q_c / 3 = (15 \cdot 0,17) / 3 = 0,85 \text{ т}.$$

$Q = 40 \text{ т}$  — масса груза;

$n = 0,4 \text{ об/мин}$  — частота вращения;

$A = 4,5 \text{ м}$  – вылет груза;

$h = 16,8 \text{ м}$  – высота головки стрелы;

$H$  – расстояние от головки стрелы до центра тяжести груза, принимаем  $H = 14 \text{ м}$  с учетом габарита груза и минимальной высоты подъема;

$t_3 = 1,5$  – время неустановившегося движения механизма вращения.

Момент силы инерции поднимаемого груза:

$$M_3 = \frac{Q \cdot V(A+B)}{t} = \frac{40 \cdot 0,117 \cdot (4,5-1,7)}{0,46} = 28,49 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где  $Q = 40 \text{ т}$ ;

$v = 0,117 \text{ м/с}$  – скорость подъема;

$t = 0,46 \text{ с}$  – время неустановившегося движения механизма подъема;

$A = 4,5 \text{ м}$  – вылет крана, на котором производится подъем груза;

$A = 4,5 \cdot 0,707 = 3,18 \text{ м}$ ;  $b = 1,7$  – расстояние от оси вращения крана до ребра опрокидывания, с учетом, что оно проходит через наружную кромку опорных катков гусеничного хода;

$M_3 = 40 \cdot 0,117 \cdot (3,18-1,7)/0,46 = 15,07 \text{ кН} \cdot \text{м}$  – при расположении стрелы под углом  $45^\circ$ .

Момент силы инерции груза при передвижении крана с грузом  $0,5 \cdot Q$ :

поперек пути  $M_4 = 0$ ;

вдоль пути движения

$$M_4 = \frac{(Q \cdot V_k \cdot H)}{t_k} = 20 \cdot 0,133 \cdot 14 / 0,32 = 11,64 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где  $V_k$  – скорость передвижения крана;

$t_k$  – время неустановившегося движения крана при разгоне;

$H$  – высота подъема груза.

Поскольку кран с максимальным грузом не передвигается, то принимаем для данного расчетного случая  $M_4 = 0$ .

Момент силы инерции крана при передвижении крана

$$M_5 = G \cdot v_k \cdot h_1 / t_k,$$

где  $h_1$  – вертикальная координата центра тяжести крана,  $h_1 = 1,7 \text{ м}$ .

При положении стрелы поперек пути  $M_5 = 0$  по тем же соображениям.

При положении стрелы вдоль пути

$$M_5 = 50 \cdot 0,133 \cdot 1,7 / 0,32 = 35,3 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент сил инерции груза и стрелы при изменении вылета в горизонтальной плоскости

$$M_6 = [(G_{np} + Q) \cdot v_2^1] \cdot h / t_2,$$

в вертикальной плоскости

$$M_7 = \frac{[(G_{np} + Q) \cdot V_2^{11}]}{t_2} \cdot (A - b),$$

где  $G_{np} = 0,85 \text{ т}$  – масса стрелы, приведенная к головке стрелы;

$t_2 = 5,4 \text{ с}$  – время пуска механизма изменения вылета;

$v_2^1, v_2^{11}$  – горизонтальная и вертикальная составляющие скорости перемещения стрелы;

$$v_2^1 = v \cdot \sin \alpha; v_2^{11} = v \cdot \cos \alpha,$$

$$v_2 = 0,188 \text{ м/с};$$

$$v_2^1 = 0,188 \cdot 0,85 = 0,16 \text{ м/с};$$

$$v_2^{11} = 0,188 \cdot 0,22 = 0,04 \text{ м/с};$$

$h_1 = 16,8 \text{ м}$  — высота от основания крана до головки стрелы,

$$h = h_k + L_c \sin \alpha = 2,1 + 15 \cdot 0,85 = 16,8 \text{ м}.$$

Тогда

$$M_6 = [(0,85 + 40) \cdot 0,16 \cdot 16,8] / 5,4 = 20,334 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_7 = (0,85 + 40) \cdot 0,04 \cdot (4,5 - 1,7) / 5,4 = 0,85 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_7 = [(0,85 + 40) \cdot 0,04 \cdot (3,18 - 1,7)] / 5,4 = 0,45 \text{ кН} \cdot \text{м} - \text{стрела под углом } 45^\circ.$$

Момент сил ветра, действующий на кран для всех положений,

$$M_8 = \Sigma W_i \cdot \rho_i = W_c \cdot \rho_1 + W_{кр} \cdot \rho_2,$$

где  $W_c \cdot \rho_1 = L_c \cdot b_c \cdot \varphi_c \cdot \cos \alpha_{\max} \cdot q \cdot k \cdot c \cdot n (L_c / 2 \cdot \sin \alpha_{\max} + h_k) =$

$$= 15 \cdot 1,3 \cdot 0,3 \cdot 0,22 \cdot 0,125 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot ((15/2) \cdot 0,85 + 2,1) = 2,05 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$W_{кр} \cdot \rho_2 = h_{кр} \cdot b_{кр} \cdot q \cdot k \cdot c \cdot n \cdot h_{кр} / 2 = 4 \cdot 3,23 \cdot 0,125 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 4 / 2 = 4,85 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Тогда

$$M_8 = 2,05 + 4,85 = 6,9 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент сил ветра на груз:

$$M_9 = F_{гр} \cdot q \cdot k \cdot n \cdot h = 22 \cdot 0,125 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 16,8 = 69,3 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$\text{Момент от груза: } M_{zp} = Q \cdot (A - b) = 400 \cdot (4,5 - 1,7) = 1120 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Момент от груза при расположении стрелы под  $45^\circ$  к ребру опрокидывания  $M_{гр} = Q \cdot (A \cos 45^\circ - b) = 400 \cdot (4,5 \cdot 0,707 - 1,7) = 593 \text{ кН} \cdot \text{м}.$

Тогда коэффициент грузовой устойчивости крана:

$$- \text{поперек пути } K_1 = (1594 - 5,39 - 28,49 - 20,33 - 0,85 - 6,9 - 69,3) / 1120 = 1,3;$$

- при расположении стрелы под  $45^\circ$  к ребру опрокидывания

$$K_1 = (1346 - 5,39 - 61,69 - 15,07 - 20,33 - 0,45 - 6,9 - 69,3) / 593 = 1,97.$$

Аналогично определяются коэффициенты грузовой устойчивости для других расчетных положений.

### *Определение коэффициентов собственной устойчивости*

Учитывая, что кран может быть оборудован стрелами различной длины, определим величину коэффициента собственной устойчивости, когда кран оборудован стрелой максимальной длины  $L_c = 35 \text{ м}$ . Принимаем, что стрела находится в крайнем верхнем положении и имеет ограничительные упоры от запрокидывания. Определим массу стрелы:

$$G_c = L_c \cdot q_c = 35 \cdot 0,17 = 5,95 \text{ т}.$$

Минимальный вылет стрелы  $A_{\min} = 10,5 \text{ м}$ . Определяем момент удержи-

вающий:

$$M_{уд} = G \cdot [(b-c) \cdot \cos \alpha_0 - h_1 \cdot \sin \alpha_0] + G_c \cdot (b + (L_c/2) \cdot \cos \alpha) =$$
$$500 \cdot [(1,7 - 1,58) \cdot 0,998 - 1,7 \cdot 0,05] + 59,5 \cdot [1,7 + 35 \cdot (10,5 - 1,7) / 2 \cdot 35] = 380,33 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

где  $\cos \alpha_{\max} = (A_{\min} - b) / L_c$ .

Определяем момент, опрокидывающий от сил ветра при нерабочем состоянии крана:

$$M_{опр} = L_c \cdot b_c \cdot \varphi_c \cdot \cos \alpha_{\max} \cdot q_H \cdot k \cdot c \cdot n \cdot (l_k + (L_c/2) \cdot \cos \alpha_{\max}) =$$
$$35 \cdot 1,3 \cdot 0,3 \cdot [(10,5 - 1,7) / 35] \cdot 0,85 \cdot 1,25 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot (2,1 + 35 \cdot (10,5 - 1,7) / 35 \cdot 2) = 28,3 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Тогда  $K_2 = 380,33 / 28,3 = 13,4$ .

Проведенные расчеты показывают, что коэффициенты устойчивости удовлетворяют требованиям «Правилам и устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов».

### 14.3. Задания для самостоятельного решения

1. Проверить грузовую устойчивость крана вес которого 250 кН, вес груза 150 кН, ширина колеи 2,8 м, вылет стрелы 6 м, расстояние от оси вращения крана до его центра тяжести 1,5 м. Частота вращения составляет 0,15 об/мин, скорость вращения 0,12 м/с, угол наклона пути  $\alpha = 2^\circ$ . Недостающие параметры принять самостоятельно.

2. Определить собственную устойчивость крана, вес которого 550 кН, вес поднимаемого груза 400 кН, максимальный вылет стрелы 15 м, вылет крюка от оси вращения  $A = R + b = 12$  м; от ребра опрокидывания  $R = L_c \cdot \cos \alpha - d = 10,3$  м.

$$\cos \alpha = \frac{A - r_1}{L_c} = 0,72. \text{ Недостающие параметры принять самостоятельно.}$$

3. Проверить грузовую устойчивость крана, вес которого 400 кН. Высота подъема груза весом 250 кН составляет  $H = 25$  м. Линейные размеры крана принять самостоятельно.

4. Проверить собственную устойчивость крана, вес которого 400 кН. Максимальный вылет стрелы крана составляет 35 м. Ветровой напор принять соответственно для VI ветрового района. Необходимые параметры для проведения расчета принять самостоятельно.

5. Выбрать кран для установки в вертикальное положение технологического оборудования массой  $Q = 54$  т, высотой 11 м, диаметром  $D_0 = 3$  м. Расстояние от центра тяжести до основания 5,5 м. Высота основания под технологическим оборудованием  $h_{\text{фунд}} = 0,3$  м.

## 15. Определение потребного воздухообмена

### 15.1. Общие сведения

От испытываемых двигателей 85 % выхлопных газов отводятся местным отсосом наружу, а 15 % - остаются в помещении.

Содержание оксида углерода, выделяющегося при работе двигателя:

$$C_{\text{co}} = 15 \cdot Q_T \cdot \frac{m}{100} \cdot \frac{T}{60}, \text{ кг/ч}, \quad (15.1)$$

где  $Q_T$  – расход топлива одним двигателем, кг/ч;

$m$  – массовое содержание в отработанных газах окиси углерода (при испытании на стенде принимается 3 %);

$T$  – время работы двигателя, мин.

Расход топлива определяется по формуле:

$$Q_T = (0,6 + 0,8)V_h, \text{ кг/ч}, \quad (15.2)$$

где  $V_h$  – рабочий объём цилиндра двигателя, л.

Воздухообмен или объем воздуха, необходимый для растворения в помещении окиси углерода до предельно допустимой концентрации, определяется по формуле

$$L = \frac{G_n}{q_{\text{пдк}}}, \text{ м}^3 / \text{ч}, \quad (15.3)$$

где  $q_{\text{пдк}}$  – предельно допустимая концентрация оксида углерода, мг/м<sup>3</sup>.

## 15.2. Задания для самостоятельного решения

1. В помещении испытательной станции ремонтного завода испытывают 7 двигателей внутреннего сгорания. Рабочий объём цилиндров 6 л. Время работы двигателей 60 мин. Определить воздухообмен, необходимый для разбавления оксида углерода, содержащегося в отработанных газах.

2. В помещении испытательной станции ремонтного завода испытывают 9 двигателей внутреннего сгорания. Рабочий объём цилиндров 5 л. Время работы двигателей 60 мин. Определить воздухообмен, необходимый для разбавления оксида углерода, содержащегося в отработанных газах.

3. В помещении испытательной станции ремонтного завода испытывают 9 двигателей внутреннего сгорания. Рабочий объём цилиндров 4 л. Время работы двигателей 60 мин. Определить воздухообмен, необходимый для разбавления оксида углерода, содержащегося в отработанных газах.

4. В помещении испытательной станции ремонтного завода испытывают 9 двигателей внутреннего сгорания. Рабочий объём цилиндров 3 л. Время работы двигателей 45 мин. Определить воздухообмен, необходимый для разбавления оксида углерода, содержащегося в отработанных газах.

5. В помещении испытательной станции ремонтного завода испытывают 7 двигателей внутреннего сгорания. Рабочий объём цилиндров 2 л. Время работы двигателей 45 мин. Определить воздухообмен, необходимый для разбавления оксида углерода, содержащегося в отработанных газах.

## 16. Прогнозирование глубины зон заражения сильнодействующих ядовитых веществ

### 16.1. Общие сведения

Неблагоприятная химическая обстановка может сложиться на определенной территории при авариях технологического оборудования, при транспортировке сильнодействующих ядовитых веществ (СДЯВ) железнодорожным, трубопроводным и другими видами транспорта, а также в случаях разрушения химически опасных объектов (ХОО).

