

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Производственная безопасность»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТИ
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ»
(БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА)

Ростов-на-Дону
ДГТУ
2023

УДК 69.05:658.382 (076.5)

Составители: С.Л. Пушенко, В.И. Гаршин, А.Г. Хвостиков, В.В. Киреева,
Д.М. Кузнецов, В.В. Дудник, П.В. Туник

Методические указания для выполнения расчетной части контрольной работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» (безопасность труда) / сост. С.Л. Пушенко, В.И. Гаршин, А.Г. Хвостиков, В.В. Киреева, Д.М. Кузнецов, В.В. Дудник, П.В. Туник. – Ростов-на-Дону : Донской гос. техн. ун-т, 2023. – 46 с.

Содержат задачи к контрольной работе, систематизированные по разделам курса. Предназначены для студентов всех специальностей и направлений подготовки заочной и очно-заочной формы обучения.

УДК 69.05:658.382 (076.5)

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Донского государственного технического университета

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Безопасность технологических процессов и производств» д-р техн. наук, профессор С.Л. Пушенко

В печать 9.01.2023 г.
Формат 60×84/16. Объем 2,9 усл. п. л.
Тираж 100 экз. Заказ № 3

Издательский центр ДГТУ
Адрес университета и полиграфического предприятия:
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный
технический университет, 2023

1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

1.1. Расчет производительности местной вентиляции

При общеобменной вентиляции происходит обмен воздуха во всем помещении. Она применяется тогда, когда выделения вредных веществ незначительны и равномерно удалены по всему объему помещения.

Местная вентиляция действует непосредственно на рабочем месте. Она может быть вытяжной и приточной. Вытяжную вентиляцию предусматривают непосредственно в местах образования вредных выбросов, например, у гальванических ванн, у пылящих агрегатов, у электро- и газосварочных постов. Местную приточную вентиляцию осуществляют в виде воздушных завес, душей, оазисов, которые улучшают микроклимат в ограниченной зоне помещения. Определим необходимый расход воздуха для проветривания участка, $\text{м}^3/\text{ч}$

$$L_{\text{мест}} = F \cdot V \cdot 3600, \quad (1.1)$$

где F - площадь открытого сечения вытяжного устройства; м^2 , V - скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$. Данные, необходимые для расчета местной вентиляции, приведены в табл. 1.1.1.

Задание. Рассчитать производительность местной вентиляции.

Дано (вариант 1): На медницком участке, где осуществляется пайка узлов, деталей, их предварительное травление выделяются вредные вещества, и над рабочими местами установлены воздухозаборники, общей площадью $F = 12 \text{ м}^2$. За стеной установлен вентилятор, который обеспечивает скорость вытяжки воздуха через воздухозаборники, $V = 0,5 \text{ м}/\text{с}$.

Решение. Подставив исходные данные в формулу (1.1), получим

$$L_{\text{мест}} = 12 \cdot 0,5 \cdot 3600 = 21600 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } 6 \text{ м}^3/\text{с}$$

Ответ: $L_{\text{мест}} = 21600 \text{ м}^3/\text{ч}$, или $L_{\text{мест}} = 6 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 1.1.1

Исходные данные

№ варианта	F, м^2	V, $\text{м}/\text{с}$	№ варианта	F, м^2	V, $\text{м}/\text{с}$	№ варианта	F, м^2	V, $\text{м}/\text{с}$
1	12	0,5	5	14	1,2	8	20	0,9
2	10	0,6	6	15	1,1	9	18	1,6
3	15	0,8	7	17	1,3	10	16	1,0
4	14	0,7						

1.2. Расчет количества воздуха при естественной вентиляции (аэрации) и определение реальной концентрации токсических веществ в воздухе при проведении малярных работ в помещении

По способу подачи в помещение свежего воздуха и удаления загрязненного системы вентиляции делят на естественную, механическую и смешанную. При естественной вентиляции воздухообмен осуществляется за счет разности удельного веса теплого воздуха, находящегося внутри помещения, и более холодного воздуха, поступающего снаружи, а также за счет ветра. Организованный и регулируемый воздухообмен называется аэрацией: через фрамугу и окна подается холодный воздух, а через вытяжные фонари выходит теплый.

Расчет вентиляции, в том числе аэрации, основан на обеспечении баланса воздухообмена: массовое количество воздуха, входящего в здание за единицу времени, равно массовому количеству воздуха, выходящего из здания

$$\sum G_{\text{пр}} = \sum G_{\text{выг.}}, \quad (1.2)$$

где $G_{\text{пр}}$ и $G_{\text{выг.}}$ - соответственно количество воздуха, поступающего и удаляемого из помещения в единицу времени.

Недостаток естественной вентиляции состоит в том, что приточный воздух вводится в помещение без предварительной очистки и подогрева, а удаляемый воздух не очищается и загрязняет атмосферу. На большинстве предприятий, в том числе в машиностроении, применяется смешанная вентиляция, сочетающая естественную и механическую. При аэрации количество воздуха, подаваемого в помещение для обеспечения требуемых условий воздушной среды, $\text{м}^3/\text{ч}$, рассчитывается с помощью выражения

$$L_{\text{вр}} = V_{\text{ср}} \cdot \sum S \cdot 3600, \quad (1.3)$$

где $V_{\text{ср}}$ - средняя скорость движения воздуха, $\text{м}/\text{с}$; $\sum S$ - суммарная площадь открытых проемов, м^2 .

Задание. Рассчитать количество воздуха при естественной вентиляции (аэрации) и определить реальную концентрацию токсичных веществ в воздухе при проведении малярных работ в помещении. Исходные данные для расчета приведены в табл.1.2.1.

Дано (вариант 1): $S = 20 \text{ м}^2$, содержание летучих компонентов в красителе $B = 40 \%$, удельный расход краски $p = 45 \text{ г}/\text{м}^2$, проветривание помещения осуществляется через 3 форточки размером $S_{\text{ф}} = 0,6 \cdot 0,4 \text{ м}^2$, фактическое время проветривания $t_{\text{ф}} = 45 \text{ мин}$, $T = 1 \text{ ч}$, количество маляров $n = 2$, $V_{\text{ср}} = 0,4 \text{ м}/\text{с}$; $\sum S = 3 \cdot 0,6 \cdot 0,4 \text{ м}^2$.

Решение

1. Определим воздухообмен по формуле (1.3).

$$L_{\text{вр}} = V_{\text{ср}} \sum S \cdot 3600 = 0,4 \cdot 3600 \cdot 3 \cdot 0,6 \cdot 0,4 = 1036,8 \text{ м}^3/\text{ч},$$

но так как $t_{\text{ф}} = 45 \text{ мин}$, то $L'_{\text{вр}} = L_{\text{вр}} \cdot t' = \frac{1036,8 \cdot 45}{60} = 777,6 \text{ м}^3/\text{ч}$, где $t' = \frac{t_{\text{ф}}}{60}$; 60 — 1 час. Данные, необходимые для расчета, приведены в табл. 1.2.

2. Определим количество паров растворителя ($\text{г}/\text{ч}$), выделившихся при работе маляров

$$C = B \cdot p \cdot \Pi \cdot n, \quad (1.4)$$

где Π - производительность труда маляра; $\Pi = \frac{S}{T}$, $\text{м}^2/\text{ч}$; S - площадь окрашенной поверхности, м^2 , за время $T=1 \text{ ч}$; n - количество маляров, в данном случае $n = 2$; $B = 40 \%$ или $B = 0,4$. Подставив данные из условия задачи, получим

$$C = 0,4 \cdot 45 \cdot 20 \cdot 2 = 720 \text{ г}/\text{ч}$$

3. Определим реальную концентрацию ксилола в воздухе помещения

$$C' = \frac{C \cdot T}{L'_{\text{вр}}} = \frac{720 \cdot 1}{777,6} = 0,926 \text{ г}/\text{м}^3.$$

- Ответ:** 1. Количество воздуха при естественной вентиляции $L'_{вр} = 777,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.
2. Реальная концентрация ксилола $C' = 0,926 \text{ г/м}^3$.

Таблица 1.2.1

Исходные данные для расчетов ($B = 0,4$; $p = 45$; $T = 1 \text{ ч}$)

№ вариан-та	$V_{ср}, \text{ м/с}$	$\sum S_{ф}, \text{ м}^2$	$S, \text{ м}^2$	n	$t_{ф}, \text{ мин}$	№ вариан-та	$V_{ср}, \text{ м/с}$	$\sum S_{ф}, \text{ м}^2$	$S, \text{ м}^2$	n	$t_{ф}, \text{ мин}$
1	0,4	$2 \cdot 0,8 \cdot 0,4$	20	2	45	6	0,4	$1 \cdot 0,6 \cdot 0,4$	20	2	45
2	0,45	$3 \cdot 0,6 \cdot 0,5$	25	3	50	7	0,8	$2 \cdot 1,4 \cdot 0,6$	25	2	45
3	0,5	$4 \cdot 1,0 \cdot 0,6$	15	2	35	8	0,6	$3 \cdot 1 \cdot 0,5$	18	2	45
4	0,55	$3 \cdot 2,5 \cdot 2,0$	18	3	40	9	0,5	$4 \cdot 1 \cdot 0,4$	15	2	45
5	0,6	$5 \cdot 3 \cdot 2,0$	19	4	50	10	3,2	$4 \cdot 2,5 \cdot 1,8$	17	4	55

1.3. Расчет необходимого количества воздуха для проветривания помещения при явном избытке влаги

По назначению различают вентиляцию общеобменную, местную и комбинированную. При общеобменной вентиляции происходит обмен воздуха во всем помещении. Если в производственном помещении повышенная влажность, то количество воздуха, подаваемого в помещение, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется по формуле

$$L_{вр} = L_{уд} + \frac{W - \rho L_{уд}(d_{уд.з} - d_{п})}{\rho(d_{уд} - d_{п})}, \quad (1.5)$$

где $L_{уд}$ - расход воздуха, удаляемого из рабочей зоны, г/кг ; W - избыток влаги в помещении, г/ч ; ρ - плотность воздуха при температуре помещения, кг/м^3 ; $d_{уд.з}$ - содержание влаги в воздухе, удаляемом из рабочей зоны, г/кг ; $d_{п}$ - влагосодержание воздуха, подаваемого в помещение, г/кг ; $d_{уд}$ - влагосодержание воздуха, находящегося за пределами рабочей зоны, г/кг .

Величина $d_{уд.з}$ должна соответствовать нормальному содержанию влаги в воздухе при плотности воздуха, равной $1,2 \text{ кг/м}^3$, соответствующей температуре 20°C и нормальному атмосферному давлению. Зависимость плотности воздуха от температуры при нормальном атмосферном давлении представлена в табл. 1.3.1.

Таблица 1.3.1

Температура, $^\circ\text{C}$	- 20	-10	0	10	20	40
Плотность, кг/м^3	1,39	1,34	1,29	1,24	1,2	1,12

Влагосодержание - это отношение плотности водяных паров к плотности воздуха, т.е.

$$X = \frac{\rho_{п}}{\rho_{с}}, \quad (1.6)$$

где $\rho_{п}$ и $\rho_{с}$ - плотность водяного пара и сухого воздуха соответственно, кг/м^3 .

Количество водяного пара, содержащегося в 1 м^3 влажного воздуха, называется абсолютной влажностью воздуха, или - парциальной плотностью водяного пара. Содержание паров в воздухе может увеличиваться в зависимости от температуры до предела его насыщения. В свою очередь абсолютная влажность воздуха в насыщенном состоянии увеличивается с ростом температуры. И

наоборот, эти же параметры уменьшаются при снижении температуры (точка росы, иней). Влагосодержание может быть определено также с помощью давления и газовых постоянных. Так, уравнение состояния (Клапейрона–Менделеева) влажного воздуха имеет вид

$$\frac{P}{\rho} = R \cdot T, \quad (1.7)$$

где P - давление воздуха, Па; T - абсолютная температура, К; R - удельная газовая постоянная, Дж/(кг·К).

Давление влажного воздуха по закону Дальтона можно выразить в виде

$$P = P_c + P_n, \quad (1.8)$$

где P_c , P_n - давление сухого воздуха и водяного пара соответственно, Па.

Аналогично определяется плотность воздуха

$$\rho = \rho_c + \rho_n. \quad (1.9)$$

Из выражений (1.6) и (1.7) с учетом (1.8) получим

$$X = \frac{R_c}{R_n} \cdot \frac{P_n}{P - P_n}, \quad (1.10)$$

где $R_c = 287,04$ Дж/(кг·К) - газовая постоянная сухого воздуха; $R_n = 461,66$ Дж/(кг·К) - газовая постоянная водяного пара.

Для того чтобы определить избыток влаги в помещении, следует использовать связь между температурой, абсолютной влажностью и давлением водяного пара, считая нормальной температуру 20°C. Необходимая информация содержится в табл. 1.3.2.

Таблица 1.3.2

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{пн}}, \text{г/м}^3$	$P_{\text{пн}}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{\text{пн}}, \text{г/м}^3$	$P_{\text{пн}}, \text{Па}$
-20	1,1	120,0	15	12,8	1693,2
-15	1,5	186,7	20	17,2	2319,8
-10	2,3	280,0	25	22,9	3546,4
-5	3,4	413,3	30	30,1	4213,0
0	4,9	613,3	35	39,3	5586,2
5	6,8	866,6	40	50,8	7319,4
10	9,4	1226,6	45	64,9	9519,2

Задание. Рассчитать необходимое количество воздуха для проветривания помещения при явном избытке влаги. Исходные данные для расчета приведены в табл.1.3.3.

Дано (вариант 1): В цехе парциальное давление $P_{\text{пн}} = 4213,0$ Па, что соответствует абсолютной влажности воздуха $\rho_{\text{пн}} = 30,1$ г/м³, $t_{\text{помещ}} = 30^\circ\text{C}$, $t_{\text{удел}} = 20^\circ\text{C}$, $t_{\text{поступ}} = 15^\circ\text{C}$, $K = 5 \frac{1}{\text{ч}}$, $V = 100$ м³.