Масштабы заражения СДЯВ в зависимости от их физических свойств и агрегатного состояния рассчитывают по первичному и вторичному облаку.

Количественные характеристики выброса СДЯВ для расчета масштабов заражения определяют по их эквивалентным значениям.

Эквивалентные количества вещества по первичному облаку (в тоннах) определяются по формуле

$$Q_{\text{э1}} = k_1 \cdot k_3 \cdot k_5 \cdot k_7 Q_0, \text{ т}, \quad (16.1)$$

где  $k_1$  – коэффициент, зависящий от условия хранения СДЯВ, определяющийся по табл. 1.1 (для сжатых газов  $k_1=1$ ).

Таблица 1.1

*Характеристика СДЯВ и вспомогательные коэффициенты для определения глубины зоны заражения*

Наименование СДЯВ	Плотность СДЯВ, т/м <sup>3</sup>		Температура кипения, °С	Поражающая токсодоза, П	Значение вспомогательных коэффициентов							
	газ	жидкость			$k_1$	$k_2$	$k_3$	Значение $k_7$ для температуры воздуха, °С				
								-40	-20	0	20	40
Аммиак, хранимый под давлением	0,0008	0,681	-33,42	15	0,18	0,025	0,04	0/ 0,9	0,3/ 1	0,6/1	1/1	1,4/1
Аммиак при изотермическом хранении	-	0,681	-33,42	15	0,01	0,025	0,04	0/ 0,9	1/1	1/1	1/1	1/1
Водород хлористый	0,0016	1,191	-85,10	2	0,28	0,037	0,30	0,64/1	0,6/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Сернистый ангидрид	0,0029	1,462	-10,1	1,8	0,11	0,049	0,333	0/ 0,2	0/ 0,5	0,3/1	1/1	1,7/1

Окончание табл. 16.1

Наименование СДЯВ	Плотность СДЯВ, т/м <sup>3</sup>		Температура кипения, °С	Поражающая токсодоза, П	Значение вспомогательных коэффициентов							
	газ	жидкость			$k_1$	$k_2$	$k_3$	Значение $k_7$ для температуры воздуха, °С				
								-40	-20	0	20	40
Сероводород	0,0015	0,964	-60,35	16,1	0,27	0,042	0,036	0,3/1	0,5/1	0,8/1	1/1	1,2/1
Соляная кислота	-	1,198	-	2	0	0,021	0,30	0	0,1	0,3	1	1,6
Хлор	0,0032	1,553	-34,1	0,6	0,18	0,052	1,0	0/0,9	0,3/1	0,6/1	0,6/1	1,4/1
Фосген	0,0035	1,432	8,2	0,6	0,05	0,061	1,0	0/0,1	0/0,3	0/0,7	1/1	2,7/1

Примечание: для  $k_7$  в числителе приведены значения для первичного облака, а в знаменателе для вторичного.

При определении величины  $Q_{з1}$  для сжиженных газов, не вошедших в табл. 16.1, значение коэффициента  $k_1$  рассчитывается по соотношению

$$k_1 = \frac{C_p \Delta T}{H_{исп}}, \quad (16.2)$$

где  $C_p$  – удельная теплоемкость жидкого СДЯВ при температуре испарения, кДж/кг·град;

$\Delta T$  – разность температур жидкого СДЯВ до и после разрушения емкости, °С;

$H_{исп}$  – удельная теплота испарения жидкого СДЯВ при температуре испарения, кДж/кг.

$k_3$  – коэффициент, равный отношению поражающей токсодозы хлора к поражающей токсодозе другого СДЯВ (табл. 16.1);

$k_5$  – коэффициент, учитывающий степень вертикальной устойчивости воздуха (принимается равным при инверсии – 1; изотермии – 0,23; конвекции – 0,08)

$k_7$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры воздуха, по табл. 16.1 (для сжатых газов  $k_7=1$ );

$Q_0$  – количество выброшенного (разлившегося) при аварии вещества, т.

**Инверсия** – состояние атмосферы, при котором восходящие потоки воздуха отсутствуют, а температура почвы ниже температуры воздуха. Наблюдается обычно ночью при ясной погоде и слабом ветре.

**Конвекция** – состояние атмосферы, при котором сильно развиты восходящие потоки воздуха, а температура поверхности почвы выше температуры воздуха. Возникает при ясной погоде, малых (до 4 м/с) скоростях ветра.

**Изотермия** – состояние атмосферы, при котором восходящие потоки воздуха очень слабы, а температура почвы равна температуре воздуха. Наблюдается в любое время суток при пасмурной погоде или ветре более 4 м/с.

Количество выброшенного (выделившегося) вещества определяется по объему разрушившейся емкости или секции трубопровода, находящихся между двумя автоматическими задвижками.

При авариях на хранилищах сжатого газа величина  $Q_0$  рассчитывается по формуле

$$Q_0 = d \cdot V_x, \text{ Т}, \quad (16.3)$$

где  $d$  – плотность СДЯВ (по табл. 16.1), т/м<sup>3</sup>;

$V_x$  – объем хранилища, м<sup>3</sup>.

При аварии на газопроводе, величина  $Q_0$  рассчитывается по формуле

$$Q_0 = \frac{n \cdot d \cdot V_{\Gamma}}{100}, \text{ Т}, \quad (16.4)$$

где  $n$  – процентное содержание СДЯВ в природном газе, %;

$d$  – плотность СДЯВ (по табл. 16.1), т/м<sup>3</sup>;

$V_{\Gamma}$  – объем секции газопровода между автоматическими отсекающими, м<sup>3</sup>.

Эквивалентное количество по вторичному облаку рассчитывают по формуле

$$Q_{э2} = (1 - k_1) \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \cdot k_7 \cdot \frac{Q_0}{h \cdot d}, \quad (16.5)$$

где  $k_2$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств СДЯВ, табл. 16.1;

$k_4$  – коэффициент, зависящий от скорости ветра, табл. 16.2;

$k_6$  – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после начала аварии ( $N$ ).

Таблица 16.2

*Значение коэффициента  $k_4$  в зависимости от скорости ветра*

Скорость ветра, м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$k_4$	1	1,33	1,67	2,0	2,34	2,67	3,0	3,34	3,67	4,0

Значение коэффициента  $k_6$  определяется после расчета продолжительности  $T$  (ч) испарения вещества:

$$k_6 = \begin{cases} N^{0,8} & \text{при } N < T; \\ T^{0,8} & \text{при } N \geq T. \end{cases} \quad (16.6)$$

при  $T < 1$  ч  $k_6$  принимается для 1 ч.

Продолжительность испарения вещества  $T$ :

$$T = \frac{h \cdot d}{k_2 \cdot k_4 \cdot k_7}, \quad (16.7)$$

где  $d$  – плотность СДЯВ, табл. 16.1, т/м<sup>3</sup>;

$h$  – толщина слоя свободно разлившейся жидкости (высота столба испарения) составляет 0,05 м.

Расчет глубины зон заражения первичным (вторичным) облаком СДЯВ при авариях на технологических емкостях, хранилищах и транспорте, ведут с помощью табл. 16.3.

Таблица 16.3

*Глубина зоны заражения, км*

Скорость ветра, м/с	Эквивалентная масса СДЯВ, т												
	0,01	0,1	0,5	1	3	5	10	20	30	50	70	100	300
1	0,38	1,25	3,16	4,75	9,18	12,53	19,20	29,56	38,13	52,67	65,73	81,91	166
2	0,26	0,84	1,92	2,84	5,35	7,20	10,85	16,44	21,02	28,73	35,35	44,09	87,79
3	0,22	0,68	1,83	2,17	3,99	5,34	7,96	11,94	15,18	20,59	25,21	31,30	61,47
4	0,19	0,59	1,33	1,88	3,28	4,36	6,46	9,62	12,18	16,43	20,05	24,80	48,18
5	0,17	0,53	1,19	1,68	2,91	3,75	5,53	8,19	10,33	13,88	16,89	20,82	40,4
6	0,15	0,48	1,09	1,53	2,66	3,43	4,88	7,20	9,06	12,14	14,79	18,13	34,07
7	0,14	0,45	1,00	1,42	2,46	3,17	4,49	6,48	8,14	10,87	13,17	16,17	30,73
8	0,13	0,42	0,94	1,33	2,30	2,97	4,20	5,92	7,42	9,90	11,98	14,68	27,75
9	0,12	0,40	0,88	1,25	2,17	2,80	3,96	5,60	6,86	9,12	11,03	13,50	27,39
10 и >	0,12	0,31	0,69	0,97	1,68	2,17	3,07	4,34	5,31	6,86	8,11	9,70	17,60

Примечание: при скорости ветра менее 1 м/с размеры зон заражения принимают как при скорости ветра 1 м/с.

В табл. 16.3 приведены максимальные значения зон заражения первичным ( $\Gamma_1$ ) или вторичным ( $\Gamma_2$ ) облаком, определяемые в зависимости от эквивалентного количества вещества и скорости ветра. Полную глубину зоны заражения ( $\Gamma$ ) в км, обусловленную воздействием первичного и вторичного облаков СДЯВ, определяют:

$$\Gamma = \Gamma' + 0,5\Gamma'', \quad (16.8)$$

где  $\Gamma'$  – наибольший размер  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ ;

$\Gamma''$  – наименьший из размеров  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_2$ .

## 16.2. Задания для самостоятельного решения

1. На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с жидким аммиаком, находящимся под давлением. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось 160 т аммиака. Определить глубину возможного заражения аммиаком при времени от начала аварии  $N = 4$  ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 5 м/с, температура воздуха + 10 °С, инверсия.

2. На химическом предприятии произошла авария в хранилище, содержащем сжатый водород. Количество выброшенного газа не установлено. Известно, что в хранилище содержалось 2000 м<sup>3</sup> водорода. Определить глубину возможного заражения водородом при времени от начала аварии  $N = 3$  ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 4 м/с, температура воздуха + 5 °С, изотермия.

3. На химическом предприятии произошла авария на газопроводе с сероводородом, находящимся под давлением. Количество выброшенного из трубопровода газа не установлено. Известно, что объем секции газопровода составляет 150 тыс. м<sup>3</sup>. Процентное содержание СДЯВ в природном газе 0,05%. Определить глубину возможного заражения сероводородом при времени от начала аварии  $N = 2$  ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 4 м/с, температура воздуха 0 °С, инверсия.

4. На химическом предприятии произошла авария на газопроводе с фосгеном, находящимся под давлением. Известно, что в технологической системе содержалось 2 т фосгена, который был полностью выброшен из системы. Определить глубину возможного заражения фосгеном при времени от начала аварии  $N = 1$  ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 3 м/с, температура воздуха -10 °С, изотермия.

5. На химическом предприятии произошла авария на технологическом трубопроводе с соляной кислотой. Количество вытекшей из трубопровода жидкости не установлено. Известно, что в технологической системе содержалось 50 т соляной кислоты. Определить глубину возможного заражения соляной кислотой при времени от начала аварии  $N = 3$  ч и продолжительность действия источника заражения. Метеоусловия на момент аварии: скорость ветра 2 м/с, температура воздуха 0 °С, изотермия.

## 17. Определение глубины и площади зоны заражения при разрушении химически опасного объекта (ХОО)

### 17.1. Общие сведения

В случае разрушения ХОО при прогнозировании глубины заражения рекомендуется брать данные на одновременный выброс суммарного запаса СДЯВ на объекте и следующие метеорологические условия: инверсия, скорость ветра 1м/с.

Эквивалентное количество СДЯВ в облаке зараженного воздуха определяют аналогично рассмотренному в задаче 16 методу для вторичного облака при свободном разливе. При этом суммарное эквивалентное количество  $Q_3$  рассчитывают по формуле

$$Q_3 = 20 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \sum_{i=1}^n k_{2i} \cdot k_{3i} \cdot k_{6i} \cdot k_{7i} \frac{Q_i}{d_i}, \text{ т}, \quad (17.1)$$

где  $k_{2i}$  – коэффициент, зависящий от физико-химических свойств  $i$ -го СДЯВ (табл. 16.1, задача 16);

$k_{3i}$  – коэффициент, равный отношению поражающей токсодозы хлора к поражающей токсодозе  $i$ -го СДЯВ (табл. 16.1, задача 16);

$k_{6i}$  – коэффициент, зависящий от времени, прошедшего после разрушения объекта (задача 16);

$k_{7i}$  – поправка на температуру для  $i$ -го СДЯВ (табл.16.1, задача 16);

$Q_i$  – запасы  $i$ -го СДЯВ на объекте, т;

$d_i$  – плотность  $i$ -го СДЯВ (табл. 16.1, задача 16).

Площадь зоны возможного заражения для первичного (вторичного) облака СДЯВ определяется по формуле

$$S_B = 8,72 \cdot 10^{-3} \Gamma^2 j, \quad (17.2)$$

где  $S_B$  – площадь зоны возможного заражения СДЯВ, км<sup>2</sup>;

$\Gamma$  – глубина зоны заражения, км;

$j$  – угловые размеры зоны возможного заражения, ... ° (табл. 17.1).

Таблица 17.1

*Угловые размеры зоны возможного заражения СДЯВ в зависимости от скорости ветра*

$u, \text{ м/с}$	< 0,5	0,6-1	1,1-2	>2
$j, ^\circ$	360	180	90	45

Площадь зоны фактического заражения  $S_\phi$  (км<sup>2</sup>) рассчитывается по формуле

$$S_\phi = k_8 \Gamma^2 N^{0,2}, \quad (17.3)$$

где  $k_8$  – коэффициент, зависящий от степени вертикальной устойчивости воздуха, принимается равным: 0,081 при инверсии; 0,133 при изотермии; 0,235 при конвекции;

$N$  – время, прошедшее после начала аварии, ч.

## 17.2. Задания для самостоятельного решения

1. На ХОО сосредоточены запасы жидкостей: аммиака 80 т и фосгена 15 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта 1 ч, температура воздуха +20 °С.

2. На ХОО имеются запасы жидкостей: водорода 5 т и сероводорода 50 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта 2 ч, температура воздуха 0 °С.

3. На промышленном предприятии имеются запасы жидкостей: сернистого ангидрида 200 т и хлора 30 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта 3 ч, температура воздуха 0 °С.

4. На химическом предприятии сосредоточены запасы СДЯВ, в том числе жидкостей: хлора 100 т и аммиака 300 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта 4 ч, температура воздуха +10 °С.

5. На ХОО сосредоточены запасы СДЯВ, в том числе жидкостей: соляной кислоты 50 т и хлора 30 т. Определить глубину и площадь зоны заражения в случае разрушения объекта. Время, прошедшее после разрушения объекта 5 ч, температура воздуха 0 °С.

## 18. Взрыв газовоздушных смесей в открытом пространстве

### 18.1. Общие сведения

При взрыве газовоздушных смесей различают две зоны действия: детонационной волны – в пределах облака газовоздушных смесей (ГВС) и воздушной ударной волны – за пределами облака ГВС. В зоне облака действует детонационная волна, избыточное давление во фронте которой принимается приблизительно равным  $\Delta P_d = 17 \text{ кгс/см}^2$  (1,7 МПа).

В расчетах принимают, что зона действия детонационной волны ограничена радиусом  $r_0$ , который определяется из допущения, что газовоздушные смеси после разрушения емкости образуют в открытом пространстве полусферическое облако. Объем полусферического облака может быть определен по формуле

$$V = \frac{2}{3} \pi \cdot r_0^3, \text{ м}^3. \quad (18.1)$$

Учитывая, что киломоль идеального газа при нормальных условиях занимает 22,4 м<sup>3</sup>, объем образовавшейся ГВС при аварийной ситуации составит:

$$V = \frac{22,4 \cdot k \cdot Q \cdot 100}{m_k \cdot C}, \text{ м}^3, \quad (3.2)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий долю активного газа (долю продукта, участвующего во взрыве);

$Q$  – количество сжиженных углеводородных газов в хранилище до взрыва, кг;

$C$  – стехиометрическая концентрация газа в % по объему (табл. 18.1);

$m_k$  – молярная масса газа кг/кмоль.

Таблица 18.1

*Характеристики газовой смеси*

Вещество, характеризующее смесь	Характеристики смеси			
	$m_k$ , кг/моль	$\rho_{стх}$ , кг/м <sup>3</sup>	$Q_{стх}$ , МДж/кг	$C$
Аммиак	15	1,180	2,370	19,72
Ацетилен	26	1,278	3,387	7,75
Бутан	58	1,328	2,775	3,13
Водород	2	0,933	3,425	29,59
Метан	16	1,232	2,763	9,45
Оксид углерода	28	1,280	2,930	29,59
Этилен	28	1,285	3,810	6,54

Из условия равенства полусферы и объема образовавшейся смеси получим:

$$r_0 \approx 10^3 \sqrt{\frac{Q \cdot k}{m_k \cdot C}}, \text{ м.} \quad (18.3)$$

Значение коэффициента  $k$  принимают в зависимости от способа хранения продукта:

$k=1$  – для резервуаров с газообразным веществом;

$k=0,6$  – для газов, сжиженных под давлением;

$k=0,1$  – для газов, сжиженных охлаждением;

$k=0,05$  – при аварийном разливе легко воспламеняющихся жидкостей.

Зона действия воздушной ударной волны (ВУВ) начинается сразу за внешней границей облака ГВС. Давление во фронте ударной волны  $\Delta P_\phi$  зависит от расстояния до центра взрыва и определяется с использованием данных табл. 18.2, исходя из соотношения

$$\Delta P_\phi = f\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad (18.4)$$

где  $r$  – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки.

Таблица 18.2

*Значение давления во фронте ударной волны*

$r/r_0$	0-1	1,01	1,04	1,08	1,2	1,4	1,8	2,7	3	4	5	6	8	12
$\Delta P_\phi$ , кПа	1700	1232	814	568	400	300	200	100	80	50	40	30	20	10

Степень разрушения объектов определяется в зависимости от давления ударной волны по табл. 18.3.

Таблица 18.3

*Степень разрушения объектов*

Здания и сооружения	Давление ударной волны, кПа					
	200-1000	100-200	50-100	30-50	20-30	10-20
Жилые, производственные здания антисейсмической конструкции	а	б	в	г	д	-
Промышленные здания			а	б	в	в, г
Малоэтажные каменные			а	б	в	г, д
Деревянные					а	а, б
Электростанции				а, б	в	г
Наземные трубопроводы		а, б	б, в	в, г	г	д
Водонапорные башни			а, б	б, в	в	г
Воздушные линии электропередач		а	б	в	г	г, д
Воздушные линии связей			а, б	б	в	г, д
Металлические мосты пролетом: до 45 м 100-150 м	а, б	б, в а, б	г в	д г, д		
Железобетонные мосты пролетом до: 10 м 20-25 м		а, б а, б	в, г б, г	д д		
Автомобильные дороги	в, г					
Грузовые автомобили			а	б	в, г	г, д

Примечание: а – полные разрушения, б – сильные разрушения, в – средние разрушения, г – слабые разрушения, д – повреждения.

## 18.2. Задания для самостоятельного решения

1. При разрушении резервуара с аммиаком сжиженным охлаждением произошел взрыв облака ГВС. Количество аммиака  $Q = 10$  т. Определить давление ударной волны и степень разрушения малоэтажного каменного здания, находящегося на расстоянии  $r = 100$  м от центра взрыва.

2. При разрушении резервуара с бутаном (газ) произошел взрыв. Количество бутана  $Q = 25$  т. Определить давление ударной волны и степень разрушения электростанции, находящейся на расстоянии  $r = 250$  м от центра взрыва.

3. При разрушении резервуара с водородом, сжиженным под давлением, произошел взрыв облака ГВС. Количество водорода  $Q = 15$  т. Определить давление ударной волны и степень разрушения водонапорной башни, находящейся на расстоянии  $r = 400$  м от центра взрыва.

4. При разрушении резервуара с метаном (газ) произошел взрыв облака ГВС. Количество метана  $Q = 30$  т. Определить давление ударной волны и степень разрушения металлического моста пролетом 120 м, находящегося на расстоянии  $r = 300$  м от центра взрыва.

5. При разрушении резервуара с ацетиленом, сжиженным охлаждением - произошел взрыв облака ГВС. Количество ацетилена  $Q = 18$  т. Определить давление ударной волны и степень разрушения воздушных линий электропередач, находящихся на расстоянии  $r = 100$  м от центра взрыва.

## **19. Взрывы газопаровоздушных смесей в производственных помещениях**

### **19.1. Общие сведения**

Аварии с взрывом могут произойти на пожаровзрывоопасных объектах. К пожаровзрывоопасным объектам относятся объекты, на территории или в помещениях которых находятся (обращаются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости и горючие пыли в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные горючие смеси, при горении которых избыточное давление в помещении может превысить 5 кПа.

Последствия взрыва на пожаровзрывоопасных предприятиях определяются в зависимости от условия размещения взрывоопасных продуктов. Если продукты размещаются вне помещений, то принимается, что авария развивается по сценарию взрыва в открытом пространстве.

Если технологический аппарат с взрывоопасными продуктами размещен в зданиях, то авария развивается по сценарию взрыва в замкнутом объеме.

Кратко рассмотрим модели воздействия, позволяющие определить поля давлений при прогнозировании последствий взрывов в производственных помещениях. Наиболее типичными аварийными ситуациями в этом случае считаются:

- разрушение аппарата или трубопровода со смешанными газами или жидкостями;
- потеря герметичности трубопроводов (разрыв сварного шва, прокладки, отрыв штуцера);
- разлив жидкостей по полу помещения или по рельефу местности;
- образование или выброс горючей пыли.

В этом случае газо-, паро-, пылевоздушная смесь займет частично или полностью весь объем помещения. Затем этот объем заменяется расчетной сферой (в отличие от полусферы в открытом пространстве), радиус которой определяется с учетом объема помещения, типа и массы опасной смеси. При прогнози-

ровании последствий считают, что процесс в помещении развивается в режиме детонации.

При взрыве газопаровоздушных смесей (ГПВС) зону детонационной волны, ограниченную радиусом  $r_0$ , можно определить по формуле

$$r_0 = \frac{1}{24} \sqrt[3]{\mathcal{E}}, \text{ м}, \quad (19.1)$$

где  $\frac{1}{24}$  – коэффициент, м/кДж<sup>1/3</sup>;

$\mathcal{E}$  – энергия взрыва смеси, определяемая из выражения:

$$\mathcal{E} = V_{\text{ГПВС}} \cdot \rho_{\text{СТХ}} \cdot Q_{\text{СТХ}}, \text{ кДж}, \quad (19.2)$$

где  $V_{\text{ГПВС}}$  – объем смеси, равный

$$V_{\text{ГПВС}} = 100 \frac{V_{\text{Г}}}{C_{\text{э}}}, \text{ м}^3, \quad (19.3)$$

где  $V_{\text{Г}}$  – объем газа в помещении, м<sup>3</sup>;

$C$  – стехиометрическая концентрация горючего по объему, %, (табл. 19.1);

$\rho_{\text{СТХ}}$  – плотность смеси стехиометрического состава, кг/м<sup>3</sup> (табл. 19.1);

$Q_{\text{СТХ}}$  – энергия взрывчатого превращения единицы массы смеси стехиометрического состава, МДж/кг (табл. 19.1).

Таблица 19.1

*Характеристика газопаровоздушных смесей*

Вещество, характеризующее смесь	Формула вещества, образующего смесь	Характеристики смеси			
		$m_k$ , кг/моль	$\rho_{\text{СТХ}}$ , кг/м <sup>3</sup>	$Q_{\text{СТХ}}$ , МДж/кг	$C$
Газовоздушные смеси					
Аммиак	CH <sub>3</sub>	15	1,180	2,370	19,72
Ацетилен	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26	1,278	3,387	7,75
Бутан	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58	1,328	2,775	3,13
Водород	H <sub>2</sub>	2	0,933	3,425	29,59
Метан	CH <sub>4</sub>	16	1,232	2,763	9,45
Оксид углерода	CO	28	1,280	2,930	29,59
Этилен	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28	1,285	3,810	6,54
Паровоздушные смеси					
Ацетон	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O	58	1,210	3,112	4,99
Бензин авиационный	-	94	1,350	2,973	2,10
Бензол	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78	1,350	2,937	2,84
Гексан	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86	1,340	2,797	2,16
Ксилол	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub>	106	1,355	2,830	1,96

Толуол	$C_7H_8$	92	1,350	2,843	2,23
--------	----------	----	-------	-------	------

Для оперативного прогнозирования последствий взрыва в производственных помещениях расчеты целесообразно проводить для случая, при котором будут максимальные разрушения, т.е. когда свободный объем помещения  $V_0$ , где расположены емкости с газом, будет полностью заполнен взрывоопасной смесью стехиометрического состава.

Свободный объем помещений равен:

$$V_0 = 0,8 \cdot V_n, \text{ м}^3, \quad (19.4)$$

где  $V_n$  – объем помещения,  $\text{м}^3$ .

При  $V_{\text{гпвс}} > V_0$  объем смеси  $V_{\text{гпвс}}$  принимают равным  $V_0$ .

Тогда уравнение (19.2) по определению энергии взрыва можно записать в виде

$$\mathcal{E} = \frac{100 \cdot V_0 \cdot \rho_{\text{стх}} \cdot Q_{\text{стх}}}{C}, \text{ кДж.} \quad (19.5)$$

Далее принимается, что за пределами зоны детонационной волны с давлением  $17 \text{ кгс/см}^2$  действует воздушная ударная волна, давление во фронте которой определяется с использованием данных табл. 18.2 (задача 18) исходя из соотношения

$$\Delta P_\phi = f\left(\frac{r}{r_0}\right), \quad (19.6)$$

где  $r$  – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки.