Решение

1. Определить количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны

$$L_{\text{уд}} = V \cdot K = 5 \cdot 100 = 500 \text{ м}^3/\text{ч}$$

2. Определить избыток влаги в помещении при $t_{\text{помещ}} = 30^\circ\text{C}$, согласно табл. 1.3.2, $P_{\text{пн}} = 4213,0$ Па, что соответствует $\rho_{\text{пн}} = 30,1$ г/м³, тогда

$$\Delta\rho = \rho_{\text{пн}} \text{ при } 30^\circ\text{C} - \rho_{\text{пн}} \text{ при } 20^\circ\text{C} = 30,1 - 17,2 = 12,9 \text{ г/м}^3 \text{ и}$$

$$W = \Delta\rho \cdot V = 12,9 \cdot 100 = 1290 \text{ г/ч}$$

3. Определить $d_{\text{п}}$, $d_{\text{уд.}}$, $d_{\text{уд.з.}}$, используя табл. 1.3.1 и 1.3.2.

$$d_{\Pi} = \frac{\rho_{\text{пн поступ}}}{\rho_{\text{пост.}} \cdot V} = \frac{12,8}{1,22 \cdot 100} = 0,1049 \text{ г/кг},$$

$$d_{\text{уд}} = \frac{\rho_{\text{пн удел}}}{\rho_{\text{удель}} \cdot V} = \frac{17,2}{1,2 \cdot 100} = 0,1433 \text{ г/кг},$$

$$d_{\text{уд.з}} = d_{\text{уд}} \cdot 0,6 = 0,1433 \cdot 0,6 = 0,086 \text{ г/кг}.$$

4. Определить необходимое количество воздуха по формуле (1.5):

$$L_{\text{вр}} = 500 + \frac{1290 - 1,16 \cdot 500(0,086 - 0,1049)}{1,16(0,1433 - 0,1049)} = 500 + \frac{1290 + 10,962}{0,0445} =$$

$$= 500 + 29235,101 = 29735,101 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } 8,26 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ответ: $L_{\text{вр}} = 8,26 \text{ м}^3/\text{с}.$

Таблица 1.3.3

Исходные данные

№ вариан-та	$t_{\text{помещ.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{поступ.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{удал.}}, ^\circ\text{C}$	$V_{\text{пом.}}, \text{м}^3$	K	№ вариан-та	$t_{\text{помещ.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{поступ.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{удал.}}, ^\circ\text{C}$	$V_{\text{пом.}}, \text{м}^3$	$t_{\text{помещ.}}, ^\circ\text{C}$
1	30	15	20	100	5	6	35	5	20	150	7
2	25	10	20	150	8	7	30	15	20	200	11
3	35	15	20	250	17	8	25	10	20	300	8
4	30	10	20	350	11	9	30	15	20	400	12
5	40	5	20	450	8	10	35	15	20	500	9

1.4. Расчет необходимого количества воздуха для общеобменной вентиляции при загрязнении его вредными веществами

Вентиляция является одним из средств улучшения санитарно-гигиенических условий труда, в том числе снижения концентрации в воздухе пыли, вредных паров и газов, и нормализации метеорологических параметров воздуха. Вентиляцию в производственных зданиях обычно выполняют приточно-вытяжной. Механическая система вентиляции обязательно включает в себя один или несколько вентиляторов, подающих и (или) удаляющих воздух, причем на входе нередко используются калориферы, а на выходе - очистители. На большинстве предприятий, в том числе в машиностроении, применяется смешанная вентиляция, сочетающая естественную и механическую.

При общеобменной вентиляции происходит обмен воздуха во всем помещении. Она применяется тогда, когда выделения вредных веществ незначительны и равномерно распределены по всему объему помещения. Величина требуемого воздухообмена при общеобменной вентиляции зависит от вида и количества вредных веществ в воздухе. Для уменьшения концентрации пыли, вредных газов или паров, выделяющихся в производственном помещении, количество воздуха, подаваемого в помещение для обеспечения требуемых условий воздушной среды $L_{\text{вр}}, \text{м}^3/\text{ч}$, определяется по формуле

$$L_{\text{вр}} = L_{\text{уд}} + \frac{M - L_{\text{уд}}(Z_{\text{уд.з}} - Z_{\text{п}})}{(Z_{\text{уд}} - Z_{\text{п}})}, \quad (1.11)$$

где $L_{\text{уд}}$ - количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны, $\text{м}^3/\text{ч}$; M - количество вредных веществ, поступающих в помещение, $\text{мг}/\text{ч}$; $Z_{\text{уд.з}}$ - концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемых из помещения, $\text{мг}/\text{м}^3$; $Z_{\text{уд}}$ - концентрация

вредных веществ за пределами рабочей зоны, мг/м^3 ; $Z_{\text{п}}$ - концентрация вредных веществ в поступающем воздухе, мг/м^3 (обычно $Z_{\text{п}}=0$).

Величина $Z_{\text{уд.з}}$ должна равняться величине ПДК удаляемых веществ.

В тех случаях, когда количество вредных веществ велико или трудно определимо, расчет воздухообмена можно производить с помощью коэффициента кратности

$$L_{\text{уд}} = \kappa \cdot V, \quad (1.12)$$

где κ - кратность воздухообмена, определяющая, сколько раз в течение часа следует поменять воздух в помещении; V - объем помещения, м^3 .

В табл. 1.4.1 приведены данные по рекомендуемым кратностям воздухообмена в цехах ремонтных предприятий, которые можно использовать и относительно ряда других производств.

Таблица 1.4.1

Кратности воздухообмена в цехах ремонтных предприятий

Технологические объекты предприятия	Кратность воздухообмена
Участок наружной мойки и разборки машин	5
Участок диагностики и дефектовки	8
Участок окраски и сушки	17
Участок приготовления лаков и красок	11
Помещения очистных сооружений	8
Участок сварки	16
Участок вулканизации	6
Участок слесарный	6
Участок медницкий	11
Ремонт электрооборудования	15
Участок ремонта двигателей	21
Участок проверки топливной аппаратуры	9
Участок механический	8
Кузнечное отделение	20

Задание. Рассчитать необходимое количество воздуха для общеобменной вентиляции при загрязнении его вредными веществами. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.4.2.

Дано (вариант 1): На участке разборки машин в технологическом процессе используется вредное вещество, его среднесуточная ПДК = $0,3 \text{ мг/м}^3$. Загрязнение подаваемого на участок воздуха $Z_{\text{п}} = 0$. Концентрация вещества за пределами рабочей зоны $Z_{\text{уд}}=0,5 \text{ мг/м}^3$, объем помещения $V=100 \text{ м}^3$, кратность воздухообмена $\kappa=5$; количество вредного вещества, поступающего в помещение, $M=1800 \text{ мг/ч}$.

Решение

1. Определим количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны

$$L_{\text{уд}} = \kappa \cdot V = 5 \cdot 100 = 500 \text{ м}^3$$

2. Определим необходимое количество воздуха, используя формулу (1.11), с учетом того, что $Z_{\text{уд.з}} = \text{ПДК} = 0,3 \text{ мг/м}^3$

$$L_{\text{вр}} = 500 + \frac{1800 - 500 \cdot 0,3}{0,5} = 500 + 3300 = 3800 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Ответ: $L_{вр} = 3800 \text{ м}^3/\text{ч}$. С учетом КПД по полученной величине расхода воздуха можно из каталога выбрать вентилятор для общеобменной вентиляции в данном помещении. Если дается его производительность по воздуху в секунду, полученное значение следует разделить на 3600. Тогда $L_{вр} = 1,1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 1.4.2

Исходные данные

№ вариан-та	κ	V, м ³	M, мг/ч	Z _{уд.з} , мг/м ³	Z _{уд} , мг/м ³	№ вариан-та	κ	V, м ³	M, мг/ч	Z _{уд.з} , мг/м ³	Z _{уд} , мг/м ³
1	5	100	1800	0,3	0,5	6	6	200	1800	0,2	0,4
2	8	150	1200	0,25	0,7	7	11	150	1900	0,3	0,5
3	17	200	1300	0,05	0,2	8	15	100	2000	0,4	0,6
4	11	250	2500	0,25	0,4	9	21	150	2100	0,5	0,7
5	8	300	1900	0,1	0,2	10	9	200	2200	0,6	0,8

1.5. Расчет количество воздуха, необходимого для проветривания помещения при избытке теплоты

В помещении со значительными тепловыделениями объем приточного воздуха, необходимо для удаления избыточной теплоты (без учета количества теплоты, уносимой из помещения с воздухом, удаляемым через местные отсосы), определяется соотношением

$$L_{вр} = \frac{3600 Q_{изб}}{C_p \cdot \rho \cdot (T_y \cdot T_n)}, \quad (1.13)$$

где $Q_{изб}$ - избыточная теплота, Дж/с; C_p - удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К); ρ - плотность воздуха при 293 К (20°C), кг/м³, равная $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$; T_y - температура удаляемого воздуха, К; T_n - температура воздуха, подаваемого в помещение, К. T_y и T_n легко получить по обычному градуснику, прибавив к значению температуры в °С цифру 273, например 10°C соответствует 283 К, 0 °С = 273 К, 30°C = 303 К и т. д.

Количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы 1 кг воздуха нагреть на 1°C, называется теплоемкостью воздуха, отнесенной к единице веса, иначе - удельной теплоемкостью воздуха.

Различают теплоемкость воздуха при постоянном давлении C_p и при постоянном объеме C_v .

Значения теплоемкостей сухого воздуха при изменении температуры от 0 до 80 °С соответственно равны: $C_p = 0,239 - 0,241$ и $C_v = 0,170 - 0,172$ ккал/(кг·град). В системе СИ соответственно указанному диапазону $C_p = 999,999 - 1008,368$ Дж/(кг·К). Если предположить, что между температурой воздуха и его теплоемкостью существует линейная зависимость, то при 20°C величина $C_p = 1001,6728$ Дж/(кг·К), из выражения: $C_p = 999,999 + 0,1046125 \cdot t$.

Избыточная теплота, Дж/с, или Вт, по существу не что иное, как тепловая мощность источника тепловыделения, которая характеризуется теплосодержанием, Дж/кг. Только удаление этих избыточных килограммов (масс) нагретого воздуха со скоростью, имеющей размерность кг/с, может создать предпосылки для замещения этой массы воздуха свежим, более холодным воздухом. Мате-

матически это описывается как умножение величины теплосодержания на скорость удаления теплого воздуха, в размерности это выглядит - (Дж/кг)·(кг/с) = Дж/с. Поэтому формулу (1.13) можно представить в следующем виде:

$$L_{вр} = \frac{3600 \cdot \gamma \cdot \rho \cdot L_{уд}}{C_p \cdot \rho \cdot (T_y - T_n) \cdot 3600} = \frac{\gamma \cdot L_{уд}}{C_p \cdot (T_y - T_n)}, \quad (1.14)$$

где $L_{уд}$ - удаляемый из помещения воздух, с учетом, кратности воздухообмена (К), м³/ч. При $K=10$ и $V=90$ м³, $L_{уд}=900$ м³, где V - объем помещения.

В воздухе практически всегда присутствует вода в виде паров, которые при снижении температуры воздуха меняют агрегатное состояние, выпадая в виде росы или в виде инея. Теплосодержание влажного воздуха определяется

$$\gamma = C_p(t) + X(r + C_{пt}), \quad (1.15)$$

где γ - количество тепловой энергии, заключенное в 1 кг массы газа, Дж/кг; $r = 2,5 \cdot 10^6$ - скрытая теплота парообразования или удельная теплота испарения воды при 0 °С, Дж/кг; $C_{п} = 1890$ - средняя удельная теплоемкость водяного пара при нормальном давлении, Дж/(кг·К); t - температура, °С; $P = 101325$ Па; X - влагосодержание – отношение плотности водяных паров к плотности воздуха, кг/кг, т. е.

$$X = \frac{\rho_{п}}{\rho_{с}}, \quad (1.16)$$

где $\rho_{п}$ и $\rho_{с}$ - плотности сухого воздуха и водяного пара, кг/м³. Влагосодержание может быть определено также с помощью давления и газовых постоянных.

Так, уравнение состояния (Клайперона-Менделеева) влажного воздуха имеет вид

$$\frac{P}{\rho} = RT, \quad (1.17)$$

где P - давление воздуха, Па; ρ - плотность воздуха, кг/м³; T - абсолютная температура, К; R - газовая постоянная, Дж/(кг·К).

Давление влажного воздуха по закону Дальтона можно выразить в виде

$$P = P_{с} + P_{п}, \quad (1.18)$$

где $P_{с}$, $P_{п}$ - соответственно давление сухого воздуха и водяных паров, Па.

Из выражений (1.16) и (1.17) с учетом (1.18) получим

$$X = \frac{R_{с}}{R_{п}} \cdot \frac{P_{п}}{P - P_{п}}, \quad (1.19)$$

где $R_{с} = 287,04$ - газовая постоянная сухого воздуха, Дж/(кг·К); $R_{п} = 461,66$ - газовая постоянная водяных паров, Дж/(кг·К). Параметры водяных паров приведены в табл. 1.5.1.

Таблица 1.5.1

Параметры водяных паров

$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{п.н.}, \text{кг/м}^3$	$P_{п.н.}, \text{Па}$	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho_{п.н.}, \text{кг/м}^3$	$P_{п.н.}, \text{Па}$
- 20	1,1	120,0	15	12,8	1693,2
- 15	1,5	186,7	20	17,2	2319,8
- 10	2,3	280,0	25	22,9	3546,4
- 5	3,4	413,3	30	30,1	4213,0
0	4,9	613,3	35	39,3	5586,2
5	6,8	866,6	40	50,8	7319,4
10	9,4	1226,6	45	64,9	9519,2

Задание. Рассчитать количество воздуха, необходимое для проветривания помещения при избытке теплоты. Исходные данные для расчета приведены в табл.1.5.2.

Дано (вариант 1): Температура воздуха $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность $\psi = 0,6$ в долях единицы, кратность воздухообмена $K = 10$, объем помещения $V = 100\text{ м}^3$

Решение

1. Подставив значения газовых постоянных R_c и R_n с учетом парциального давления (табл. 1.8) и относительной влажности ψ в формулу (1.19), получим

$$X = \frac{0,622 \cdot P_{\text{п.н.}} \cdot \psi}{(P - P_{\text{п.н.}} \cdot \psi)}, \quad (1.20)$$

где $P_{\text{п.н.}}$ - парциальное давление;

P - давление воздуха в помещении, Па. $P_{\text{п.н.}}$ при 20°C равно 2319,8 Па.