Степень разрушения объектов определяется в зависимости от давления ударной волны по табл. 18.3 (задача 18).

## 19.2. Задания для самостоятельного решения

1. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв аммиака. Объем помещения  $2520 \text{ м}^3$ , объем газа в помещении  $500 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на воздушные линии электропередач, находящиеся на расстоянии  $70 \text{ м}$  от контура помещения.

2. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв метана. Объем помещения  $15000 \text{ м}^3$ , объем газа в помещении  $1100 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на металлический мост пролетом  $120 \text{ м}$ , находящийся на расстоянии  $50 \text{ м}$  от контура помещения.

3. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв бензола. Объем помещения  $20000 \text{ м}^3$ , объем газа в помещении  $450 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на промышленное здание, находящееся на расстоянии  $150 \text{ м}$  от контура помещения.

4. При разгерметизации технологического блока внутри производственного помещения произошел взрыв ксилола. Объем помещения 12250 м<sup>3</sup>, объем газа в помещении 200 м<sup>3</sup>. Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на грузовой автомобиль, находящийся на расстоянии 150 м от контура помещения.

5. При разгерметизации технологического оборудования внутри производственного помещения произошел взрыв бензола. Объем помещения 22340 м<sup>3</sup>, объем газа в помещении 600 м<sup>3</sup>. Определить давление ударной волны при разрушении ограждающих конструкций и его воздействие на наземный трубопровод, находящийся на расстоянии 600 м от контура помещения.

## 20. Взрывы пылевоздушных смесей

### 20.1. Общие сведения

При нарушении герметичности технологических аппаратов пыль выбрасывается в помещение, где вместе с накопившейся пылью смешивается с воздухом, образуя пылевоздушную смесь (ПВС), способную гореть. Искровой разряд приводит к взрывному горению смеси.

Энергия взрыва определяется из выражения

$$\mathcal{E} = m \cdot Q, \text{ кДж}, \quad (20.1)$$

где  $Q$  – удельная теплота сгорания вещества, образовавшего пыль, кДж/кг (табл. 20.1);

$m$  – расчетная масса пыли, кг.

Таблица 20.1

*Показатели взрывных явлений пыли*

Вещество	$\varphi_{НКПР}$ , г/м <sup>3</sup>	$Q$ , МДж/кг
Полистирол	27,5	39,8
Полиэтилен	45,0	47,1
Метилцеллюлоза	30,0	11,8
Нафталин	2,5	39,9
Адипиновая кислота	35,0	19,7
Сера	2,3	8,2
Алюминий	58,0	30,83

При оперативном прогнозировании расчетная масса пыли определяется из условия, что свободный объем помещения будет полностью заполнен взвешенным дисперсным продуктом, при этом образуется пылевоздушная смесь стехиометрической концентрации.

Масса пыли определяется по формуле

$$m = \frac{V_0 \cdot C}{1000}, \text{ кг}, \quad (20.2)$$

где  $V_0$  - свободный объем помещения ( $V_0=0,8 \cdot V_n$ ),  $\text{м}^3$  ;

$C$  – стехиометрическая концентрация пыли,  $\text{г}/\text{м}^3$  ,

$$C \approx 3 \varphi_{\text{НКПР}} , \quad (20.3)$$

где  $\varphi_{\text{НКПР}}$  - нижний концентрационный предел распространения пламени – это минимальное содержание пыли в смеси с воздухом, при котором возможно возгорание

Давление во фронте ударной волны определяется с использованием табл. 18.2 (задача 18).

## 20.2. Задания для самостоятельного решения

1. В цехе по производству полистирола при разгерметизации технологического блока возможно поступление пыли в помещение и ее взрыв. Объем помещения  $V_n=1200 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны на расстоянии 40 м от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций.

2. В цехе по переработке метилцеллюлозы при разгерметизации технологического блока возможно поступление пыли в помещение и ее взрыв. Объем помещения  $V_n=2325 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны на расстоянии 50 м от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций.

3. В цехе по производству нафталина при разгерметизации технологического блока возможно поступление пыли в помещение и ее взрыв. Объем помещения  $V_n=1982 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны на расстоянии 50 м от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций.

4. В цехе по производству адипиновой кислоты при разгерметизации технологического блока возможно поступление пыли в помещение и ее взрыв. Объем помещения  $V_n=1564 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны на расстоянии 30 м от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций.

5. В цехе по переработке серы при разгерметизации технологического блока возможно поступление пыли в помещение и ее взрыв. Объем помещения  $V_n=6200 \text{ м}^3$ . Определить давление ударной волны на расстоянии 30 м от контура помещения при разрушении его ограждающих конструкций.

## 21. Взрывы при аварийной разгерметизации магистрального газопровода

### 21.1. Общие сведения

Аварии при разгерметизации газопроводов сопровождаются следующими процессами и событиями: истечением газа до срабатывания отсекающей арматуры (импульсом на закрытие арматуры является снижение давления продук-

та); закрытие отсекающей арматуры; истечение газа из участка трубопровода, отсеченного арматурой.

В местах повреждения происходит истечение газа под высоким давлением в окружающую среду. На месте разрушения в грунте образуется воронка. Метан поднимается в атмосферу (легче воздуха), а другие газы или их смеси оседают в приземном слое. Смешиваясь с воздухом газы образуют облако взрывоопасной смеси.

Статистика показывает, что примерно 80 % аварий сопровождается пожаром. Искры возникают в результате взаимодействия частиц газа с металлом и твердыми частицами грунта. Обычное горение может трансформироваться во взрыв за счет самоускорения пламени при его распространении по рельефу и в лесу.

Взрывное горение при авариях на газопроводе может происходить также по одному из двух режимов – дефлаграционному или детонационному. При оперативном прогнозировании принимают, что процесс развивается в детонационном режиме.

Дальность распространения облака (рис 21.1) взрывоопасной смеси в направлении ветра определяется по эмпирической формуле

$$L = 25 \sqrt{\frac{M}{W}}, \text{ м}, \quad (21.1)$$

где  $M$  – разовый расход газа, кг/с;

25 – коэффициент пропорциональности,  $\frac{\text{м}^2}{\text{кг}^2}$ ;

$W$  – скорость ветра, м/с.

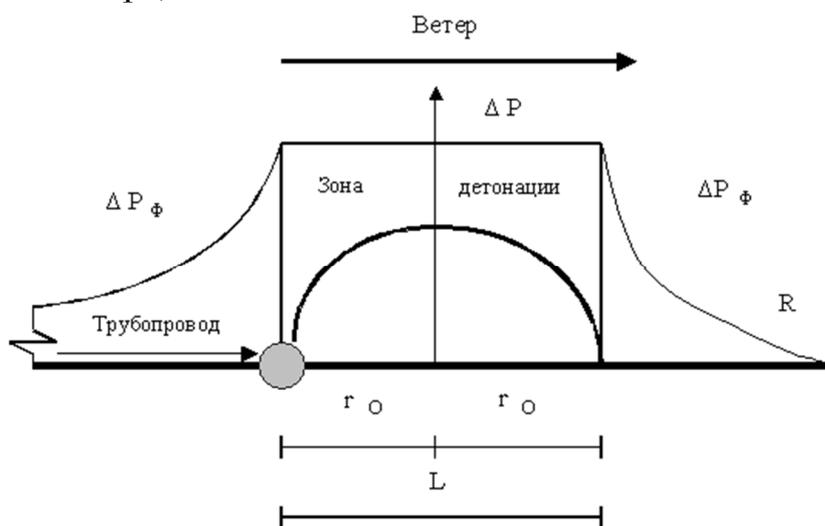


Рис. 21.1. Расчетная схема к определению давлений при аварии на газопроводе:

$\Delta P$  - давление в зоне детонации;  $\Delta P_{\phi}$  – давление во фронте воздушной ударной волны;  $r_0$  – радиус зоны детонации;

$R$  – расстояние от расчетного центра взрыва

Тогда граница зоны детонации, ограниченная радиусом  $r_0$ , в результате истечения газа за счет нарушения герметичности газопровода может быть определена по формуле

$$r_0 = 12,5 \sqrt{\frac{M}{W}}, \text{ м.} \quad (21.2)$$

Массовый секундный расход газа  $M$  из газопровода для критического режима истечения, когда основные его параметры (расход, скорость истечения) зависят только от параметров разгерметизированного трубопровода, может быть определена по формуле

$$M = \psi F \mu \sqrt{\frac{P_2}{V_2}}, \text{ кг/с,} \quad (21.3)$$

где  $\psi$  – коэффициент, учитывающий расход газа от состояния потока (принять  $\psi=0,7$ );

$F$  – площадь отверстия истечения, принимаемая равной площади сечения трубопровода, м<sup>2</sup>;

$\mu$  – коэффициент расхода, учитывает форму отверстия ( $\mu=0,7 \div 0,9$ ), в расчетах принимается 0,8;

$P_2$  – давление газа в трубопроводе, Па;

$V_2$  – удельный объем транспортируемого газа при параметрах в газопроводе. Определяется по формуле

$$V_2 = R_0 \frac{T}{P_2}, \text{ м}^3/\text{кг,} \quad (21.4)$$

где  $T$  – температура транспортируемого газа, К;

$R_0$  – удельная газовая постоянная, определяемая по данным долевого состава газа и молярным массам компонентов смеси из соотношения

$$R_0 = 8314 \sum_{i=1}^n \frac{q_k}{m_k}, \text{ Дж/кгГК,} \quad (21.5)$$

где 8314 – универсальная газовая постоянная, Дж/кмольК;

$q_k$  – количество компонентов газа, доли единиц;

$m_k$  – молярная масса компонентов, кг/кмоль (табл. 21.1);

$n$  – число компонентов.

Таблица 21.1

*Молярная масса некоторых веществ*

Вещество	Молярная масса, г/моль
Н	1
С	12
О	16

Молярная масса вещества — отношение массы вещества к количеству моль этого вещества, то есть масса одного моля вещества.

Молярные массы сложных молекул можно определить, суммируя молярные массы входящих в них элементов. Например, молярная масса воды ( $H_2O$ ) есть  $M_{H_2O} = 2 M_H + M_O = 2 \cdot 1 + 16 = 18$  (г/моль).

В зоне действия детонационной волны давление принимается равным 1,7 МПа. Давление во фронте воздушной волны на различном расстоянии от газопровода определяется с использованием данных табл. 21.2.

Таблица 21.2

*Значение давления во фронте ударной волны*

$r/r_0$	0-1	1,01	1,04	1,08	1,2	1,4	1,8	2,7	3	4	5	6	8	12
$\Delta P_{\phi}$ , кПа	1700	1232	814	568	400	300	200	100	80	50	40	30	20	10

При прогнозировании последствий случившейся аварии на газопроводе зону детонации и зону действия воздушной ударной волны принимают с учетом направления ветра. При этом считают, что граница зоны детонации распространяется от трубопровода по направлению ветра на расстоянии  $2r_0$ , расположенных с каждой из его сторон. Это связано с тем, что облако взрывоопасной смеси может распространяться в любую сторону от трубопровода, в зависимости от направления ветра. За пределами зоны детонации по обе стороны от трубопровода находятся зоны действия воздушной ударной волны. На плане местности эти зоны также имеют вид полосовых участков вдоль трубопровода.

При разработке разделов проекта ИТМ ГОЧС на планах местности вдоль магистральных нефте- и газопроводов наносятся зоны возможных сильных разрушений, границы которых определяются величиной избыточного давления 50 кПа.

## 21.2. Задания для самостоятельного решения

1. Определить границу зоны детонации от трубопровода и дальность распространения облака взрывоопасной смеси при следующих исходных данных: диаметр газопровода 0,5 м, давление газа в трубопроводе  $P_{\varepsilon}=1,9$  МПа, температура транспортируемого газа  $T=40$  °С, скорость ветра  $W=1$  м/с, коэффициент расхода 0,8. Состав обычного газа при отсутствии данных может быть принят в соотношении: метан ( $CH_4$ ) – 90 %; этан ( $C_2H_6$ ) – 4 %; пропан ( $C_3H_8$ ) – 2 %; Н-бутан ( $C_4H_{10}$ ) – 2 %; изопентан – ( $C_5H_{12}$ ) – 2 %.

2. Определить границу зоны детонации от трубопровода и дальность распространения облака взрывоопасной смеси при следующих исходных данных: диаметр газопровода 0,2 м, давление газа в трубопроводе  $P_{\varepsilon}=1,3$  МПа, температура транспортируемого газа  $T=30$  °С, скорость ветра  $W=2$  м/с, коэффициент расхода 0,8. Состав обычного газа при отсутствии данных может быть принят в соотношении: метан ( $CH_4$ ) – 90 %; этан ( $C_2H_6$ ) – 4 %; пропан ( $C_3H_8$ ) – 2 %; Н-бутан ( $C_4H_{10}$ ) – 2 %; изопентан – ( $C_5H_{12}$ ) – 2 %.

3. Определить границу зоны детонации от трубопровода и дальность распространения облака взрывоопасной смеси при следующих исходных данных: диаметр газопровода 1,3 м, давление газа в трубопроводе  $P_z=2,4$  МПа, температура транспортируемого газа  $T=20$  °С, скорость ветра  $W=3$  м/с, коэффициент расхода 0,8. Состав обычного газа при отсутствии данных может быть принят в соотношении: метан ( $CH_4$ ) – 90 %; этан ( $C_2H_6$ ) – 4 %; пропан ( $C_3H_8$ ) – 2 %; Н-бутан ( $C_4H_{10}$ ) – 2 %; изопентан – ( $C_5H_{12}$ ) – 2 %.

4. Определить границу зоны детонации от трубопровода и дальность распространения облака взрывоопасной смеси при следующих исходных данных: диаметр газопровода 1,0 м, давление газа в трубопроводе  $P_z=2,0$  МПа, температура транспортируемого газа  $T=40$  °С, скорость ветра  $W=4$  м/с, коэффициент расхода 0,8. Состав обычного газа при отсутствии данных может быть принят в соотношении: метан ( $CH_4$ ) – 90 %; этан ( $C_2H_6$ ) – 4 %; пропан ( $C_3H_8$ ) – 2 %; Н-бутан ( $C_4H_{10}$ ) – 2 %; изопентан – ( $C_5H_{12}$ ) – 2 %.

5. Определить границу зоны детонации от трубопровода и дальность распространения облака взрывоопасной смеси при следующих исходных данных: диаметр газопровода 0,4 м, давление газа в трубопроводе  $P_z=1,8$  МПа, температура транспортируемого газа  $T=30$  °С, скорость ветра  $W=5$  м/с, коэффициент расхода 0,8. Состав обычного газа при отсутствии данных может быть принят в соотношении: метан ( $CH_4$ ) – 90 %; этан ( $C_2H_6$ ) – 4 %; пропан ( $C_3H_8$ ) – 2 %; Н-бутан ( $C_4H_{10}$ ) – 2 %; изопентан – ( $C_5H_{12}$ ) – 2 %.

## 22. Пожарная профилактика при эксплуатации строительных машин

### 22.1. Общие сведения

В двигателях внутреннего сгорания пожар может возникнуть при недостаточном сечении бензопровода. В этих случаях смесь обедняется, вызывая обратную вспышку в карбюраторе.

Необходимую площадь поперечного сечения бензопровода определяют с учётом следующих условий: двигатель мощностью  $P$ , кВт, расходует бензина на 1 кВт в 1 час  $q$ , кг. Бензопровод сечением  $A$  при скорости перемещения бензина  $v$ , см/с, может подать топлива в количестве  $AV$ :

$$\frac{3600AV\gamma}{1000} = 3,6AV\gamma, \quad (22.1)$$

где  $\gamma$  - объёмная масса бензина, г/см<sup>3</sup>.

Вследствие того, что расход бензина должен равняться количеству бензина, подаваемого через бензопровод,

$$P \cdot q = 3600 AV\gamma \quad (22.2)$$

или

$$A = \frac{Pq}{3,6V\gamma}, \text{ см}^2. \quad (22.3)$$

Радиус бензопровода

$$R = \sqrt{\frac{A}{3,14}}, \text{ см}. \quad (22.4)$$

## 22.2. Задания для самостоятельного решения

1. Рассчитать сечение бензопровода станции испытания двигателей внутреннего сгорания, учитывая, что при недостаточном сечении трубопровода возможна обратная вспышка в карбюраторе и возникновение пожара. Мощность двигателя  $P=204$  кВт, расход бензина на 1 кВт  $q=195,6$  г/кВт·ч и скорость перемещения бензина в трубопроводе двигателя  $V=0,93$  м/с. Объёмная масса бензина  $0,75$  г/см<sup>3</sup>.

2. Рассчитать сечение бензопровода станции испытания двигателей внутреннего сгорания, учитывая, что при недостаточном сечении трубопровода возможна обратная вспышка в карбюраторе и возникновение пожара. Мощность двигателя  $P=154$  кВт, расход бензина на 1 кВт  $q=186,3$  г/кВт·ч и скорость перемещения бензина в трубопроводе двигателя  $V=0,78$  м/с. Объёмная масса бензина  $0,75$  г/см<sup>3</sup>.

3. Рассчитать сечение бензопровода станции испытания двигателей внутреннего сгорания, учитывая, что при недостаточном сечении трубопровода возможна обратная вспышка в карбюраторе и возникновение пожара. Мощность двигателя  $P=128$  кВт, расход бензина на 1 кВт  $q=180,1$  г/кВт·ч и скорость перемещения бензина в трубопроводе двигателя  $V=0,69$  м/с. Объёмная масса бензина  $0,75$  г/см<sup>3</sup>.

4. Рассчитать сечение бензопровода станции испытания двигателей внутреннего сгорания, учитывая, что при недостаточном сечении трубопровода возможна обратная вспышка в карбюраторе и возникновение пожара. Мощность двигателя  $P=286$  кВт, расход бензина на 1 кВт  $q=195,6$  г/кВт·ч и скорость перемещения бензина в трубопроводе двигателя  $V=1,31$  м/с. Объёмная масса бензина  $0,75$  г/см<sup>3</sup>.

5. Рассчитать сечение бензопровода станции испытания двигателей внутреннего сгорания, учитывая, что при недостаточном сечении трубопровода возможна обратная вспышка в карбюраторе и возникновение пожара. Мощность двигателя  $P=114$  кВт, расход бензина на 1 кВт  $q=150,4$  г/кВт·ч и скорость перемещения бензина в трубопроводе двигателя  $V=0,65$  м/с. Объёмная масса бензина  $0,75$  г/см<sup>3</sup>.

## 23. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри технологического оборудования

### 23.1. Общие сведения

Условия образования горючих (взрывоопасных) концентраций внутри производственных аппаратов зависят от пожаровзрывоопасных свойств и агрегатного состояния веществ, образующихся в технологическом процессе, конструктивных особенностей и режимов работы оборудования.

Внутри аппаратов с горючими газами или перегретыми парами взрывоопасные концентрации образуются в том случае, если в них попадает воздух или по условиям ведения технологического процесса подаётся окислитель (кислород, воздух, хлор и др.) при выполнении соотношения

$$\varphi_n < \varphi_p < \varphi_v, \quad (23.1)$$

где  $\varphi_p$  – действительная (рабочая) концентрация горючего вещества, об. доли;

$\varphi_n$  – нижний концентрационный предел распространения пламени при рабочей температуре (это минимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой (окислителем), при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания, об. доли (% об. или кг/м<sup>3</sup>);

$\varphi_v$  – верхний концентрационный предел распространения пламени (максимальное содержание горючего вещества в однородной смеси с окислительной средой (окислителем), при котором возможно распространение пламени по смеси на любое расстояние от источника зажигания, об. доли (% об. или кг/м<sup>3</sup>).

Значение  $\varphi_n$  и  $\varphi_v$ , приведённые к 25 °С, даны в табл. 23.1.

Таблица 23.1

*Значения нижнего и верхнего концентрационных пределов, об. доли*

Вещества	Концентрационный предел, объёмные доли	
	нижний	верхний
Аммиак	0,15	0,28
Ацетилен	0,025	0,81
Ацетон	0,027	0,13
Водород	0,0412	0,75
Оксид углерода	0,125	0,74
Этилен	0,027	0,34
Дизельное топливо	0,005	0,062

По табл. 23.1 находим область распространения пламени горючего вещества ( $\varphi_n - \varphi_v$ ).

Определить значение величин  $\varphi_n$  и  $\varphi_s$  при температуре среды, отличной от 25°, можно по формулам:

$$\varphi_n = \varphi_{n25} \left( 1 - \frac{t_p - 25}{1250} \right), \quad (23.2)$$

$$\varphi_s = \varphi_{s25} \left( 1 + \frac{t_p - 25}{1250} \right), \quad (23.3)$$

где  $t_p$  – температура среды.

Рабочую концентрацию горючего газа в смеси с окислителем можно определить:

$$\varphi_p = \frac{G_{\Gamma}}{G_{\Gamma} + G_{OK}}, \quad (7.4)$$

где  $G_{\Gamma}$ ,  $G_{OK}$  – объёмные расходы горючего газа и окислителя, м<sup>3</sup>/с.

По условию (23.1) определить возможность образования взрывоопасной концентрации внутри производственного аппарата.

### 23.2. Задания для самостоятельного решения

1. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: аммиак в объеме 450 м<sup>3</sup>/ч и окислитель (кислород) – 1200 м<sup>3</sup>/ч. Температура газовой смеси 400 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

2. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: ацетилен в объеме 200 м<sup>3</sup>/ч и окислитель (кислород) – 1000 м<sup>3</sup>/ч. Температура газовой смеси 140 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

3. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: ацетон в объеме 300 м<sup>3</sup>/ч и окислитель (кислород) – 5000 м<sup>3</sup>/ч. Температура газовой смеси 250 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

4. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: водород в объеме 80 м<sup>3</sup>/ч и окислитель (кислород) – 2200 м<sup>3</sup>/ч. Температура газовой смеси 350 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

5. По условиям технологического процесса в смеситель поступают: оксид углерода в объеме 550 м<sup>3</sup>/ч и окислитель (кислород) – 4000 м<sup>3</sup>/ч. Температура газовой смеси 500 °С. Дать заключение о возможности образования взрывоопасной концентрации внутри смесителя.

## 24. Пожарная опасность выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования

### 24.1. Общие сведения

При авариях и повреждениях аппаратов из них выходят горючие газы, пары или жидкость, что может привести к образованию взрывопожароопасных смесей, как в производственных помещениях, так и на открытых площадках.

Определяем сечение отверстия в днище аппарата:

$$f_{om} = \frac{\pi d_{om}^2}{4}, \text{ м}^2, \quad (24.1)$$

где  $d_{om}$  – диаметр отверстия, м.

Массу выходящих наружу веществ при локальных повреждениях аппаратов определяют по формуле

$$m_{л} = \alpha f_{om} \omega \rho_{ж} \tau, \text{ кг}, \quad (24.2)$$

где  $\alpha$  – коэффициент расхода, изменяющийся в пределах 0,45-0,85;

$f_{om}$  – сечение отверстия, через которое вещество выходит наружу, м<sup>2</sup>;

$\omega$  – скорость истечения вещества из отверстия, м/с;

$\rho_{ж}$  – плотность вещества, кг/м<sup>3</sup> (табл. 24.1);

$\tau$  – длительность истечения, с.

Таблица 24.1

*Плотность пожароопасных жидкостей при различных температурах*

$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	Бензол	Метиловый спирт	Пропиловый спирт	Толуол	Уксусная кислота	Ацетон
0	900,1	809,7	819,3	844,9	-	813,0
10	889,5	800,0	803,5	875,6	-	801,9
20	879,0	791,5	787,5	865,8	1049,1	790,5
30	865,5	782,5	778,5	856,9	1039,2	778,8
40	857,6	774,0	770,0	840,4	1028,4	767,4
50	846,6	765,0	760,5	838,2	1017,5	756,4
60	835,7	755,5	752,0	829,2	1006,0	744,6
70	823,4	746,0	746,5	819,7	994,8	732,6
80	814,5	735,5	742,5	810,4	983,3	720,6
90	804,1	725,0	732,5	800,6	971,8	-
100	792,7	714,0	722,0	791,1	959,9	-

Скорость истечения жидкости через отверстие в трубопроводе или корпусе аппарата при постоянном давлении вычисляют по формуле

$$\omega = \sqrt{2g \cdot H_{np}}, \text{ м/с}, \quad (24.3)$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$H_{np}$  – приведенный напор, под действием которого происходит истечение жидкости через отверстие, м.

При истечении самотеком  $H_{np} = H$  ( $H$  – высота столба жидкости, м).

При работе аппарата под давлением

$$H_{np} = \frac{P_{пл}}{\rho_{жс} \cdot g} + H, \text{ м}, \quad (24.4)$$

где  $P_{пл}$  – избыточное давление среды в аппарате над поверхностью жидкости, Па, определяется:

$$P_{пл} = P_p - 1 \cdot 10^5, \text{ Па}, \quad (24.5)$$

где  $P_p$  – абсолютное рабочее давление среды в аппарате, Па.