Подставив уже известные значения в формулы (1.20), (1.19), (1.14), получим

$$X = \frac{0,622 \cdot 2319,8 \cdot 0,6}{(101325 - 2319,8 \cdot 0,6)} = 0,0087 \text{ кг/кг}.$$

2. Определим теплосодержание воздуха по формуле (1.15) при $C_p = 999,999 + 0,1046125 \cdot t = 999,999 + 0,1046125 \cdot 20 = 1001,6728 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}$

$$\gamma = 1001,6728 + 0,0087 \cdot (2,5 \cdot 10^6 + 1890 \cdot 20) = 23080,5328 \text{ Дж/кг}.$$

3. Определим необходимое количество воздуха, где $L_{\text{уд}} = K \cdot V$

$$L_{\text{вр}} = \frac{23080,5328 \cdot 1000}{1001,6728 \cdot 20} = 1152,1 \text{ м}^3/\text{ч} \text{ или } L_{\text{вр}} = \frac{1152,1}{3600} = 0,32 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ответ: $L_{\text{вр}} = 1152,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ или $L_{\text{вр}} = 0,32 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 1.5.2

Исходные данные ($T_n = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$)

№ варианта	$T_y=t, ^{\circ}\text{C}$	$\psi, \%$	K	$V, \text{ м}^3$	$P_{\text{п.н.}}$
1	20	60	10	100	2319,8
2	25	70	15	150	3546,4
3	30	80	20	200	4213,0
4	35	90	21	250	5586,2
5	40	70	18	300	7319,4
6	45	60	17	350	9519,2
7	20	50	16	400	2319,8
8	25	40	14	450	3546,4
9	30	30	15	500	4213,0
10	25	40	10	450	3546,4

1.6. Расчет производительности местной вентиляции для разбавления примесей и площади сечения воздухозаборников

При общеобменной вентиляции происходит обмен воздуха во всем помещении. Она применяется тогда, когда выделения вредных веществ незначительны и равномерно удалены по всему объему помещения.

Местная вентиляция действует непосредственно на рабочем месте. Она может быть вытяжной и приточной. Вытяжную вентиляцию делают непосредственно в местах образования вредных выбросов, например, у гальванических ванн, у пылящих агрегатов, у электро- и газосварочных постов. Местную приточную вентиляцию осуществляют в виде воздушных завес, душей, оазисов, которые улучшают микроклимат в ограниченной зоне помещения.

Конструктивно вытяжная вентиляция включает воздухозаборники, рукава и вентилятор, устанавливаемый за стеной помещения.

При расчете количества воздуха, необходимого для разбавления вредных примесей до уровня ПДК, можно использовать соотношение

$$L_{\text{вр}} = \frac{M}{\text{ПДК}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1.21)$$

где M - количество вредных веществ, выделяемых в воздухе рабочей зоны, мг/ч; ПДК - предельно-допустимая концентрация наиболее опасного вещества, выделяемого в воздух рабочей зоны (например, пары свинца на монтажном участке печатных плат).

Производительность местной вентиляции определяется по формуле

$$L_{\text{мест}} = F \cdot v \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1.22)$$

где F - сечение воздухозаборников, м^2 ; v - скорость движения воздуха, развиваемая местной вентиляцией, м/с, принимается от 0,5 до 1,7 м/с.

Очевидно, что производительность местной вентиляции должна соответствовать необходимому количеству воздуха

$$L_{\text{мест}} = L_{\text{вр}}, \quad (1.23)$$

или

$$F \cdot v \cdot 3600 = L_{\text{вр}} \quad (1.24)$$

Если площадь воздухозаборников неизвестна, определяют F из формулы (1.24)

$$F = \frac{L_{\text{вр}}}{v \cdot 3600}, \text{ м}^2 \quad (1.25)$$

Задание. Рассчитать производительность местной вентиляции для разбавления вредных примесей и площадь сечения воздухозаборников. Исходные данные для расчета приведены в табл.1.6.1.

Дано (вариант 1): На медницком участке, где осуществляется пайка узлов, деталей, их предварительное травление, выделяются вредные вещества, в частности окись меди, $\text{ПДК} = 0,2 \text{ мг}/\text{м}^3$ (среднесуточная), вещество 2 класса опасности. За стеной установлен вентилятор, который обеспечивает скорость вытяжки воздуха через воздухозаборники, равную 1,7 м/с. В воздух поступает 1800 мг/ч окислов меди.

Решение

$$1) L_{\text{вп}} = \frac{1800}{0,2} = 9000 \text{ м}^3/\text{ч}; \quad 2) F = \frac{9000}{1,7 \cdot 3600} = 1,47 \text{ м}^2,$$

Ответ: $L_{\text{вп}} = 9000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и $F = 1,47 \text{ м}^2$

Данные, необходимые для расчета местной вентиляции, приведены в табл. 1.6.1.

Таблица 1.6.1

Исходные данные

№ варианта	M , мг/ч	$ПДК$, мг/м ³	v , м/с	№ варианта	M , мг/ч	$ПДК$, мг/м ³	v , м/с	№ варианта	M , мг/ч	$ПДК$, мг/м ³	v , м/с
1	1800	0,2	1,7	5	2100	0,35	1,6	8	1000	1	0,7
2	1200	0,8	1,6	6	1300	0,2	1,3	9	1200	0,14	1,5
3	250	0,03	1,1	7	1000	0,03	1,0	10	1300	1	0,8
4	900	1	1,5								

1.7. Расчет системы местного освещения

Задание. Определить световой поток и подобрать тип лампы для местного освещения. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.7.1.

Дано (вариант 1): коэффициент запаса $K = 1,5$ (выбирается из табл. 1.7.1); нормированная освещенность $E = 220$ лк (выбирается из табл. 1.7.1); величина условной освещенности $e = 200$ (подбирается согласно графикам рис. 1.1, 1.2 и принимается ближайшее значение кривой); расстояние от проекции оси светильника $a = 23$ см (выбирается из табл. 1.7.1); высота установки светильника $h = 35$ см.

Решение

1. Определяем величину светового потока F , лм

$$F_{\text{л}} = \frac{K \cdot E}{e} \cdot 1000 = \frac{1,5 \cdot 220 \cdot 1000}{200} = 1650 \text{ лм}. \quad (1.26)$$

2. По данному световому потоку подбираем тип лампы (табл. 1.7.2; 1.7.3).

Ответ: Выбираем лампу ЛДЦ 30 со световым потоком 1650 лм.

Таблица 1.7.1

Исходные данные

№ варианта	Кэф. запаса мощ-ности, K	Наимен. освещ. E , лк	Высота установки светил., h , см	Расст. от проекции оси. светильника, a , см	№ варианта	Кэф. запаса мощ-ности, K	Наимен. освещ. E , лк	Высота установки светил., h , см	Расст. от проекции оси светильника, a , см
1	1,5	220	35	24	6	1,3	300	30	17
2	1,7	225	35	18	7	1,5	800	30	14
3	1,5	550	30	25	8	1,7	500	25	13
4	1,7	400	30	13	9	1,3	400	30	12
5	1,7	700	35	7	10	1,3	200	40	34

Таблица 1.7.2

Параметры ЛН местного освещения на напряжение 12, 24, 36 В

Тип ламп	Номинальные значения				
	E , лм	d_k , мм	l , мм	h , мм	I_0 , кд
МО 12–15	200	61	108	73	—
МО 12–25	380	61	108	73	—
МО 12–40	620	61	108	73	—
МО 12–60	1000	61	108	73	—
МО 24–25	350	61	108	73	—
МО 24–40	580	61	108	73	—
МО 24–60	950	61	108	73	—
МО 24–100	1740	66	129	94	—
МО 36–25	345	61	108	73	—
МО 36–40	580	61	108	73	—
МО 36–60	950	61	108	73	—
МО 36–100	1590	66	129	94	—
МОД 12–25	270	71	109	—	—
МОД 12–40	490	71	109	—	—
МОД 12–60	880	71	109	—	—
МОД 24–40	820	71	109	—	—

Тип ламп	Номинальные значения				
	E , лм	d_k , мм	l , мм	h , мм	I_0 , кд
МОД 24–60	950	71	109	—	—
МОД 24–100	1740	81	128	—	—
МОД 36–25	240	71	109	—	—
МОД 36–40	470	71	109	—	—
МОД 36–60	760	71	109	—	—
МОД 36–100	1380	81	128	—	150
МОЗ 12–40	400	71	109	—	245
МОЗ 12–60	660	71	109	—	160
МОЗ 24–40	420	71	109	—	250
МОЗ 24–60	680	71	109	—	450
МОЗ 24–100	1250	81	128	—	135
МОЗ 36–40	400	71	109	—	240
МОЗ 36–60	650	71	109	—	450
МОЗ 36–100	1200	81	128	—	—

Для ламп накаливания — первые два числа маркировки обозначают диапазон допустимых напряжений в В, третье - мощность в Вт.

Таблица 1.7.3

Световые и электрические параметры люминесцентных ламп (ГОСТ 6825—91)

Люминесцентные лампы		
Тип	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
1	2	3
ЛДЦ 20	820	41,0
ЛД 20	920	46,0
ЛБ 20	1180	59,0
ЛДЦ 40	1450	48,0
ЛД 30	1640	54,5
ЛБ 30	2100	70,0
ЛДЦ 40	2100	52,5
ЛД 40	2340	58,5
ЛБ 40	3120	78,0
ЛДЦ 80	3740	46,8
ЛД 80	4070	50,8
ЛБ 80	5220	65,3

1	2	3
Лампы накаливания		
Г-125-135-300	4900	16,6
Г-215-225-300	4610	16,6
Г-125-135-1000	19100	19,1

Для люминесцентных ламп - цифры после типа лампы обозначают мощность в Вт.

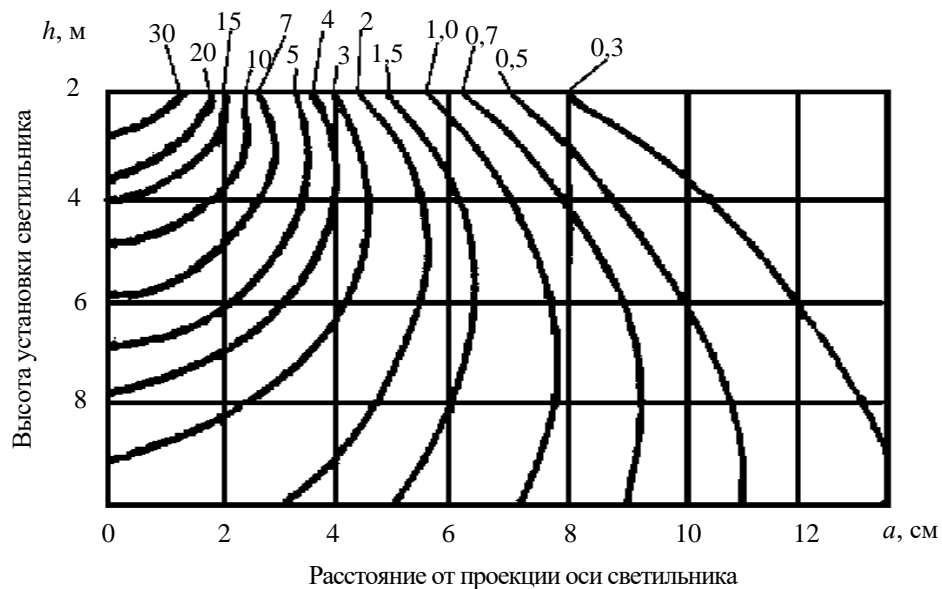


Рис. 1.1



Рис. 1.2

Задание. Определить световой поток F и подобрать стандартную лампу для общего освещения. Исходные данные для расчета приведены в табл.1.7.8.

Дано (вариант 1): нормированная минимальная освещенность $E = 500$ лк; ширина помещения $A = 12$ м; длина помещения $B = 18$ м; высота помещения $H = 6$ м; коэффициент запаса $K = 1,3$; коэффициент неравномерности освещения, его

значение для ламп накаливания ДРЛ $Z = 1,15$, для люминесцентных ламп $Z = 1,1$; N - число светильников в помещении; ni - коэффициент использования светового потока ламп (табл. 1.7.7).

Решение

1. Определим величину светового потока лампы F , лм

$$F = \frac{100 \cdot E \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot ni}, \quad (1.27)$$

где S - площадь цеха, м^2 .

$$S = A \cdot B = 12 \cdot 18 = 216 \text{ м}^2.$$

2. Находим общее число светильников N . Получившиеся нецелые значения N округлить до целых в большую сторону

$$N = N_{\text{дл}} \cdot N_{\text{ш}} = 54, \quad (1.28)$$

где $N_{\text{дл}}$ - число светильников по длине; $N_{\text{ш}}$ - число светильников по ширине.

$$N_{\text{дл}} = B/L = 18/2 = 9; \quad N_{\text{ш}} = A/L = 12/2 = 6.$$

3. Находим расстояние между соседними светильниками (или их рядами) (L)

$$L = \lambda \cdot h = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ м}, \quad (1.29)$$

где λ - выбирается из табл. 1.18; h - высота установки светильника над рабочей поверхностью, м;

4. Высота установки светильника h вычисляется по формуле

$$h = H - h_{\text{св}} - h_{\text{р.п.}} = 6 - 0,5 - 1,5 = 4 \text{ м}, \quad (1.30)$$

где $h_{\text{св}}$ - высота свеса светильника, м (табл. 1.7.8); $h_{\text{р.п.}}$ - высота рабочей поверхности, м (табл. 1.7.8).

5. Находим индекс помещения

$$i = \frac{A \cdot B}{h(A + B)} = \frac{12 \cdot 18}{4(12 + 18)} = 1,8. \quad (1.31)$$

Коэффициент использования светового потока (ni) находится по табл. 1.7.7 в зависимости от коэффициента отражения стен P_c и потолка P_n (табл. 1.7.8) и индекса помещения, i . Получившиеся нецелые значения i округлить до целых в большую сторону.

Подсчитав по формуле (1.27) световой поток лампы F по табл. 1.7.4 или 1.7.5 подобрать ближайшую стандартную лампу и определить электрическую мощность всей осветительной установки. В практике допускается отклонение потока выбранной лампы от расчетного до -10% и $+20\%$, в противном случае выбирают другую схему расположения светильников.

$$F = \frac{100 \cdot 500 \cdot 1,3 \cdot 216 \cdot 1,1}{54 \cdot 57} = 5017,5 \text{ лм}.$$

Ответ. Световой поток равен 5017,5 м. Выбираем лампу ЛБ 80 со световым потоком 5220 лм.