## 24.2. Задания для самостоятельного решения

1. Определить количество выходящего наружу бензола при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 600 с). Диаметр отверстия в днище  $d_{om} = 4$  мм, рабочее давление в аппарате  $P_p = 0,25$  МПа, температура жидкости  $t=30$  °С, высота столба жидкости в аппарате  $H = 5$  м, коэффициент расхода принять равным  $\alpha=0,6$ . Дать заключение о возможности образования взрывопожароопасной смеси в производственном помещении.

2. Определить количество выходящего наружу метилового спирта при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 1200 с). Диаметр отверстия в днище  $d_{om} = 7$  мм, рабочее давление в аппарате  $P_p = 0,3$  МПа, температура жидкости  $t=40$  °С, высота столба жидкости в аппарате  $H = 5$  м, коэффициент расхода принять равным  $\alpha=0,65$ . Дать заключение о возможности образования взрывопожароопасной смеси в производственном помещении.

3. Определить количество выходящего наружу толуола при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 600 с). Диаметр отверстия в днище  $d_{om} = 3,6$  мм, рабочее давление в аппарате  $P_p = 0,55$  МПа, температура жидкости  $t=22$  °С, высота столба жидкости в аппарате  $H = 3$  м, коэффициент расхода принять равным  $\alpha=0,5$ . Дать заключение о возможности образования взрывопожароопасной смеси в производственном помещении.

4. Определить количество выходящего наружу ацетона при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 1500 с). Диаметр отверстия в днище  $d_{om} = 2$  мм, рабочее давление в аппарате  $p_p = 0,1$  МПа, температура жидкости  $t=20$  °С, высота столба жидкости в аппарате  $H = 5$  м, коэффи-

коэффициент расхода принять равным  $\alpha=0,75$ . Дать заключение о возможности образования взрывопожароопасной смеси в производственном помещении.

5. Определить количество выходящего наружу бензола при локальном повреждении днища аппарата (авария локализована через 480 с). Диаметр отверстия в днище  $d_{om} = 3,5$  мм, рабочее давление в аппарате  $P_p = 0,25$  МПа, температура жидкости  $t=20$  °С, высота столба жидкости в аппарате  $H = 2$  м, коэффициент расхода принять равным  $\alpha=0,7$ . Дать заключение о возможности образования взрывопожароопасной смеси в производственном помещении.

## 25. Расчет критериев взрывопожарной опасности помещений

### 25.1. Общие сведения

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 — В4, Г и Д (Табл. 25.1).

Таблица 25.1

#### Категории помещений по взрывопожароопасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении
А - взрывопожароопасная	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что они могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом в таком количестве, что избыточное давление в помещении превышает 5 кПа
Б - взрывопожароопасная	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа
В1-В4 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в т.ч. пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии, не относятся к категориям А или Б
Г	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени; горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигают или утилизируют в качестве топлива
Д	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии

Категории взрывопожарной и пожарной опасности помещений и зданий определяются для наиболее неблагоприятного в отношении пожара или взрыва периода, исходя из вида находящихся в аппаратах и помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, особенностей технологических процессов.

Количественным критерием назначения категории по взрывопожарной и пожарной опасности является избыточное давление, которое может развиваться при взрывном сгорании максимально возможного скопления взрывоопасных веществ в помещении. При  $\Delta P > 5$  кПа рассматриваемый объект относится к взрывопожароопасным это категории А или Б в зависимости от свойств веществ. При  $\Delta P < 5$  кПа объект относится либо к категории В, либо к категориям Г и Д в зависимости от величины пожарной нагрузки. Под пожарной нагрузкой понимается энергия, выделяемая при сгорании горючих материалов, находящихся на  $1 \text{ м}^2$  пола помещения.

Избыточное давление определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{m H_T P_0 Z}{V_{св} \rho_B C_B T_0 K_n K} \frac{1}{K}, \text{кПа}, \quad (25.1)$$

где  $H_T$  – теплота сгорания вещества, кДж/кг;

$P_0$  – начальное давление (допускается принимать равным 101 КПа), кПа;

$Z$  – коэффициент участия горючего вещества во взрыве ( $Z=1$  для водорода,  $Z=0,5$  для горючих газов (кроме водорода) и пылей,  $Z=0,3$  для паров жидкостей);

$V_{св}$  – свободный объем помещения, принимаемый равным 0,8 от геометрического объема,  $\text{м}^3$ ;

$\rho_B$  – плотность воздуха (можно принять равной  $1,2 \text{ кг/м}^3$ ),  $\text{кг/м}^3$ ;

$C_B$  – теплоемкость воздуха (допускается принимать равной  $1,01 \text{ кДж/кг К}$ );

$T_0$  – температура в помещении, К;

$K_n$  – коэффициент, учитывающий негерметичность помещения (принимается равным 3);

$m$  – масса горючего газа (ГГ) или паров легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, выделяющихся в результате расчетной аварии в помещение.

В случае обращения в помещении горючих газов, ЛВЖ или ГЖ при определении значения массы  $m$ , входящей в формулу (25.1), допускается учитывать работу аварийной вентиляции, если она обеспечена резервными вентиляторами. При этом массу горючих газов или паров ЛВЖ или ГЖ, нагретых до температуры вспышки и выше, поступающих в объем помещения, следует разделить на коэффициент  $K$ , определяемый по формуле

$$K = At + 1, \quad (25.2)$$

где  $A$  – кратность воздухообмена, создаваемого аварийной вентиляцией,  $\text{с}^{-1}$ ;

$t$  – продолжительность поступления взрывоопасных веществ в помещение, с.

Расчетное время отключения трубопроводов принимается равным:

– времени срабатывания системы автоматики отключения трубопроводов согласно паспортным данным установки, если вероятность отказа системы автоматики не превышает  $10^{-6}$  в год или обеспечено резервирование ее элементов;

– 120 с, если вероятность отказа системы автоматики превышает  $10^{-6}$  в год и не обеспечено резервирование ее элементов;

– 300 с при ручном отключении трубопровода.

С учетом численных значений показателей, входящих в уравнение (25.1), получаем

$$\Delta P = \frac{0,096 \cdot m \cdot H_m Z}{V_{св}} \cdot \frac{1}{K}, \text{ кПа.} \quad (25.3)$$

Величина  $m$  рассчитывается в зависимости от агрегатного состояния горючего вещества.

1. При разгерметизации аппарата с горючим газом:

$$m = (V_1 + V_T) \rho, \text{ кг,} \quad (25.4)$$

где  $V_1$  – объем газа, вышедшего из аппарата,  $\text{м}^3$ ;

$V_T$  – объем газа, вышедшего из трубопроводов,  $\text{м}^3$ ;

$\rho$  – плотность газа при н.у.,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

При этом

$$V_1 = V_{an} \frac{P_{an}}{P_0} \cdot \frac{T}{T_0}, \text{ м}^3, \quad (25.5)$$

где  $V_{an}$  – объем аппарата,  $\text{м}^3$ ;

$P_{an}$  – давление в аппарате, кПа;

$T, T_0$  – температура в аппарате и в помещении, К.

$$V_m = V_{1m} + V_{2m}, \text{ м}^3, \quad (25.6)$$

где  $V_{1m}$  – объем газа, вышедшего из трубопровода до его отключения,  $\text{м}^3$ ;

$V_{2m}$  – объем газа, вышедшего из трубопровода после его отключения,  $\text{м}^3$ .

$$V_{1m} = qT, \text{ м}^3, \quad (25.7)$$

где  $q$  – расход газа из трубопроводов,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$T$  – время отключения трубопроводов, с.

$$V_{2m} = 0,01 r \cdot l, \text{ м}^3, \quad (25.8)$$

где  $r$  – радиус сечения трубопровода, м;

$l$  – длина трубопровода от аппарата до задвижки, м.

2. При разгерметизации оборудования с ЛВЖ:

$$m = m_p \cdot m_n \cdot m_0, \text{ кг,} \quad (25.9)$$

где  $m_p$  – масса жидкости, испарившейся при разливе, кг;

$m_n$  – масса жидкости, испарившейся с поверхности аппарата, кг;

$m_o$  – масса жидкости, испарившейся со свежоокрашенной поверхности, кг.

При этом

$$m_p = W_H F_H \tau_H, \text{ кг}, \quad (25.10)$$

где  $W_H$  – интенсивность испарения, кг/м<sup>2</sup>·с;

$F_H$  – поверхность розлива, принимаемая: 1 л на 1 м<sup>2</sup>, если ЛВЖ содержит более 70 % растворителя, и 1 л на 0,5 м<sup>2</sup> – в остальных случаях, м<sup>2</sup>;

$\tau_H$  – время испарения (принимается по времени полного испарения, но не более 3600 с).

Интенсивность испарения допускается рассчитывать по формуле

$$W_H = 10^{-6} \eta \sqrt{M} P_H, \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (25.11)$$

где  $\eta$  – коэффициент, принимаемый по табл. 25.2 в зависимости от скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения;

$P_H$  – давление насыщенного пара при расчетной температуре, кПа;

$M$  – молекулярная масса ЛВЖ.

Таблица 25.2

Скорость воздуха, м/с	Значение $\eta$ при температуре воздуха, °С				
	10	15	20	30	35
0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,2	4,6	3,8	3,5	2,4	2,3
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10,0	8,7	7,7	5,6	4,6

### 3. При наличии взрывоопасной пыли:

$$m = m_{вз} + m_{ав}, \text{ кг}, \quad (25.12)$$

где  $m_{вз}$  – расчетная масса взвихрившейся пыли, кг;

$m_{ав}$  – расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, кг.

Расчетная масса взвихрившейся пыли определяется по формуле

$$m_{вз} = K_{вз} m_n, \text{ кг}, \quad (25.13)$$

где  $K_{вз}$  – доля отложившейся в помещении пыли, способной перейти во взвешенное состояние в результате аварийной ситуации. При отсутствии экспериментальных сведений допускается полагать  $K_{вз} = 0,9$ ;

$m_n$  – масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии, кг.

Расчетная масса пыли, поступившей в помещение в результате аварийной ситуации, определяется по формуле

$$m_{ав} = (m_{ан} + qt)K_n, \text{ кг}, \quad (25.14)$$

где  $m_{ан}$  – масса горючей пыли, выбрасываемой в помещение из аппарата, кг;

$q$  – производительность, с которой продолжается поступление пылевидных веществ в аварийный аппарат по трубопроводам до момента их отключения, кг/с;

$t$  – время отключения, с;

$K_n$  – коэффициент пыления, представляющий отношение массы взвешенной в воздухе пыли ко всей массе пыли, поступившей из аппарата в помещение.

При отсутствии экспериментальных сведений допускается полагать:

– для пылей с дисперсностью не менее 350 мкм -  $K_n = 0,5$ ;

– для пылей с дисперсностью менее 350 мкм –  $K_n = 1,0$ .

Масса отложившейся в помещении пыли к моменту аварии определяется по формуле

$$m_n = \frac{K_z}{K_y} (m_1 + m_2), \text{ кг}, \quad (25.15)$$

где  $K_z$  – доля горючей пыли в общей массе отложений пыли;

$m_1$  – масса пыли, оседающей на труднодоступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между генеральными уборками, кг;

$m_2$  – масса пыли, оседающей на доступных для уборки поверхностях в помещении за период времени между текущими уборками, кг;

$K_y$  – коэффициент эффективности пылеуборки. Принимается:

при ручной пылеуборке:

- сухой – 0,6;

- влажной – 0,7,

при механизированной вакуумной уборке:

- пол ровный – 0,9;

- пол с выбоинами – 0,7.

Масса пыли, оседающей на различных поверхностях в помещении за межуборочный период, определяется по формуле

$$m_1 = M(1 - \alpha)\beta_1, \text{ кг}, \quad (25.16)$$

где  $M$  – масса пыли, выделившаяся за период времени между генеральными уборками, кг;

$\alpha$  – доля пыли, удаляемая вентиляцией;

$\beta_1$  – доля пыли на труднодоступных местах.

Определение категорий В1-В4 осуществляется путем сравнения максимального значения временной удельной пожарной нагрузки на любом из участков с величиной удельной пожарной нагрузки, приведенной в табл. 25.3.

## Определение категорий В1 — В4 помещений

Категория	Удельная пожарная нагрузка $g$ на участке, МДж/м <sup>2</sup>	Способ размещения
В1	Более 2200	Не нормируется
В2	1401-2200	Допускается несколько участков с пожарной нагрузкой, не превышающей указанных значений $g$
В3	181-1400	То же
В4	1-180	На любом участке площадью 10 м <sup>2</sup> . Расстояние между участками должны быть более 1 пр (табл. 29.4)

Удельная пожарная нагрузка определяется из соотношения

$$g = \frac{Q}{S}, \text{ МДж/м}^2, \quad (25.17)$$

где  $S$  – площадь размещения пожарной нагрузки, м<sup>2</sup> (но не менее 10 м<sup>2</sup>);

Пожарная нагрузка

$$Q = G_i \cdot Q_i, \text{ МДж}, \quad (25.18)$$

где  $G_i$  – количество  $i$ -го материала пожарной нагрузки, кг;

$Q_i$  – низшая теплота сгорания  $i$ -го материала, МДж/кг.