Таблица 1.7.4

Световые и электрические параметры ртутных ламп ДРЛ

Тип лампы (мощность, Вт)	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
ДРЛ 250	13000	52
ДРЛ 400	23000	57,5
ДРЛ 700	40000	57,1
ДРЛ 1000	57000	57

Таблица 1.7.5

**Световые и электрические параметры ламп накаливания
(ГОСТ 2239-79) и люминесцентных (ГОСТ 6825-91)**

Лампы накаливания			Люминесцентные лампы		
Тип	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт	Тип	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
В-125-135-15	135	9,0	ЛДЦ20	820	41,0
В-215-225-15	105	7,0	ЛД20	920	46,0
Б-125-135-40	485	12,0	ЛБ20	1180	59,0
Б-220-230-40	460	11,5	ЛДЦ40	1450	48,0
БК-125-135-100	1630	16,3	ЛД30	1640	54,5
БК-215-225-100	1450	14,5	ЛБ30	2100	70,0
Г-125-135-150	2280	15,3	ЛДЦ40	2100	52,5
Г-215-225-150	2090	13,3	ЛД40	2340	58,5
Г-125-135-300	4900	16,6	ЛБ40	3120	78,0
Г-215-225-300	4610	16,6	ЛДЦ80	3740	46,8
Г-125-135-1000	19100	19,1	ЛД80	4070	50,8
Г-215-225-1000	19600	18,6	ЛБ80	5220	65,3

Таблица 1.7.6

Рекомендуемые и допустимые значения $\lambda=L/h$

Тип КСС светильника	L/h	
	Рекомендуемые значения	Наибольшие допустимые значения
К	0,4-0,7	0,9
Г	0,8-1,2	1,4
Д	1,2-1,6	2,1
М	1,8-2,6	3,4
Л	1,4-2,0	2,3

Таблица 1.7.7

Коэффициент использования светового потока η_i

Светильник, %	НСП09			ВЗГ20			ЛСП02			ПВЛМ			РСР05		
P_n	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
P_e	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
i	Коэффициент использования η_i , %														
0,5	14	16	22	12	14	17	23	26	31	11	13	18	19	22	26
0,6	19	21	27	16	18	21	30	33	37	14	17	23	24	27	32
0,7	23	24	29	19	21	24	35	38	42	16	20	27	28	31	36
0,8	25	26	33	21	24	26	39	41	45	19	23	29	31	34	40
0,9	27	29	35	23	25	28	42	44	48	21	27	32	34	37	43
2,0	38	41	48	32	33	35	55	57	60	35	40	46	52	55	59
3,0	44	47	54	35	37	39	60	62	66	41	45	52	58	61	64
4,0	46	50	59	37	39	41	63	65	68	44	48	54	61	64	67
5,0	48	52	61	38	40	42	64	66	70	48	51	57	63	66	69

Таблица 1.7.8

Исходные данные

№ варианта	Размеры помещения, м			Коэффициент отражения, %		Коэффициент запаса, K	$\lambda = \frac{L}{h}$	$h_{св},$ м	$h_{р.п.},$ м	Освещенность, E , лк	Светильник	
	A	B	H	$\rho_{п}$	$\rho_{с}$						тип	ИС
1	12	18	6	50	30	1,3	0,5	0,5	1,5	500	ЛСП02	ЛЛ
2	10	15	6	50	30	1,3	0,5	0,5	1,5	500	ЛСП02	ЛЛ
3	12	24	12	50	30	1,7	0,8	0,6	1,0	100	РСП05	ДРЛ
4	14	26	12	30	10	1,7	0,4	0,6	1,0	200	РСП05	ДРЛ
5	12	12	8	70	50	1,3	0,5	0,5	1,5	200	ЛСП02	ЛЛ
6	12	18	5	30	10	1,5	1	0,4	1,6	100	ПВЛМ	ЛЛ
7	20	20	8	70	50	1,3	0,5	0,5	1,5	200	ЛСП02	ЛЛ
8	18	30	9	50	30	1,7	0,9	0,6	1,4	200	РСП05	ДРЛ
9	20	32	6	30	10	1,3	1,2	0,8	1,2	100	ЛСП02	ЛЛ
10	22	28	8	50	30	1,3	0,5	0,7	1,3	150	ПВЛМ	ЛЛ

Таблица 1.8.2

Исходные данные

№ варианта	Размер помещения			Коэффициенты		$e_n, \%$	τ_1	τ_2	τ_3	r_1	$\tau_{об}$	η_0	ρ_1	ρ_2	ρ_3
	$A, м$	$B, м$	$H, м$	K_3	$K_{зд}$										
1	50	100	12	1,3	1,5	4	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	1,1	0,6	0,4	0,2
2	50	100	12	1,5	1,7	3	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	1,2	0,6	0,4	0,2
3	50	100	12	1,5	1,7	2	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	1,7	0,6	0,4	0,2
4	50	100	12	1,5	1,7	1	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	3	0,6	0,4	0,2
5	50	100	12	1,5	1,7	0,5	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	7	0,6	0,4	0,2
6	50	100	12	1,5	1,7	0,2	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	17	0,6	0,4	0,2
7	50	100	12	1,5	1,7	0,3	0,9	0,7	0,6	1,05	0,378	12	0,6	0,4	0,2
8	50	100	12	1,5	1,7	0,1	0,9	0,7	0,8	1,15	0,504	20	0,6	0,4	0,2
9	30	80	9	1,4	1,4	4	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	1,2	0,6	0,4	0,2
10	30	80	9	1,4	1,4	3	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	1,5	0,6	0,4	0,2

1.8. Расчет естественного освещения

Площадь световых проемов рассчитывается при боковом освещении помещений по уравнению:

$$S_0 = \frac{S_{\text{п}} \cdot e_N \cdot k_3 \cdot \eta_0 \cdot k_{\text{зд}}}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1}, \quad (1.32)$$

где S_0 – площадь световых проемов, м²; $S_{\text{п}}$ – площадь пола помещения, м²; k_3 – коэффициент запаса; η_0 – световая характеристика окон; $k_{\text{зд}}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противоположными зданиями. Зависит от отношения расстояния P к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна (табл. 1.8.1);

Таблица 1.8.1

Исходные данные

$P/H_{\text{зд}}$	0,5	1	1,5	2	3 и более
$k_{\text{зд}}$	1,7	1,4	1,2	1,1	1

P – расстояние между рассматриваемым и противостоящим зданиями, м; $H_{\text{зд}}$ – высота расположения карниза противостоящего здания, м; r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражающемуся от поверхности повышения; τ_0 – общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3,$$

где τ_1 – коэффициент светопропускания материала; τ_2 – коэффициент, учитывающий потери света в переплетах светопроема; τ_3 – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (при боковом освещении $\tau_3 = 1$); средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_1 \cdot S_1 + \rho_2 \cdot S_2 + \rho_3 \cdot S_3}{S_1 + S_2 + S_3}, \quad (1.33)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – коэффициенты отражения потолка, стен, пола (табл. 1.18.2); S_1, S_2, S_3 – площади потолка, стен, пола.

Задание. Определить площадь световых проемов и средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения (табл. 1.8.2).

Дано (вариант 1): Глубина, длина, высота, световая характеристика окон, коэффициент запаса, учитывающий затемнение окон противоположными зданиями, зависящий от отношения расстояния P к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражающемуся от поверхности повышения, светопропускания материала, учитывающий потери света в переплетах светопроема, учитыва-

ющий потери света в несущих конструкциях, отражения потолка, стен, пола; площади потолка, стен, пола.

Решение

1) Общий коэффициент светопропускания, определяемый по формуле

$$\tau_0 = 0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,6 = 0,378$$

затем, площадь световых проемов

$$S_0 = \frac{S_{\text{п}} \cdot e_N \cdot k_3 \cdot \eta_0 \cdot k_{3\text{д}}}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1} = \frac{5000 \cdot 4 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{100 \cdot 1,05 \cdot 0,378} = 1080,9 \text{ м}^2$$

2) Средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{\rho_1 \cdot S_1 + \rho_2 \cdot S_2 + \rho_3 \cdot S_3}{S_1 + S_2 + S_3} = \frac{0,6 \cdot 5000 + 0,4 \cdot 2400 + 0,2 \cdot 5000}{5000 + 2400 + 5000} = 0,44$$

Ответ: $S_0 = 1080,9 \text{ м}^2$, $\rho_{\text{ср}} = 0,44$.

1.9. Определение уровня шума

Приблизленно октавный осредненный уровень шума, вызванного несколькими единицами оборудования, расположенного на небольшой площади можно рассчитать с помощью простого правила энергетического суммирования

$$L_{\text{сум}} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i} \right), \quad (1.34)$$

где L_i - уровень шума единицы оборудования участка;

n - количество единиц оборудования.

Превышение уровня над допустимым определяется

$$\Delta L = L_{\text{сум}} - L_{\text{доп}}, \quad (1.35)$$

где $L_{\text{доп}}$ - допустимый уровень шума.

Металлообрабатывающее оборудование, как правило, создает наибольший шум в октавных полосах 1000, 2000 Гц.

Таблица 1.9.1

Допустимые уровни шума в октавных полосах
для производственного помещения

Октавные полосы частот	1000 Гц	2000 Гц
Допустимый уровень для производственных помещений $L_{\text{доп}}$	80	78

Задание. Определить, превышает ли шум допустимое значение на производственном участке. Исходные данные принимаем по табл. 1.9.3.

Дано (вариант 1): Участок имеет три единицы оборудования с величинами уровней L_1, L_2, L_3 на частотах 1000 и 2000 Гц (табл. 1.9.2).

Таблица 1.9.2

Окт. полосы частот	1000	2000
1. L_1 , дБ	85	82
2. L_2 , дБ	88	84
3. L_3 , дБ	86	82

Решение

$$L_{\text{сум}1000} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 85} + 10^{0,1 \cdot 88} + 10^{0,1 \cdot 86}) = 92 \text{ дБ};$$

$$L_{\text{сум}500} = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 82} + 10^{0,1 \cdot 84} + 10^{0,1 \cdot 82}) = 87 \text{ дБ}.$$

Ответ. Результаты приводим в табличной форме.

Октавные полосы частот	1000	2000
1. L_1 , дБ	85	82
2. L_2 , дБ	88	84
3. L_3 , дБ	86	82
$L_{\text{сум}}$, дБ	92	87
$L_{\text{доп}}$, дБ	80	78
ΔL , дБ	12	9

В данном случае значения уровня шума превышают допустимые. Необходимо принимать меры для снижения уровня шума.

Таблица 1.9.3

Данные для расчета уровня шума

№ варианта	f , Гц	L_{p1} , дБ	L_{p2} , дБ	L_{p3} , дБ	№ варианта	f , Гц	L_{p1} , дБ	L_{p2} , дБ	L_{p3} , дБ
1	1000	85	88	86	6	1000	78	86	92
	2000	82	84	82		2000	95	77	88
2	1000	82	81	76	7	1000	77	73	79
	2000	77	80	75		2000	101	72	78
3	1000	69	79	74	8	1000	76	71	81
	2000	78	78	73		2000	75	70	92
4	1000	88	77	72	9	1000	74	71	100
	2000	91	101	71		2000	73	72	76
5	1000	75	76	70	10	1000	72	73	79
	2000	84	75	71		2000	71	74	68

1.10. Определение уровня виброускорения локальной вибрации

Интегральный уровень виброускорения при одновременном воздействии вибраций в нескольких частотных полосах определяется следующим образом:

$$L_a = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{ai} + L_{ki})}, \quad (1.36)$$

где L_{ai} - среднее квадратическое значение уровня виброускорения в i -й частотной полосе; L_{ki} - весовой коэффициент для i -й частотной полосы для среднего квадратического значения логарифмического уровня контролируемого параметра; n - количество октавных полос.

Весовые коэффициенты приведены в табл. 1.10.1.

Задание. Определить, превышен ли допустимый уровень виброускорения для локальной вибрации в октавных полосах частот и по интегральному показателю. Данные для расчетов приведены в табл. 1.10.3.

Дано (вариант 1): Заданы следующие данные виброускорения:
 $L_{a16} = 120$ дБ, $L_{a31} = 123$ дБ, $L_{a63} = 134$ дБ.

Таблица 1.10.1

Значения весовых коэффициентов L_{ki} (дБ) для локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Значение весовых коэффициентов			
	для виброускорения		для виброскорости	
	K_i	L_{ki}	K_i	L_{ki}
8	1,0	0	0,5	-6
16	1,0	0	1,0	0
31,5	0,5	-6	1,0	0
63	0,25	-12	1,0	
125	0,125	-18	1,0	0
250	0,063	-24	1,0	0
500	0,0315	-30	1,0	0
1000	0,016	-36	1,0	0

Таблица 1.10.2

Предельно допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_L, Y_L, Z_L ,			
	для виброускорения		для виброскорости	
	m^2/c	дБ	$m^2/c \cdot 10^{-2}$	дБ
8	1,4	123	2,8	115
16	1,4	123	1,4	109
31,5	2,8	129	1,4	109
63	5,6	135	1,4	109
125	11,0	141	1,4	109
250	22,0	147	1,4	109
500	45,0	153	1,4	109
1000	89,0	159	1,4	109
Корректированные и эквивалентные значения и их уровни	2,0	126	2,0	112

Решение. В соответствии с табл. 1.10.2 значения виброускорений в октавных полосах частот не превышают допустимые.

Для определения интегрированного уровня из табл. 1.10.1 выбираем весовые коэффициенты: $L_{k16} = 0$ дБ, $L_{k31,5} = -6$ дБ, $L_{k63} = -12$ дБ.

$$L_a = 10 \lg(10^{0,1(120+0)} + 10^{0,1(123-6)} + 10^{0,1(134-12)}) = 124,89 \text{ дБ.}$$

Ответ: Значение интегрированного показателя не превышает допустимый уровень 126 дБ.

Таблица 1.10.3

Значения уровней виброускорения производственного оборудования

№ варианта	Октавные полосы частот		
	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
1	2	3	4
1	120	123	134
2	122	121	122
3	119	122	124
4	118	123	125
5	115	124	126
6	116	125	127
7	117	126	128

1	2	3	4
8	121	127	129
9	122	128	129
10	114	121	130

1.11. Определение эффективности защиты от внешнего γ -излучения количеством, временем и расстоянием. Проверка толщины защитного экрана при работе с γ -дефектоскопом

Задание. Определить эффективность защиты от внешнего γ -излучения количеством, временем и расстоянием. Проверить толщину используемого защитного экрана при работе с γ -дефектоскопом.

Дано (вариант 1): Оператор использует γ -дефектоскоп ГУП-05-3 на основе ^{60}Co . Гамма-эквивалент источника (активность) γ -дефектоскопа $m=500$ мг-экв Ra, средняя энергия квантов $E=0,5$ МэВ. Предельно допустимая мощность экспозиционной дозы $P_0 = 0,2$ мР/ч. Оператор работает 6 ч в день (36 – часовая рабочая неделя), его рабочее место расположено в 1 м от источника γ -излучения. Для защиты используется свинцовый экран толщиной 35 мм.

Решение

1. Определяем эффективность защиты количеством - допустимую активность (m , мг-экв Ra) источника излучения для безопасной работы оператора без использования других видов защиты

$$m = 120 \frac{r^2}{t}, \quad (1.37)$$

где m - активность источника, мг-экв Ra; r - расстояние от источников до работающего, м; t — время работы с источником в течение рабочей недели, ч; 120 - безразмерный коэффициент, являющийся производной от гамма-постоянной радия.

$$m = 120 \frac{r^2}{t} = 120 \frac{1}{36} = 3,3 \text{ мг-экв Ra} . \quad (1.38)$$

Если учесть, что γ - эквивалент используемого дефектоскопа составляет 500 мг-экв Ra, то становится ясным, что защиты количеством оказалось бы явно недостаточно.

2. При определении защиты времени (t , ч) нужно рассчитать допустимое время пребывания на этом расстоянии, в течение которого оператор может работать в безопасных условиях

$$t = 120 \frac{r^2}{m} = 120 \frac{1}{500} = 0,24 \text{ ч} \quad (1.39)$$

То есть допустимое время работы в данных условиях должно было бы составлять 0,24 ч в неделю вместо 36 ч.

3. Допустимое расстояние (r , м), на котором можно работать полный рабочий день, составляет

$$r = \sqrt{m \cdot \frac{t}{120}} = \sqrt{500 \cdot \frac{36}{120}} = 10,95 \text{ м} . \quad (1.40)$$

Следовательно, работая на расстоянии 1 м от источника излучения, оператор находится в радиоактивно опасной зоне.

4. Для установления эффективности защиты экраном нужно найти толщину экрана из свинца, необходимую для ослабления измеренной на рабочем месте мощности физической дозы (P_x) до предельно допустимой величины (P_0).

Рассчитываем величину экспозиционной дозы P_x , создаваемую на рабочем месте источником излучения

$$P_x = 8,4m \frac{t}{r^2 10000}, \quad (1.41)$$

где 8,4 - γ -постоянная радия.

$$P_x = 8,4 \cdot 500 \cdot \frac{36}{1 \cdot 10000} = 15,12 \text{ Р (в неделю)}, \text{ или } 0,42 \text{ мР/ч.}$$

Так как предельно допустимая величина P_0 составляет 0,2 мР/ч, то величина коэффициента ослабления равна

$$k = \frac{P_x}{P_0} = \frac{0,42}{0,2} = 2,1 \text{ раза} \quad (1.42)$$

В таблице 1.11.1 при пересечении линий, соответствующих кратности ослабления 2,1 (менее 5) раза и энергии излучения 0,5 МэВ, находим, что необходимая толщина экрана из свинца составляет около 10 мм.

Ответ: Применяемая защита экранированием обеспечивает безопасную работу оператора-дефектоскописта и находится в соответствии с гигиеническим нормированием ионизирующего излучения. Защита количеством, временем и расстоянием является недостаточной.

Таблица 1.11.1

Толщина защиты из свинца, мм, в зависимости от кратности ослабления и энергии гамма-излучения

Кратность ослабления	Энергия гамма-излучения, МэВ							
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,25	1,5
5	2	4	6	11	19	28	34	38
10	3	4,5	9	16	26	38	45	51
20	3	6	11	20	32	49	58	66
40	4	8	13	24	38	58	68	78
80	4,5	10	15,5	28	45	67	80	92
100	5	10	16	30	47	70	85	96
200	6	10,5	19	34	53	80	96	111

Таблица 1.11.2

Исходные данные для расчета

№ варианта	Показатель			
	Источник излучений	Активность источника, m , мг-экв Ra	Расстояние от источника, r , м	Энергия квантов, E , МэВ
1	2	3	4	5
1	^{60}Co	500	1	0,5
2	^{60}Co	1400	3	0,2
3	^{60}Co	1200	12	0,3
4	^{60}Co	1200	4	0,5
5	^{60}Co	1300	0,5	0,7

1	2	3	4	5
6	⁶⁰ Co	1100	6	1,25
7	⁶⁰ Co	1250	10	1,0
8	⁶⁰ Co	1350	2	0,7
9	⁶⁰ Co	1450	1	1,5
10	⁶⁰ Co	1200	8	1,0

2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2.1. Выбор канатов для грузоподъемных кранов

Все канаты перед применением их на кране должны быть проверены по формуле

$$S_{\max} = \frac{P}{K}, \quad (2.1)$$

где S - наибольшее натяжение каната под действием груза; P - действительное разрывное усилие каната; K - коэффициент запаса прочности, значение которого зависит от режима работы машины (Л - 5; С - 5,5; Т - 6; ВТ - 6,5).

Для грузоподъемных кранов:

$$S_{\max} = \frac{Q(1 - \eta_{\text{бл}})}{a(1 - \eta_{\text{бл}}^m)}, \quad (2.2)$$

где Q - грузоподъемность крана; a - тип полиспаста; m - кратность полиспаста; η - КПД подшипника, установленного в блоке полиспаста (качения - 0,97-0,98; скольжения - 0,95-0,96).

Задание. Подобрать канат для грузоподъемного крана. Исходные данные принимаем по табл. 2.1.1.

Дано (вариант 1): Кран грузоподъемностью $Q=10$ т, работает в среднем режиме с целью обеспечения вертикального подъема груза и создания равномерной нагрузки на ходовые колеса применяется сдвоенный ($a=2$) полиспаст с кратностью $m=3$. В блоках полиспаста используются подшипники качения.

Решение

1. Определяем максимальное натяжение каната сдвоенного полиспаста при подъеме груза по формуле

$$S_{\max} = \frac{Q(1 - \eta_{\text{бл}})}{a(1 - \eta_{\text{бл}}^m)} = \frac{10(1 - 0,97)}{2(1 - 0,97^3)} = 1,74 \text{ т} = 1740 \text{ кг}.$$

Отсюда

$$S_{\max} = \frac{P}{K} = 1740 = \frac{P}{5,5}.$$

2. Определяем необходимое разрывное усилие с учетом запаса прочности

$$P = S_{\max} K = 1740 \times 5,5 = 9570 \text{ кг}.$$

Из ГОСТ 3066-80 выбираем канат двойной свивки типа ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 13 мм, имеющий при расчетном пределе

прочности при растяжении, равном 1470 МПа, разрывное усилие $P=96150$ Н (9615 кг).

Ответ: Канат ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 13 мм.

Таблица 2.1.1

Исходные данные

№ вари-анта	Q , т	m	a	Режим работы	Тип под-шипника	№ вари-анта	Q , т	m	a	Режим работы	Тип под-шипника
1	10	3	2	С	К	6	3,5	3	1	ВТ	С
2	0,5	2	1	С	С	7	12	3	2	Т	К
3	1	3	1	С	К	8	0,85	2	1	Л	С
4	1,25	2	2	Л	К	9	3,5	3	1	С	К
5	1,5	2	2	Л	К	10	2,25	2	1	С	С

2.2. Подобрать канат для изготовления стропа с четырьмя ветвями для подъема груза

Все канаты перед применением их на кране должны быть проверены по формуле

$$S_{\max} = \frac{P}{K},$$

где S - наибольшее натяжение каната под действием груза; P - действительное разрывное усилие каната; K - коэффициент запаса прочности, значение которого зависит от режима работы машины (Л – 5; С – 5,5; Т – 6; ВТ – 6,5).

Для стропов

$$S_{\max} = \frac{G}{n \cos \alpha}, \quad (2.3)$$

где G - масса поднимаемого груза; n - число ветвей стропа; α - угол наклона ветви стропа (не больше 45°).

Задание. Подобрать канат для изготовления стропа с четырьмя ветвями для подъема груза. Исходные данные принимаем по табл.2.2.1.

Дано (вариант 1): Масса 5 т, угол наклона ветви стропа принять 45° .

Решение

1. Определяем максимальное натяжение каната при подъеме груза

$$S_{\max} = \frac{G}{n \cos \alpha} = \frac{5}{4 \cos 45^\circ} = 1,775 \text{ т} = 1775 \text{ кг}.$$

2. Определяем необходимое разрывное усилие с учетом запаса прочности

$$P = S_{\max} K = 1775 \times 6 = 10650 \text{ кг}.$$

По ГОСТ 3066–80 выбираем канат двойной свивки типа ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 14 мм, имеющий при расчетном пределе прочности при растяжении равном 1470 МПа, разрывное усилие $P=109600$ Н (10960 кг).

Ответ: Канат ЛК-О 6×7(1+6)+1×7(1+6) диаметром 14 мм.

Таблица 2.2.1

Исходные данные

№ вари-анта	Масса поднимаемого груза, т	Число ветвей стропа	Угол наклона ветви стропа, α	№ вари-анта	Масса поднимаемого груза, т	Число ветвей стропа	Угол наклона ветви стропа, α
1	5	4	45	6	8,5	4	10
2	1,5	4	35	7	9	4	45
3	2	2	40	8	9,5	2	40
4	2,5	2	45	9	10	4	20
5	3	2	10	10	10,5	4	15

2.3. Определение давления и мощности взрыва воздухосборника компрессора

Основной опасностью для сосудов воздушно-компрессорных установок и воздухопроводов является образование взрывоопасных смесей паров масла и воздуха, а также образование на внутренней, поверхности воздухопроводов окисной пленки масла.

Если концентрация паров масла в среде сжатого воздуха достигает 6—11 %, эта смесь может взорваться при температуре около 200°C и даже при более низкой температуре, когда применяется низкокачественное компрессорное масло.

Если в воздухопроводах образуются перекисные соединения, взрыв может произойти при температуре примерно + 60°C, а также от удара и сотрясения.

Расследования аварий с сосудами воздушно-компрессорных установок показали, что правила о компрессорных установках на тех предприятиях, где происходили аварии, не выполнялись, а именно:

а) смазка цилиндров компрессоров производилась маслом с низкой температурой вспышки (190°C и ниже вместо нормальной +240°C), а в отдельных случаях даже непроверенным маслом, несмотря на прямое указание правил о необходимости перед применением компрессорного масла проверять его в лаборатории и предохранять от загрязнений;

б) продувка от масла воздухосборников и маслоотделителей производилась нерегулярно, хотя правила обязывали производить продувку всех сосудов компрессорных установок каждую смену;

в) из-за отсутствия обводных линий и по производственным условиям воздухосборники не останавливались и не очищались периодически от масла, что должно производиться не реже одного раза в полгода; также не прочищались от масляных наслоений воздухопроводы и не производилась промывка воздухопроводов, расположенных между компрессорами и ресиверами, что также должно производиться не реже одного раза в 6 месяцев;

г) в некоторых случаях температура сжатого воздуха вследствие недостаточного охлаждения в одноступенчатых компрессорах превышала 160°C и в многоступенчатых +140°C. Таким образом, температура сжатого

воздуха в воздухопроводе мало отличалась от температуры вспышки масла, хотя, согласно правилам, эта разница должна быть не меньше 75 °С;

д) воспламенению смеси паров масла с воздухом в компрессорных установках иногда способствовала неисправность фильтров, пропускавших с воздухом пыль и ржавчину из труб подсоса воздуха в компрессор.

Задание. Определить опасное давление и мощность взрыва воздухо-сборника компрессора. Сделать заключение о возможных причинах взрыва. Исходные данные принимаем по табл. 2.3.1.

Дано (вариант 1): Объем воздухо-сборника $0,9 \text{ м}^3$, изготовлен из бесшовной трубы с внутренним диаметром $D_B = 0,3 \text{ м}$ и толщиной стенки $\delta_c = 3 \text{ мм}$. Известно, что компрессор создает давление $P_K = 0,8 \text{ МПа}$, смазывается компрессорным маслом М12 с температурой вспышки $T_B = 489 \text{ К}$. При осмотре воздухо-сборника установлено, что взрыв произошел не из-за ослабления элементов конструкции.

При расчетах для всех вариантов принять: время взрыва $t_{B3} = 0,1 \text{ с}$; материал воздухо-сборника Ст20; $\sigma_{\text{доп}} = 400 \text{ МПа}$; температура наружного воздуха 293 К.

Решение

1. Определяем предельно допустимое давление для бака воздухо-сборника:

$$P_{\text{доп}} = \frac{2\sigma_{\text{доп}}\varphi\delta}{D_B} = \frac{2 \cdot 400 \cdot 10^6 \cdot 0,003}{0,3} = 8 \cdot 10^6 \text{ Па} = 8,0 \text{ МПа}, \quad (2.4)$$

приняв минимальное давление взрыва $P_{B3} = 1,25P_{\text{доп}}$, получим $P_{сз} = 8 \cdot 1,25 = 10 \text{ МПа}$.

2. Рассчитываем мощность взрыва, приняв, что вся энергия расходуется на работу взрыва

$$N_{B3} = \frac{A_{B3}}{t_{B3}}, \quad (2.5)$$

где

$$A_{B3} = \frac{m}{m-1} P_{B3} \cdot V \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_{B3}} \right)^{\frac{m-1}{m}} \right], \quad (2.6)$$

$$A_{B3} = \frac{1,41}{1,41-1} \cdot 10 \cdot 10^6 \cdot 0,9 \left[1 - \left(\frac{0,1 \cdot 10^6}{10 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} \right] = 23,133 \cdot 10^6 \text{ Дж}; \quad (2.7)$$

$$N_{B3} = \frac{A_{B3}}{t_{B3}} = \frac{23,133 \cdot 10^6}{0,1} = 231,33 \cdot 10^6 \text{ Вт} = 231330 \text{ кВт},$$

где A_{B3} - энергия сжатого газа, Дж; t - время взрыва, с; m - показатель адиабаты, для воздуха $m = 1,41$; P_{B3} - давление взрыва, МПа; V - объем воздухо-сборника, м^3 ; P_0 - атмосферное давление, $0,1013 \text{ МПа} \approx 0,1 \text{ МПа}$.