Если при определении категорий В2 или В3 количество пожарной нагрузки превышает или равно

$$Q \geq 0,64gH^2, \quad (25.19)$$

то помещение будет относиться к категориям В1 или В2 соответственно.

$H$  – минимальное расстояние от поверхности пожарной нагрузки до нижнего пояса перекрытия, м.

## 25.2. Задания для самостоятельного решения

1. Определить категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки. Площадь помещения  $S=2500$  м<sup>2</sup>, высота помещения  $h=6$  м, объем  $V=15000$  м<sup>3</sup>. Максимальное количество горючих материалов в помещении 18000 кг. Транспортировка крошки осуществляется контейнерами закрытого типа. В местах пылевыделения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет  $m_1=10$  кг, а на доступных  $m_2=6$  кг. Крошка подается по транспортной линии в количестве 1100 кг/ч. Теплота сгорания  $H_m=27200$  КДж/кг.

2. Определить категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки. Площадь помещения  $S=2000$  м<sup>2</sup>, высота помещения  $h=9$  м, объем  $V=18000$  м<sup>3</sup>. Максимальное количество горю-

чих материалов в помещении 24000 кг. Транспортировка крошки осуществляется контейнерами закрытого типа. В местах пылевыведения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет  $m_1 = 12$  кг, а на доступных  $m_2 = 8$  кг. Крошка подается по транспортной линии в количестве 1000 кг/ч. Теплота сгорания  $H_m = 27200$  КДж/кг.

3. Определить категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки. Площадь помещения  $S = 3000$  м<sup>2</sup>, высота помещения  $h = 9$  м, объем  $V = 27000$  м<sup>3</sup>. Максимальное количество горючих материалов в помещении 26000 кг. Транспортировка крошки осуществляется контейнерами закрытого типа. В местах пылевыведения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет  $m_1 = 14$  кг, а на доступных  $m_2 = 10$  кг. Крошка подается по транспортной линии в количестве 1100 кг/ч. Теплота сгорания  $H_m = 27200$  КДж/кг.

4. Определить категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки. Площадь помещения  $S = 4000$  м<sup>2</sup>, высота помещения  $h = 9$  м, объем  $V = 36000$  м<sup>3</sup>. Максимальное количество горючих материалов в помещении 28000 кг. Транспортировка крошки осуществляется контейнерами закрытого типа. В местах пылевыведения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет  $m_1 = 16$  кг, а на доступных  $m_2 = 14$  кг. Крошка подается по транспортной линии в количестве 1200 кг/ч. Теплота сгорания  $H_m = 27200$  КДж/кг.

5. Определить категорию взрывопожарной или пожарной опасности помещения участка дробления резиновой крошки. Площадь помещения  $S = 3200$  м<sup>2</sup>, высота помещения  $h = 6$  м, объем  $V = 19200$  м<sup>3</sup>. Максимальное количество горючих материалов в помещении 25000 кг. Транспортировка крошки осуществляется контейнерами закрытого типа. В местах пылевыведения устроены местные отсосы, удаляющие основное количество выделившейся пыли. Максимальное количество осевшей пыли на труднодоступных для уборки поверхностях составляет  $m_1 = 12$  кг, а на доступных  $m_2 = 10$  кг. Крошка подается по транспортной линии в количестве 1000 кг/ч. Теплота сгорания  $H_m = 27200$  КДж/кг.

## 26. Пожароопасность производства

### 26.1. Общие сведения

Объем взрывоопасной паровоздушной смеси, в котором разлившийся ацетон может образовать взрывоопасную концентрацию на нижнем пределе воспламенения, определяется по формуле

$$V_{см} = 1,5 \frac{G}{C_n}, \text{ м}^3, \quad (26.1)$$

где  $G$  – количество разлитого ацетона, г;

1,5 - коэффициент запаса;

$C_n$  - нижний концентрационный предел воспламенения ацетона, г/м<sup>3</sup>.

Свободный объем помещения, который займет взрывоопасная смесь при испарении всего ацетона:

$$V_{вс} = 100 \frac{V_{см}}{V_{пом}}, \%, \quad (26.2)$$

где  $V_{пом}$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Если объем взрывоопасной и паровоздушной смеси составит  $V_{вс} > 5 \%$  объема помещения, то необходимо определить время испарения ацетона в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5 % объема помещения, по формуле

$$v_{II} = \frac{0,18 V_{пом} \cdot C_n}{K_w P_n \sqrt{MF_{пом}}}, \text{ ч}, \quad (26.3)$$

где  $F_{пом}$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

0,18 -- суммарный коэффициент, учитывающий неравномерность распределения паров;

$K_w$  – коэффициент, учитывающий влияние скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения, при определении времени образования взрывоопасной паровоздушной смеси без учета аварийной вентиляции принимают, что воздушная среда в зоне испарения неподвижна и коэффициент равен 1;

$M$  – молекулярный вес ацетона,  $M=58,08$  г;

$K_w$  – коэффициент, учитывающий влияние скорости и температуры воздушного потока над поверхностью испарения, принять  $K_w = 1$ ;

$P_n=230$  мм рт. ст. – давления насыщенных паров при температуре 25 °С.

Если время образования взрывоопасной паровоздушной смеси в 5 % объема помещения менее 1 ч, рассматриваемое производство должно быть отнесено к категории взрывопожароопасных.

## 26.2. Задания для самостоятельного решения

1. В отделении цеха приготовления окрасочных составов применяется в качестве растворителя ацетон. Допускается, что в этом отделении произошла авария, в результате чего ацетон в количестве 24 кг был разлит по полу и вентиляция перестала работать. Объем помещения 3000 м<sup>3</sup>, площадь помещения 620 м<sup>2</sup>. Определить время испарения ацетона в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5 % объема помещения.

2. В отделении приготовления цеха окрасочных составов применяется в качестве растворителя ацетон. Допускается, что в этом отделении произошла

авария, в результате чего ацетон в количестве 19 кг был разлит по полу и вентиляция перестала работать. Объем помещения 1600 м<sup>3</sup>, площадь помещения 150 м<sup>2</sup>. Определить время испарения ацетона в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5 % объема помещения.

3. В отделении цеха приготовления окрасочных составов применяется в качестве растворителя ацетон. Допускается, что в этом отделении произошла авария, в результате чего, ацетон, в количестве 18 кг был разлит по полу и вентиляция перестала работать. Объем помещения 1500 м<sup>3</sup>, площадь помещения 145 м<sup>2</sup>. Определить время испарения ацетона в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5 % объема помещения.

4. В отделении цеха приготовления окрасочных составов применяется в качестве растворителя ацетон. Допускается, что в этом отделении произошла авария, в результате чего, ацетон, в количестве 13 кг был разлит по полу и вентиляция перестала работать. Объем помещения 1450 м<sup>3</sup>, площадь помещения 149 м<sup>2</sup>. Определить время испарения ацетона в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5 % объема помещения.

5. В отделении цеха приготовления окрасочных составов применяется в качестве растворителя ацетон. Допускается, что в этом отделении произошла авария, в результате чего, ацетон, в количестве 15 кг был разлит по полу и вентиляция перестала работать. Объем помещения 1200 м<sup>3</sup>, площадь помещения 175 м<sup>2</sup>. Определить время испарения ацетона в количестве, достаточном для образования взрывоопасной смеси в 5 % объема помещения.

## **27. Хранение легковоспламеняющихся жидкостей при отрицательных температурах**

### **27.1. Общие сведения**

В наземных складах при резком изменении температуры наружного воздуха при заполнении и при опорожнении емкостей происходит изменение давления внутри закрытых резервуаров, что может привести к деформациям их стенок. Поэтому резервуары, в которых хранят легковоспламеняющиеся и горючие жидкости, оборудуют дыхательными клапанами. Хранить легковоспламеняющиеся и горючие жидкости в таре допускается в специальных закрытых хранилищах. Резервуары и цистерны для хранения горючих жидкостей, замерзающих зимой, отогревают паром или изолируют.

Поверхность охлаждения определяется

$$F = \pi dL + 2\pi r^2, \text{ м}^2, \quad (27.1)$$

где  $d$  – диаметр цистерны, м;

$L$  – длина цистерны, м;

$r$  – радиус цистерны, м.

Емкость цистерны

$$V = \pi r^2 L, \text{ м}^3. \quad (27.2)$$

Коэффициент теплопередачи можно определить

$$k = \frac{VC_p}{F\tau} \ln \frac{t_1 - t_3}{t_2 - t_3}, \text{ ккал/м}^2\text{ч}^\circ\text{C}, \quad (27.3)$$

где  $\tau$  – время, в течении которого необходимо обеспечить нахождение и слив легковоспламеняющихся и горючих жидкости, ч;

$C_p$  – теплоемкость мазута, ккал/м<sup>3</sup>°C;

$t_1$  – температура налива, °C;

$t_2$  – температура застывания, °C;

$t_3$  – средняя температура воздуха, °C;

В качестве изоляционного материала можно принять войлок смешанный с асбестом с коэффициентом теплопроводности  $\lambda=0,04$  ккал/м·ч°С.

Толщина слоя изоляции

$$B = \frac{\lambda}{k}, \text{ м.} \quad (27.4)$$

## 27.2. Задания для самостоятельного решения

1. Необходимо в цистерне диаметром  $d=2,4$  м и длиной  $L=7,6$  м обеспечить возможность 200-часового нахождения и слива замерзшего мазута. Температура налива  $t_1 = 30$  °C, температура застывания  $t_2 = 15$  °C, средняя температура воздуха  $t_3 = -10$  °C. Теплоемкость мазута  $C_p = 400$  ккал/м<sup>3</sup> °C.

2. Необходимо в цистерне диаметром  $d=1,8$  м и длиной  $L=6,5$  м обеспечить возможность 200-часового нахождения и слива замерзшего мазута. Температура налива  $t_1 = 30$  °C, температура застывания  $t_2 = 15$  °C, средняя температура воздуха  $t_3 = -6$  °C. Теплоемкость мазута  $C_p = 400$  ккал/м<sup>3</sup> °C.

3. Необходимо в цистерне диаметром  $d=2,5$  м и длиной  $L=8$  м обеспечить возможность 200-часового нахождения и слива замерзшего мазута. Температура налива  $t_1 = 30$  °C, температура застывания  $t_2 = 15$  °C, средняя температура воздуха  $t_3 = -12$  °C. Теплоемкость мазута  $C_p = 400$  ккал/м<sup>3</sup> °C.

4. Необходимо в цистерне диаметром  $d=2,8$  м и длиной  $L=8,2$  м обеспечить возможность 200-часового нахождения и слива замерзшего мазута. Температура налива  $t_1 = 30$  °C, температура застывания  $t_2 = 15$  °C, средняя температура воздуха  $t_3 = -15$  °C. Теплоемкость мазута  $C_p = 400$  ккал/м<sup>3</sup> °C.

5. Необходимо в цистерне диаметром  $d=2,9$  м и длиной  $L=7$  м обеспечить возможность 200-часового нахождения и слива замерзшего мазута. Температура налива  $t_1 = 30$  °C, температура застывания  $t_2 = 15$  °C, средняя температура воздуха  $t_3 = -7$  °C. Теплоемкость мазута  $C_p = 400$  ккал/м<sup>3</sup> °C.

## 28. Динамика развития пожара

### 28.1. Общие сведения

Основными геометрическими параметрами, характеризующими развитие пожара, являются:

- площадь пожара;
- периметр пожара;
- средняя скорость увеличения площади пожара.

Расчётная величина площади пожара зависит от места возникновения горения, рода горючих материалов, объёмно-планированных решений объекта, характеристики конструктивных элементов и др. факторов. Площадь пожара можно приравнять к площадям правильных геометрических фигур: прямоугольника, круга, кругового сектора.

Линейная скорость распространения горения по поверхности в первые десять минут принимается равной половине табличной величины (табл. 28.1) и путь, пройденный фронтом пламени, определяется по формуле

$$L = 0,5 \cdot V_{\text{лин}} T_{\text{св.р}} \text{ м}, \quad (28.1)$$

где  $L$  – путь, пройденный фронтом пламени, м;

$V_{\text{лин}}$  – линейная скорость распространения пламени, м/мин;

$T_{\text{св.р}}$  – время свободного развития пожара (до 10 мин), мин.