Возможными причинами взрыва могут быть:

- завышение предельно допустимого давления в сосуде от источника питания. В нашем случае данное предположение не может служить причиной аварии, так как рассчитано, что $P_{\text{доп}} = 8,0$ МПа, а источник питания создает давление всего 0,8 МПа, т.е. в 10 раз меньше допустимого;

- повышение давления за счет воспламенения масловоздушной смеси, вызванного повышением температуры среды, в связи с неисправностью системы охлаждения компрессора. Для проверки данного предложения нужно определить температуру воздуха после сжатия в компрессоре

$$T = T_0 \left(\frac{P_{\text{к}}}{P_0} \right)^{\frac{m-1}{m}} = 293 \left(\frac{0,8 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1,41-1}{1,41}} = 535 \text{ К.}$$

$T = 535$ К, что больше температуры вспышки масла $T_{\text{в}} = 489$ К.

Ответ: Давление взрыва 10 МПа, мощность – 231330 кВт. Наиболее вероятной причиной взрыва воздухоборника является отказ системы охлаждения компрессора и повышение температуры среды воздухоборника свыше $T_{\text{в}}$ масловоздушной смеси.

Таблица 2.3.1

Исходные данные

Исходные данные	№ варианта														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Рабочее давление воздухоборника, МПа	0,8	0,5	0,6	0,7	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
Объем воздухоборника, м ³	0,9	4,5	3,9	3,8	3,5	3,2	3,1	2,9	2,8	2,5	2,6	2,1	1,9	1,2	1,2

2.4. Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа

Процесс горения (сжигания) газов начинается лишь тогда, когда газозвудушная смесь будет подожжена, т. е. нагрета до определенной температуры, которую называют температурой воспламенения. Температура воспламенения зависит от соотношения объемов газа и воздуха в смеси, степени их перемешивания, давления смеси, способа и места зажигания и других факторов (например, способа истечения смеси, формы, размера и объема топочного пространства, занимаемого газозвудушной смесью). Процесс горения продолжается только до тех пор, пока количества тепла, выделяющегося при горении, будет достаточно, чтобы постоянно воспламенять поступающую к месту горения газозвудушную смесь. Минимальные и максимальные количества газа в газозвудушной смеси, при которых процесс горения идет непрерывно, называют соответственно нижним или верхним пределом воспламенения данного газа в смеси с воздухом. Взрывом газозвудушной смеси называют явление мгновенного сгорания всего объема смеси, которое происходит при внесении в такую смесь, находящуюся в каком-либо более или менее замкнутом объеме (помещении и т. д.), источника огня или высоконагретого тела. С точки зрения химической

сущности явление взрыва не отличается от процесса горения, и расчет его ведется по тем же уравнениям, что и для реакции горения. Пределы воспламенения смесей газов, не имеющих балластных примесей или содержащих их в минимальном количестве, определяют (приблизительно) по следующей формуле:

$$П = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n}{\frac{v_1}{l_1} + \frac{v_2}{l_2} + \frac{v_3}{l_3} + \dots + \frac{v_n}{l_n}}, \quad (2.8)$$

где $П$ - содержание газа в смеси с воздухом, дающее верхний или нижний предел воспламеняемости (взрываемости) или обеспечивающее максимальную скорость распространения пламени газовой смеси; $v_1, v_2, v_3, \dots, v_n$ - объемное содержание компонентов газовой смеси, %; $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ - значения нижних или верхних пределов взрываемости (воспламеняемости) соответствующих компонентов газовой смеси, принимаемые по табл. 2.4.1.

Задание. Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа. Исходные данные принимаем по табл. 2.4.2.

Дано (вариант 1): Состав газа (%): метан CH_4 — 51; этилен C_2H_4 — 23; пропан C_3H_8 — 7; бутан C_4H_{10} — 4; пентан C_5H_{12} — 8; ацетилен C_2H_2 — 2; сероводород H_2S — 1,5; водород H_2 — 3,5.

Решение

1. Рассчитываем верхний предел воспламенения

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{100}{\frac{CH_4}{l_1^B} + \frac{C_2H_4}{l_2^B} + \frac{C_3H_8}{l_3^B} + \frac{C_4H_{10}}{l_4^B} + \frac{C_5H_{12}}{l_5^B} + \frac{C_2H_2}{l_6^B} + \frac{H_2S}{l_7^B} + \frac{H_2}{l_8^B}} = \\ &= \frac{100}{\frac{51}{15} + \frac{23}{30} + \frac{7}{9,5} + \frac{4}{8,5} + \frac{8}{7,8} + \frac{2}{82} + \frac{1,5}{45,5} + \frac{3,5}{75}} = \frac{100}{6,5036} = 15,37 \%. \end{aligned}$$

Таблица 2.4.1

Температуры воспламенения и пределы некоторых горючих газов

Наименование газа	Химическая формула	Температура воспламенения	Пределы взрываемости при 20 °С и давлении 760 мм рт. ст.	
			нижний	верхний
Ацетилен	C_2H_2	305 – 500	2,3	82
Бутан	C_4H_{10}	430 – 569	1,9	8,5
Водород	H_2	510 – 590	4,2	75
Метан	CH_4	537 – 850	5,3	15
Оксид углерода	CO	610 – 658	12,5	75
Пропан	C_3H_8	466 – 588	2,1	9,5
Сероводород	H_2S	290 – 487	4,3	45,5
Пентан	C_5H_{12}	530 – 610	1,4	7,8
Этан	C_2H_6	510 – 594	3	14
Этилен	C_2H_4	450 – 550	3	30

2. Рассчитываем нижний предел воспламенения

$$\begin{aligned}
 \Pi_{\text{н}} &= \frac{100}{\frac{\text{CH}_4}{l_1^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_2\text{H}_4}{l_2^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_3\text{H}_8}{l_3^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_4\text{H}_{10}}{l_4^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_5\text{H}_{12}}{l_5^{\text{н}}} + \frac{\text{C}_2\text{H}_2}{l_6^{\text{н}}} + \frac{\text{H}_2\text{S}}{l_7^{\text{н}}} + \frac{\text{H}_2}{l_8^{\text{н}}}} = \\
 &= \frac{100}{\frac{51}{5,3} + \frac{23}{3} + \frac{7}{2,1} + \frac{4}{1,9} + \frac{8}{1,4} + \frac{2}{2,3} + \frac{1,5}{4,3} + \frac{3,5}{4}} = \frac{100}{30,5345} = 3,274 \%
 \end{aligned}$$

Ответ: $\Pi_{\text{в}} = 3,274 \%$, $\Pi_{\text{в}} = 15,37 \%$.

Таблица 2.4.2

Исходные данные для расчета верхнего и нижнего пределов воспламенения природного газа без примеси инертного газа

№ вари-анта	Состав газа, % по объему							
	CH ₄	C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	C ₂ H ₂	H ₂ S	H ₂
1	51	23	7	4	8	2	1,5	3,5
2	64	6	6	10	5,5	1,2	4,5	2,8
3	67,7	10,33	5,12	3,0	2,01	6,1	3,04	2,7
4	78,5	2	3,4	4,34	2,35	6,5	0,91	2
5	65	17,5	5	4	3	2,5	1,2	1,8
6	85	4,9	1,6	0,75	0,55	0,6	1,3	5
7	72,8	7,8	3,9	1,8	6,4	2,0	1,0	4,3
8	76	5,45	2,25	1,3	3,0	2,1	8,3	1,6
9	70	8,5	3,6	2,4	1,3	2,1	10,8	1,3
10	45	21	7,0	6,0	4,0	11	4,0	2

2.5. Определение предела огнестойкости железобетонной стены

Задание. Определить предел огнестойкости по потере несущей способности железобетонной стены толщиной 140 мм. Исходные данные принимаем по табл.2.5.1.

Дано (вариант 1): Платформенное опирание через слой цементного раствора. Бетон класса В-30 на известняковом щебне. Процент армирования $\mu_a = 0,5$. Нагрузка $N = 2200$ кН.

Решение. По графику, приведенному рис.2.1, находим на оси ординат точку, соответствующую $N = 2200$ кН, из которой проводим горизонталь до пересечения с кривой В-30 $\mu_a = 0,5$. Из этой точки проводим нормаль вверх до пересечения с горизонтальной осью, обозначающей время, и определяем предел огнестойкости, равный 90 минутам.

Ответ: 90 минут.

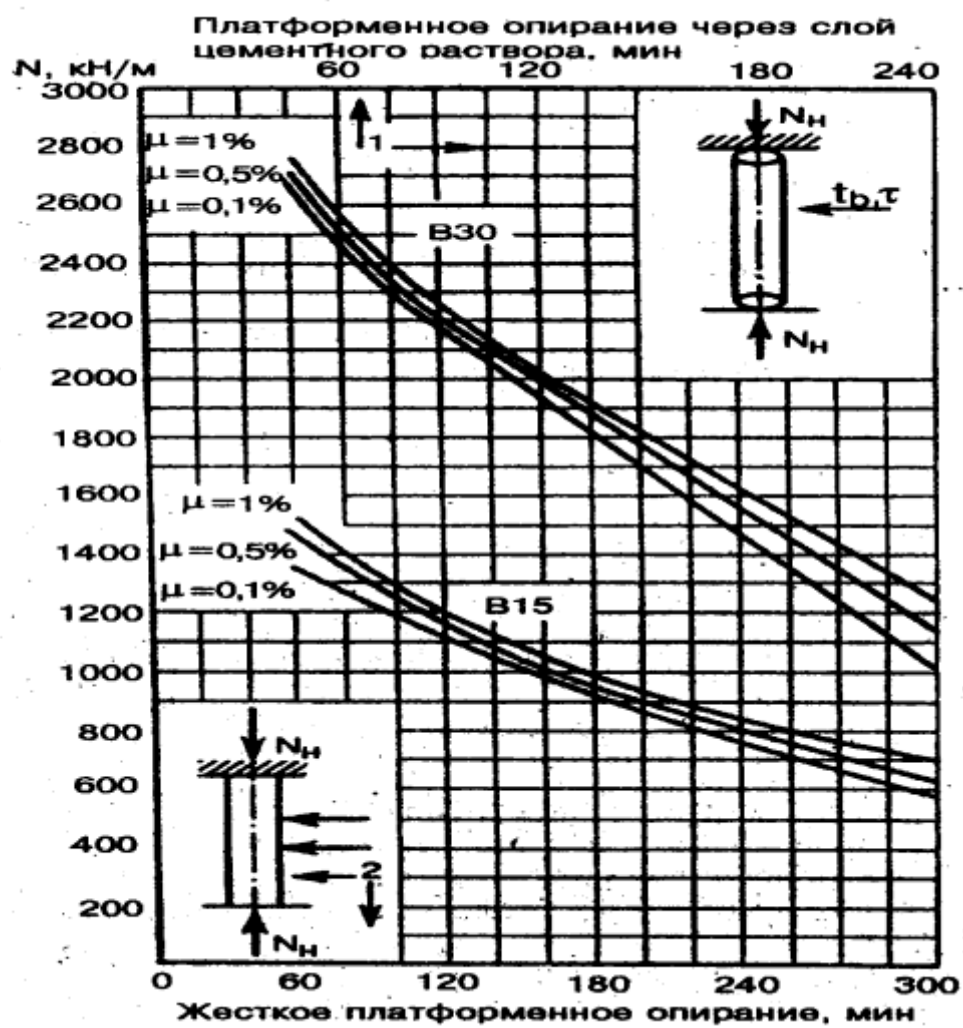


Рис. 2.1

Таблица 2.5.1

Исходные данные

№ варианта	Вид строительной конструкции	Материал конструкции	Нормативная нагрузка N , кН/м	Процент армирования μ_a	Тип опирания конструкции
1	Стена толщиной 140 мм (14 см)	Бетон на известняковом щебне, В-30	2200	0,5	Жесткое платформенное опирание
2			2500	0,5	
3			2150	1	
4		Бетон на известняковом щебне, В-15	1500	0,1	Платформенное опирание через слой цементного раствора
5			1100	1	
6			1450	0,1	
7		Бетон на известняковом щебне, В-30	1600	0,5	Жесткое платформенное опирание
8			1650	0,1	
9		Бетон на известняковом щебне, В-15	850	0,5	
10			900	1	

Таблица 2.6.1

Исходные данные

№ варианта	Вид строительной конструкции	Материал конструкции	Нормативная нагрузка N , кН	Процент армирования μ_a	Коэффициент продольного изгиба φ	Тип опирания конструкции
1	Колонна 400×400 мм	Бетон на известняковом щебне	3000	3	1	Платформенное
2			4500	1,5	0,9	
3			3000	3	1	
4		Бетон на гранитном щебне	3500	3	0,95	
5			2000	1	0,8	
6			2100	1,5	0,85	
7		Бетон на известняковом щебне	2200	1,5	0,89	
8			2300	1	0,95	
9		Бетон на гранитном щебне	2600	3	1	
10			2800	1	0,8	

2.6. Определение предела огнестойкости железобетонной колонны

Задание. Определить предел огнестойкости железобетонной колонны сечением 400×400 мм. Исходные данные принимаем по табл. 2.6.1.

Дано (вариант 1): Опираение платформенное. Бетон класса В на известняковом щебне. Процент армирования $\mu_a = 3$. Коэффициент продольного изгиба $\varphi = 1$. Нормативная нагрузка $N = 3000$ кН.

Решение. Для ориентировочного определения предела огнестойкости колонны следует на графике (рис. 2.2) из точки, соответствующей отношению $N/\varphi = 3000$ кН, провести горизонталь до пересечения с кривой, соответствующей В и $\mu_a = 3\%$. Точка пересечения этих линий даст значение предела огнестойкости колонны, равное 90 минутам. Для колонн из бетона на гранитном щебне пользуемся графиком на рис. 2.3.

Ответ: 90 минут.

Пределы огнестойкости железобетонных колонн сечением 400×400 мм из бетона на известняковом щебне

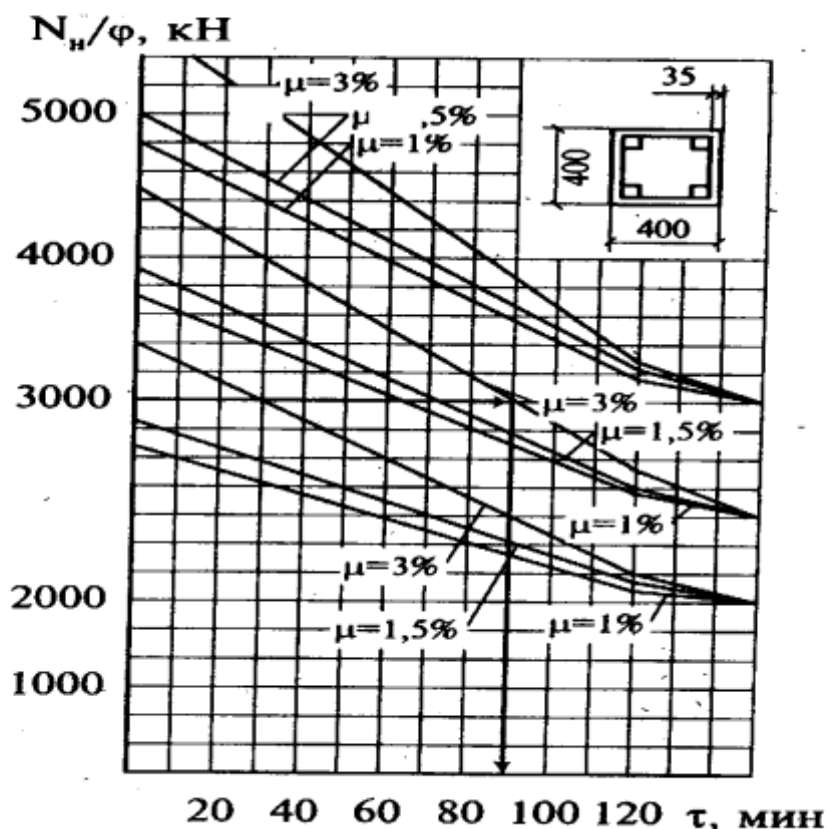


Рис. 2.2. Предел огнестойкости железобетонных колонн

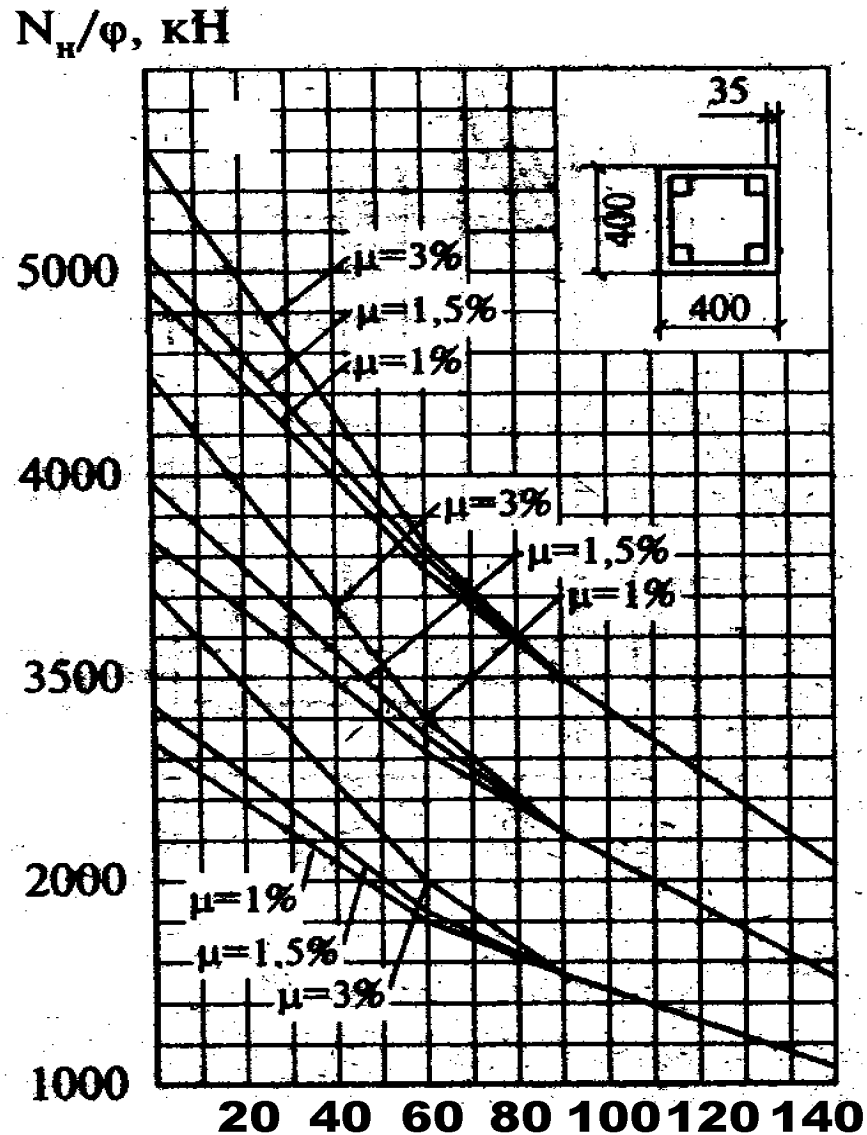


Рис. 2.3. Предел огнестойкости железобетонных колонн сечением 400×400 мм из бетона на гранитном щебне в зависимости от процента армирования μ_a , класса бетона В, нормативной нагрузки N и коэффициента продольного изгиба ϕ .

2.7. Рассчитать систему молниезащиты

Задание. Рассчитать систему молниезащиты здания. Исходные данные принимаем по табл.2.7.2.

Дано (вариант 1): Ширина $A=12$ м; длина $L=24$ м; высота здания $H=10$ м; среднегодовое число ударов молний в 1 км^2 земной поверхности $n=1$; радиус зоны защиты на уровне высоты объекта $r_x=20$ м.

Решение. Рассмотрим, какую зону защиты образует стержневой отдельно стоящий молниеотвод (рис. 2.4).

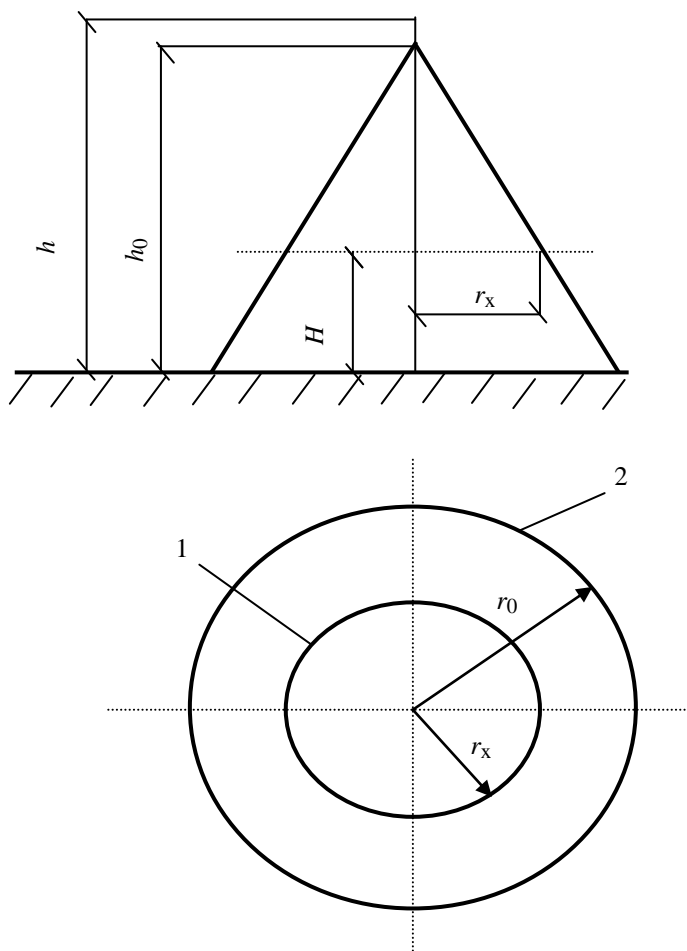


Рис. 2.4. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода: 1 – граница зоны защиты на уровне высоты объекта; 2 – то же, на уровне земли;
 h – высота молниеотвода; h_0 – высота конуса защиты; H – высота защищаемого объекта; r_x – радиус зоны защиты на уровне высоты объекта; r_0 – радиус зоны защиты объекта на уровне земли

Как следует из рис. 2.4, зона защиты для данного молниеотвода представляет собой конус высотой h_0 с радиусом основания на земле r_0 . Обычно высота молниеотвода (h) не превышает 150 м. Остальные размеры зоны в зависимости от величины (h , м) приведены в табл. 2.7.1.

Таблица 2.7.1

Параметры зоны защиты для молниеотвода

Параметр, м	Величина параметра для зон	
	А	Б
h_0	$0,85h$	$0,92h$
r_0	$0,7h$	$1,15h$
r_x	$0,7(h - H/0,85)$	$1,5(h - H/0,92)$

Ожидаемое количество N поражений молнией в год зданий и сооружений, не оборудованных молниезащитой, вычисляют по формуле

$$N = (A + 6 \cdot H) \cdot (L + 6 \cdot H) \cdot n \cdot 10^{-6} = (12 + 6 \cdot 10) \cdot (24 + 6 \cdot 10) \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 0,006. \quad (2.9)$$

Если величина $N > 1$, то принимают зону защиты типа А (степень надежности защиты в этом случае составляет не менее 99,5 %). При $N \leq 1$ принимают зону защиты типа Б (степень надежности этой защиты — 95 % и выше).

Так как $N = 0,006 < 1$, то зону следует выбирать типа Б.

Существуют также зависимости, позволяющие, задаваясь размерами защищаемого объекта (r_x и H), определить величину h . Эта зависимость для зоны Б имеет вид

$$h = (r_x + 1,63H) / 1,5. \quad (2.10)$$

Высота одиночного молниеотвода

$$h = \frac{20 + 1,63 \cdot 10}{1,5} = 24,2 \text{ м}.$$

Высота конуса зоны молниезащиты и радиус границы зоны защиты

$$h_0 = 0,92 h = 0,92 \cdot 24,2 = 22,26 \text{ м} \quad (2.11)$$

$$r_0 = 1,15 h = 1,15 \cdot 24,2 = 27,83 \text{ м} \quad (2.12)$$

Ответ: Границы зон защиты на высоте здания ($r_x = 20$ м) и на уровне земли ($r_0 = 27,83$ м) обеспечивают защиту здания от поражения молнией принятой системы молниезащиты.

Таблица 2.7.2

Исходные данные

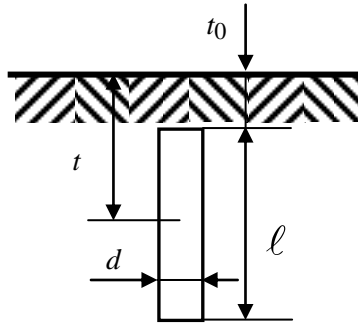
№ варианта	Ширина A , м	Длина L , м	Высота здания H , м	Среднегодовое число ударов молний n	Радиус зоны защиты r_x , м
1	12	24	10	1	20
2	24	48	45	3	60
3	36	60	50	6	55
4	48	36	60	9	50
5	60	12	40	12	45
6	12	72	30	1	40
7	24	192	20	3	30
8	36	84	13	6	25
9	48	252	18	9	20
10	60	96	16	12	28

2.8. Рассчитать систему заземления

Задание. Рассчитать систему заземления по исходным данным, приведенным в табл.2.8.1).

Дано (вариант 1): $\ell = 0,5$ м; $t = 1,5$ м; $d = 0,1$ м; $\rho = 20$ Ом·м; $R_{\text{доп}} = 4,0$ Ом; $z = 5,0$ м; $K_c = 1,75$.

Решение. Для вычисления сопротивления системы заземления в однородном грунте принимаем заземлитель – стержневой круглого сечения (трубчатый) в земле.



1. Определяем сопротивление одиночного заземлителя.

$$R = 0,366 \frac{\rho}{\ell} \left(\lg \frac{2\ell}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t + \ell}{4t - \ell} \right) = 0,366 \frac{20}{0,5} \left(\lg \frac{2 \cdot 0,5}{0,1} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 1,5 + 0,5}{4 \cdot 1,5 - 0,5} \right) = 15,17 \text{ Ом} . \quad (2.13)$$

С учетом коэффициента сезонности определяется сопротивление заземлителя в наиболее тяжелых условиях

$$R^1 = R \cdot K_c = 15,17 \cdot 1,75 = 26,55 \text{ Ом} , \quad (2.14)$$

где K_c – коэффициент сезонности (принимая в качестве расчетной наиболее неблагоприятную величину). $K_c = 1,75$.

2. Определяем требуемое количество заземлителей с учетом явления взаимного экранирования $R_{\text{доп.}} = 4 \text{ Ом}$:

$$n = \frac{R^1}{R_{\text{доп}}} = \frac{26,55}{4} = 6,64 \approx 7 \text{ шт.} \quad (2.15)$$

3. Рассчитаем сопротивление соединительной полосы

$$R_n = 0,366 \frac{\rho}{5,71} \lg \frac{2\ell_{\text{пол.}}^2}{bh} = 0,366 \frac{20}{5,71} \lg \frac{2 \cdot 29,60^2}{0,04 \cdot 0,5} = 5,56 \text{ Ом}$$

где b – ширина полосы, м; $b = 0,04$ м; h – глубина заложения полосы, м; $h = 0,5$ м.

4. Рассчитываем длину полосы в ряд $\ell_{\text{пол.}} = 1,05z(n-1)$.

$$\ell_{\text{пол.}} = 1,05 \cdot 5 \cdot 6 = 29,60 \text{ м.}$$

5. С учетом коэффициента сезонности определяется сопротивление полосы в наиболее тяжелых условиях

$$R_n^1 = R_n \cdot K_c = 5,56 \cdot 1,75 = 9,73 \text{ Ом}$$

6. Сопротивление заземления с учетом проводимости соединительной полосы определяется по формуле

$$R_3 = \frac{R^1 R_n^1}{R^1 \eta_{\text{п}} + n \eta_{\text{тр}} R_n^1} = \frac{26,55 \cdot 9,73}{26,55 \cdot 0,55 + 7 \cdot 0,76 \cdot 9,73} \approx 3,27 ,$$

где $\eta_{\text{тр}}$ – коэффициент использования труб (табл. 2.8.2);

$\eta_{\text{п}}$ – коэффициент использования соединительной полосы (табл. 2.8.3).