Таблица 28.1

*Среднее значение линейной скорости распространения горения*

Горючие материалы или объекты пожара	Среднее значение линейной скорости распространения огня, м/мин.
1. Административные здания	1,0 – 1,5
2. Жилые дома	0,5 – 0,8
3. Коридоры и галереи	4,0 – 5,0
4. Библиотеки, книгохранилища, архивохранилища	0,5 – 1,0
5. Склады торфоплит в штабелях	0,8 – 1,0
6. Склады лесоматериалов:	
круглый лес в штабелях	0,4 – 1,0
пиломатериалы (доски)	1,0 – 4,0
7. Объекты транспорта:	
гаражи, трамвайные и троллейбусные депо	0,5 – 1,0
ремонтные залы ангаров	1,0 – 1,5
8. Синтетический и натуральный каучук, резинотехнические изделия:	
в закрытом складе	0,4 – 1,0
на открытой площадке	0,7 – 2,0
в производительном цехе	0,3 – 1,0
9. Деревообрабатывающие предприятия:	
сушилки	2,0 – 2,5
цехи по производству фанеры.	0,8 – 1,5

Если время свободного развития пожара более 10 мин, то путь, пройденный фронтом пламени, можно определить по формуле

$$L = 5V_{\text{лин}} + V_{\text{лин}} (T_{\text{св.р}} - 10), \text{ м}, \quad (28.2)$$

где  $5V_{\text{лин}}$  – путь, пройденный фронтом пламени в первые 10 мин, м.

При прямоугольном развитии площадь пожара определяется по формулам:

при одностороннем развитии пожара

$$S_n = a \cdot L, \quad (28.3)$$

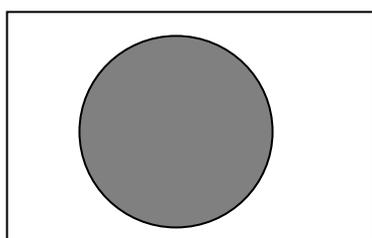
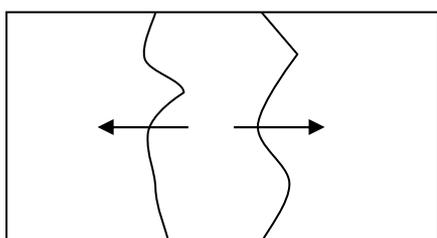
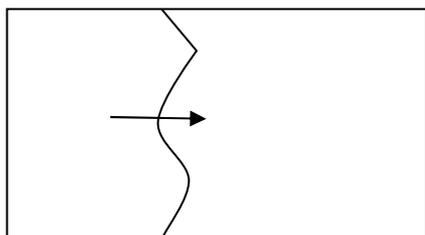
где  $a$  – наименьшая сторона помещения, м.

Эта формула применяется, если пожар возник в торце помещения, при  $L$  больше  $0,5a$ .

при двухстороннем развитии пожара

$$S_n = 2a \cdot L, \quad (28.4)$$

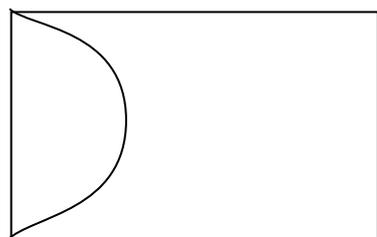
Применяется при возникновении пожара в центре помещения и при  $L$  больше чем  $0,5a$ .



При круговом развитии пожара и круговом секторе площадь пожара определяется по формуле

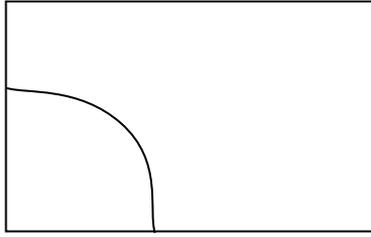
$$S_n = \pi \cdot R^2, \quad (28.5)$$

где  $R$  – радиус, который равен  $L$  м; при этом  $L \leq a/2$ ;



$$S_n = 0,5 \pi R^2, \quad (21.6)$$

при этом  $L \leq a/2$ ;



$$S_{\text{п}} = 0,25 \pi R^2, \quad (28.7)$$

при этом  $L \leq a$ ;

Периметр пожара зависит от формы площади пожара и определяется по следующим формулам:

- при прямоугольном одностороннем развитии

$$P = 2(a + L), \quad (28.8)$$

- при прямоугольном развитии в двух направлениях

$$P = 2(a + 2L), \quad (28.9)$$

- при круговом развитии

$$P = 2\pi R, \quad (28.10)$$

- при полукруговом развитии

$$P = \pi R + 2\pi R, \quad (28.11)$$

- при угловом развитии (в этом случае угол, внутри которого происходит развитие пожара, равен  $90^\circ$ )

$$P = 0,5\pi R + 2\pi R. \quad (28.12)$$

Скорость роста площади пожара определяется по формуле

$$V_s = \frac{Sn}{T}, \text{ м}^2/\text{мин}, \quad (28.13)$$

где  $T$  – время развития пожара до момента локализации пожара, мин.

## 28.2. Задания для самостоятельного решения

1. Пожар возник в центре цеха по производству фанеры. Размер цеха  $48 \times 16$  м. Определить площадь и периметр пожара, если время свободного развития пожара составляет 15 мин.

2. Пожар возник в торце чердачного помещения размерами в плане  $20 \times 65$  м. Определить площадь пожара через 13 мин. свободного горения, если  $V_{\text{лин}} = 1,5$  м/мин.

3. Пожар возник в углу сгораемого перекрытия цеха. Определить площадь пожара через 17 мин. свободного горения, если  $V_{\text{лин}} = 1$  м/мин., размеры покрытия  $36 \times 72$  м.

4. Пожар возник в торце склада закрытого хранения синтетического каучука размерами  $100 \times 500$  м. Время развития пожара 20 мин. Определить площадь и периметр пожара.

5. На открытой площадке размером  $50 \times 50$  м горит синтетический каучук. Определить площадь пожара на 20-й, 30-й минутах свободного развития пожара, если он возник в центральной части склада.

## Заключение

Практические занятия по курсу «Безопасность жизнедеятельности» в процессе обучения студентов являются важнейшим этапом освоения дисциплины. Полученные знания позволят студентам в будущей профессиональной деятельности обеспечить как свою безопасность, так и безопасность жизнедеятельности возглавляемых ими коллективов. Они ознакомятся со средствами защиты от опасных факторов производственной среды, научатся выявлять и оценивать качественные и негативные количественные факторы окружающей среды, разрабатывать методы, способы и средства защиты от них.

Настоящее пособие поможет будущим специалистам более четко и уверенно ориентироваться в мире опасностей и находить эффективные методы защиты от них.

## Библиографический список рекомендуемой литературы

1. Арустамов, Э.А. Экологические основы природопользования: учебник Э.А. Арустамов, И.В. Левакова, Н.В., Баркалова. – М.: изд-во «Дашков и К», 2007. – 316 с.
2. Колотушкин, В. В. Безопасность жизнедеятельности: лаб. практикум/ В.В. Колотушкин, Э.В. Соловьева, Н.В. Заложных; Воронеж. гос. арх.-строит. ун-т. – Воронеж, 2007. – 74 с.
3. Севрюкова, Е.А. Надзор и контроль в сфере безопасности: учебник для бакалавров/ Е.А. Севрюкова; под общ. ред. В.И. Каракеяна. – М.: изд-во Юрайт, 2014. – 397с.
4. СанПиН 2.2.4.1191-03. Физические факторы производственной среды. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2003. – 38 с.
5. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – СПб.: изд-во ДЕАН, 2004. – 80 с.
6. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение. – М.: Стройиздат, 1996. – 33с.
7. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции / Росстрой России. – М.: ГУП ЦПП, 2002. – 30 с.
8. Тимофеева, С.С. Технология средств и систем защиты: практикум/ С.С. Тимофеева, Т.И. Дроздова. – Иркутск: изд-во ИрГТУ, 2013. – 68 с.
9. Электромагнитные излучения, создаваемые телевизионными станциями: метод. указания к выполнению практических задач/ сост. О.В. Маслеева, А.Б. Елькин, Т.И. Курагина. – Н. Новгород, 2005. – 9 с.
10. Электрическое поле и шум, создаваемые воздушными линиями электропередач высокого напряжения: метод. указания по выполнению практических работ/ сост. О.В. Маслеева, Т.И. Курагинв. – Н. Новгород, 2005. – 9 с.

## Оглавление

1. Безопасные условия разработки грунтов.....	3
1.1. Общие сведения.....	3
1.2. Пример решения задачи.....	7
1.3. Задания для самостоятельного решения .....	9
2. Освещенность участка дороги.....	10
2.1. Общие сведения.....	10
2.2. Пример решения задачи.....	11
3. Прожекторное освещение.....	12
3.1. Общие сведения.....	12
3.2. Задания для самостоятельного решения .....	15
4. Расчет заземляющих устройств.....	15
4.1. Общие сведения.....	15
4.2. Задания для самостоятельного решения.....	19
5. Электромагнитная напряженность, создаваемая телевизионными передающими антеннами.....	20
5.1. Общие сведения.....	20
5.2. Пример расчета .....	22
5.3. Задания для самостоятельного решения .....	24
6. Электромагнитные излучения, создаваемые телевизионными станциями.....	26
6.1. Общие сведения.....	26
6.2. Задания для самостоятельного решения .....	26
7. Расчет электрического поля воздушных линий.....	27
7.1. Общие сведения.....	27
7.2. Задания для самостоятельного решения .....	31
8. Расчёт шума воздушных линий.....	31
8.1. Общие сведения.....	31
8.2. Задания для самостоятельного решения .....	32
9. Расчет звукового давления в рабочем помещении.....	33
9.1. Общие сведения.....	33
9.2. Задания для самостоятельного решения .....	35
10. Расчёт уровней шума транспортных потоков на территории жилой зоны.....	37
10.1. Общие сведения.....	37
10.2. Пример решения задачи .....	46
10.3. Задания для самостоятельного решения .....	50
11. Расчет тепловой изоляции горячих поверхностей.....	52
11.1. Общие сведения .....	52
11.2. Задания для самостоятельного решения .....	55
12. Отопление кабины строительной машины.....	56
12.1. Общие сведения .....	56

12.2. Задания для самостоятельного решения .....	57
13. Расчет площади приточных и вытяжных проемов.....	58
13.1. Общие сведения .....	58
13.2. Задания для самостоятельного решения .....	59
14. Устойчивость кранов.....	60
14.1. Общие сведения .....	60
14.2. Пример решения задачи.....	66
15. Определение потребного воздухообмена.....	66
15.1. Общие сведения .....	66
15.2. Задания для самостоятельного решения .....	67
16. Прогнозирование глубины зон заражения сильнодействующих ядовитых веществ.....	68
16.1. Общие сведения .....	68
16.2. Задания для самостоятельного решения .....	71
17. Определение глубины и площади зоны заражения при разрушении химически опасного объекта (ХОО).....	72
17.1. Общие сведения .....	72
17.2. Задания для самостоятельного решения .....	74
18. Взрыв газоздушных смесей в открытом пространстве.....	74
19. Взрывы газопароздушных смесей в производственных помещениях.....	77
19.1. Общие сведения .....	77
19.2. Задания для самостоятельного решения .....	79
20. Взрывы пылевоздушных смесей.....	80
20.1. Общие сведения .....	80
20.2. Задания для самостоятельного решения .....	81
21. Взрывы при аварийной разгерметизации магистрального газопровода	81
21.1. Общие сведения .....	81
21.2. Задания для самостоятельного решения .....	84
22. Пожарная профилактика при эксплуатации строительных машин....	85
22.1. Общие сведения .....	85
22.2. Задания для самостоятельного решения .....	86
23. Оценка пожаровзрывоопасности среды внутри технологического оборудования.....	87
23.1. Общие сведения .....	87
23.2. Задания для самостоятельного решения .....	88
24. Пожарная опасность выхода горючих веществ из поврежденного технологического оборудования.....	89
24.1. Общие сведения .....	89
24.2. Задания для самостоятельного решения .....	90
25. Расчет критериев взрывопожарной опасности помещений.....	91
25.1. Общие сведения .....	91
25.2. Задания для самостоятельного решения .....	96

26. Пожароопасность производства.....	97
26.1. Общие сведения .....	97
26.2. <b>Задания для самостоятельного решения</b> .....	98
27. Хранение легковоспламеняющихся жидкостей при отрицательных температурах.....	99
27.1. Общие сведения .....	99
27.2. <b>Задания для самостоятельного решения</b> .....	100
28. Динамика развития пожара.....	101
28.1. Общие сведения .....	101
28.2. <b>Задания для самостоятельного решения</b> .....	103
Заключение.....	104
Библиографический список рекомендуемой литературы.....	104

Учебное издание

Соловьева Эльвира Владимировна  
Колотушкин Виктор Васильевич

***Безопасность жизнедеятельности***

*Сборник задач  
для студентов строительных специальностей*

Подписано в печать 28. 06. 2016. Формат 60x84 1/16. Уч.-изд. л. 6,6 . Усл.-печ. л. 6,7.  
Бумага писчая. Тираж 150 экз. Заказ № 240.

---

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства учебной  
литературы и учебно-методических пособий Воронежского ГАСУ  
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84