Ответ: Система заземления включает 7 одиночных заземлителей, объединённых соединительной полосой. Сопротивление заземляющего контура составляет – 3,27 Ом.

Таблица 2.8.1

Исходные данные

№ варианта	ℓ , м	t , м	d , м	ρ , Ом·м	$R_{\text{доп}}$, Ом	z , м	K_c
1	0,5	1,5	0,1	20	4,0	5,0	1,75
2	0,5	1,5	0,1	26	4,0	5,0	1,75
3	0,5	1,5	0,1	32	4,0	5,0	1,75
4	0,5	1,5	0,1	38	4,0	5,0	1,75
5	0,6	1,5	0,1	44	4,0	5,0	1,75
6	0,6	1,5	0,1	50	4,0	5,0	1,75
7	0,6	1,5	0,1	56	4,0	5,0	1,75
8	0,7	1,5	0,1	63	4,0	5,0	1,75
9	0,7	1,5	0,1	69	4,0	5,0	1,75
10	0,7	1,5	0,1	75	4,0	5,0	1,75

Таблица 2.8.2

Коэффициент использования труб

Заземлители в ряд		
Отношение расстояния между электродами к их длине $\left(\frac{z}{\ell}\right)$	Число труб n	Коэффициент использования $\eta_{\text{тр}}$
1	2	0,84–0,87
2	2	0,90–0,92
3	2	0,98–0,95
1	3	0,76–0,80
2	3	0,85–0,88
3	3	0,9–0,92
1	5	0,67–0,72
2	5	0,79–0,88
3	5	0,85–0,88
1	10	0,56–0,62
2	10	0,71–0,77
3	10	0,79–0,83
1	15	0,51–0,56
2	15	0,66–0,73
3	15	0,76–0,80
1	20	0,47–0,50
2	20	0,65–0,70
3	20	0,74–0,79

Таблица 2.8.3

Коэффициенты использования соединительной полосы (η_n)

Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов в ряд							
	2	4	6	10	20	40	60	100
1	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	—	—	—
2	0,94	0,80	0,84	0,75	0,56	—	—	—
3	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	—	—	—

2.9. Рассчитать систему зануления

Задание. Рассчитать систему зануления. Исходные данные принимаем по табл. 2.9.1.

Дано (вариант 1): Коэффициент надежности $k=3$; мощность электродвигателя $P_э=15 \cdot 10^3$ Вт; длина провода в пределах участка $\ell=50$ м; фазное напряжение $U_\phi=220$ В; диаметр провода в подводящем кабеле $D=6 \cdot 10^{-3}$ м; удельное сопротивление алюминиевого проводника $\rho_{\text{пров}}=2,53 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; удельное сопротивление стали $\rho_{\text{ст.}}=1 \cdot 10^{-7}$ Ом·м; нулевой проводник – труба.

Решение

1. Определяем номинальный ток электродвигателя

$$I_n = \frac{P_э}{3U_\phi} = \frac{15 \cdot 10^3}{3 \cdot 220} \approx 22,7 \text{ А}, \quad (2.16)$$

$$I_{\text{пуск.}} = 3I_n = 3 \cdot 22,7 = 68,1 \text{ А}, \quad (2.17)$$

$$I_{\text{к.з.}} = 1,5I_{\text{пуск.}} = 1,5 \cdot 68,1 = 102,15 \text{ А}. \quad (2.18)$$

2. Рассчитываем активное сопротивление алюминиевых проводов

$$R_\phi = \rho_{\text{пров.}} \ell / S = \frac{2,53 \cdot 10^{-8} \cdot 50}{2,8 \cdot 10^{-5}} = 0,045 \text{ Ом}, \quad (2.19)$$

где $S = \pi D^2 / 4 = (3,14 \cdot 36 \cdot 10^{-6}) / 4 \approx 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ - площадь сечения кабеля, м^2 .

3. Вычисляем активное сопротивление нулевого проводника:

$$R_n = \frac{\rho_{\text{ст.}} \cdot \ell}{S_{\text{тр}}} = \frac{1 \cdot 10^{-7} \cdot 50}{3,73 \cdot 10^{-6}} = 13,4 \cdot 10^{-2} = 1,34 \text{ Ом} \quad (2.20)$$

4. Рассчитываем площадь поперечного сечения трубы:

$$S_{\text{тр.}} = \frac{\pi}{4} (D^2_{\text{тр.}} - d^2_{\text{тр.}}) = \frac{3,14}{4} \left((5 \cdot 10^{-3})^2 - (4,5 \cdot 10^{-3})^2 \right) = 3,73 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (2.21)$$

5. Определяем сопротивление взаимной индукции между проводами

$$X_\Pi = \omega \mu_0 \ell / \pi \ln(2\delta/D) = \frac{314 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 50}{\pi} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{-3}}\right) = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}, \quad (2.22)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ - абсолютная магнитная проницаемость вакуума, Гн/м; δ - расстояние между проводами (≈ 5 мм), м; $\omega = 2\pi f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314$ рад/с - циклическая частота.

6. Вычисляем полное сопротивление петли «фаза-нуль»:

$$Z_\Pi = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + X_\Pi^2} = \sqrt{(0,045 + 1,34)^2 + (3,2 \cdot 10^{-3})^2} = 1,39 \text{ Ом}. \quad (2.23)$$

7. Определяем ток короткого замыкания

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_\phi}{Z_\Pi / 3 + Z_\Pi} = \frac{220}{1,037 + 1,39} = 90,65 \text{ А}. \quad (2.24)$$

8. Определяем соответствие условию $I_{\text{к.з.}} \geq k I_n$; $90,65 \geq 3 \cdot 22,7$.

Ответ: Принимаемая система зануления удовлетворяет условию $90,65 \geq 3 \cdot 22,7$.

Если условие не выполняется, то оборудование нельзя будет использовать, в виду частого ложного срабатывания автомата.

2.10. Определение экономической эффективности проекта

Задание: Оценить экономическую эффективность проекта по обеспечению безопасности технологических процессов и производств, используя показатели чистого дисконтированного дохода (ЧДД) и индекса доходности (ИД), если:

Дано (вариант 1, табл. 2.10.1): По первому году реализации проекта получен экономический результат (Θ_{P1}) в размере 300 000 руб., при текущих затратах ($З_{T1}$) в размере – 230 000 руб.

По второму году реализации проекта получен экономический результат (Θ_{P2}) в размере 350 000 руб., при текущих затратах ($З_{T2}$) – 280 000 руб.

Для реализации охранных мероприятий потребовались первоначальные капитальные вложения (K_{Π}) в размере – 110000 руб. В расчете примите коэффициент дисконтирования (E) – 0,08.

Решение. Чистый дисконтированный доход определяется

$$\text{ЧДД} = (\Theta_{P1} - З_{T1}) \cdot \frac{1}{(1+E)^0} + (\Theta_{P2} - З_{T2}) \cdot \frac{1}{(1+E)^1} - K_{\Pi}, \quad (2.25)$$

$$\text{ЧДД} = (300000 - 230000) \cdot \frac{1}{(1+0,08)^0} + (350000 - 280000) \cdot \frac{1}{(1+0,08)^1} - 110000 = 24815 \text{ руб.}$$

Индекс доходности определяется

$$\text{ИД} = \frac{(\Theta_{P1} - З_{T1}) \cdot \frac{1}{(1+E)^0} + (\Theta_{P2} - З_{T2}) \cdot \frac{1}{(1+E)^1}}{K_{\Pi}}, \quad (2.26)$$

$$\text{ИД} = \frac{(300000 - 230000) \cdot 1 + (350000 - 280000) \cdot \frac{1}{(1+0,08)^1}}{110000} = 1,23.$$

Ответ: ЧДД = 24815 рублей, ИД = 1,23.

Таблица 2.9.1

Исходные данные

№ варианта	k , коэффициент надежности	Мощность трансформатора, кВА и величина $Z_T/3$, Ом	P_{Σ} , мощность электродвигателя Вт	ℓ , длина провода в пределах участка м	U_{ϕ} , фазное напряжение, В	D , диаметр провода в подводящем кабеле, м	$\rho_{\text{пров}}$, удельное сопротивление алюминия, Ом·м	$\rho_{\text{ст.}}$, удельное сопротивление стали, Ом·м	Нулевой проводник	Примечание, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	3	25 1,037	$15 \cdot 10^3$	50	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}} = \frac{\pi}{4} (D^2_{\text{ТР.}} - d^2_{\text{ТР.}})$	$D = 5 \cdot 10^{-3}$ $d = 4,5 \cdot 10^{-3}$
2	3	30 1,11	$25 \cdot 10^3$	45	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Полоса $S_{\Pi} = a \cdot b$	$a = 5 \cdot 10^{-3}$ $b = 12 \cdot 10^{-3}$
3	3	40 0,649	$10 \cdot 10^3$	20	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}} = c^2$	$c = 6 \cdot 10^{-3}$
4	3	50 0,722	$5 \cdot 10^3$	15	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}} = \frac{\pi}{4} (D^2_{\text{ТР.}} - d^2_{\text{ТР.}})$	$D = 6 \cdot 10^{-3}$ $d = 5 \cdot 10^{-3}$
5	3	63 0,412	$20 \cdot 10^3$	25	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Полоса $S_{\Pi} = a \cdot b$	$a = 6 \cdot 10^{-3}$ $b = 14 \cdot 10^{-3}$
6	3	100 0,266	$35 \cdot 10^3$	10	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}} = c^2$	$c = 7 \cdot 10^{-3}$
7	3	160 0,162	$15 \cdot 10^3$	30	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}} = \frac{\pi}{4} (D^2_{\text{ТР.}} - d^2_{\text{ТР.}})$	$D = 8 \cdot 10^{-3}$ $d = 6,7 \cdot 10^{-3}$
8	3	250 0,104	$30 \cdot 10^3$	40	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Полоса $S_{\Pi} = a \cdot b$	$a = 8 \cdot 10^{-3}$ $b = 16 \cdot 10^{-3}$
9	3	320 0,0847	$25 \cdot 10^3$	35	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}} = c^2$	$c = 8 \cdot 10^{-3}$
10	3	400 0,060	$10 \cdot 10^3$	65	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2,53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}} = \frac{\pi}{4} (D^2_{\text{ТР.}} - d^2_{\text{ТР.}})$	$D = 10 \cdot 10^{-3}$ $d = 8,2 \cdot 10^{-3}$

Таблица 2.10.1

Исходные данные

№ варианта	Исходные данные			
	1 год		2 год	
	Э _р	З _т	Э _р	З _т
1	300000	230000	350000	280000
2	300100	250000	360000	280000
3	300050	240000	340000	250000
4	300250	230000	350000	300000
5	300200	250000	350000	280000
6	310300	230000	372000	335000
7	450200	250000	350000	330000
8	320000	250000	350000	300000
9	320100	250000	350000	300000
10	320200	250000	350000	290000

2.11. Определение годового экономического эффекта и срока окупаемости капитальных дополнительных вложений

Задание. Определить годовой экономический эффект (Э_г) и срок окупаемости дополнительных капитальных вложений (Т_{ок}).

Дано (вариант 1, табл.2.11.1): Реализация мероприятий по улучшению условий труда основных производственных рабочих позволила увеличить производительность труда и снизить удельную себестоимость продукции с 150 руб. (С₁) до 140 руб. (С₂), при годовом объеме производства (после реализации мероприятий), N – 100000 шт., размер дополнительных капитальных вложений (K) составил – 300000 руб.

Решение. Годовой экономический эффект от снижения себестоимости годового выпуска продукции

$$\text{Э}_Г = (C_1 - C_2) \cdot N = (150 - 140) \cdot 100000 = 1000000 \text{ руб.} \quad (2.27)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\text{Э}_Г} = \frac{300000}{1000000} = 0,3 \text{ г.} \quad (2.28)$$

Ответ: Э_г = 1000000 рублей, Т_{ок} = 0,3 года.

Таблица 2.11.1

Исходные данные

Вариант	Исходные данные		
	С ₁	С ₂	K
1	150	140	300 000
2	149	120	310 000
3	148	130	400 000
4	145	140	320 000
5	144	130	330 000
6	139	134	350 000
7	120	110	1 200 000
8	111	105	3 000 000
9	110	105	2 500 000
10	90	85	1 400 000

3. БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

3.1. Определение вероятности несчастного случая

Можно утверждать, что наступление несчастного случая (события A) возможно при совместном появлении трех событий: события B - наличие опасной зоны, где возможно воздействие опасного производственного фактора; события C - нахождения в этой зоне человека и события D - совершение этим человеком ошибочных действий либо действий, связанных с нарушениями логической или трудовой дисциплины. Поскольку каждое из этих событий может быть, а может и не быть, о них можно говорить с известной долей вероятности. Следовательно, несчастный случай, также является вероятной величиной, которая в самом простом виде может быть представлена вероятностным выражением

$$P(A) = P(B) \cdot P(C) \cdot P(D), \quad (3.1)$$

где $P(A)$ - вероятность возникновения несчастного случая;

$P(B)$ - вероятность наличия опасной зоны на рабочем участке;

$P(C)$ - вероятность появления людей в опасной зоне;

$P(D)$ - вероятность совершения человеком ошибочных действий.

$P(C)$ пропорциональна численности людей в опасной зоне и времени их пребывания в ней

$$P(C) = \frac{n_i}{n} \cdot \frac{t_i}{t}, \quad (3.2)$$

где n_i - численность людей, подвергающихся риску травмирования при выполнении i -й технологической операции;

n - количество людей, занятых в выполнении технологического процесса (звено, бригада);

t_i - время реализации i -й технологической операции в опасной зоне;

t - время реализации технологического процесса.

Вероятность ошибочных действий рекомендуется определять по формуле

$$P(D) = \frac{m_i}{m}, \quad (3.3)$$

где m_i - число операций, выполняемых с нарушением правил безопасности;

m - число операций в рассматриваемом технологическом процессе.

Если опасность присутствует при выполнении нескольких технологических операций j , то

$$P(A) = \sum_{i=1}^j \frac{n_i}{n} \cdot \frac{m_i}{m} \cdot \frac{t_i}{t}. \quad (3.4)$$

Задание. Определить вероятность несчастного случая на участке. Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.1.1.

Дано (вариант 1): Количество опасных операций $j = 1$, количество рабочих $n = 4$, непосредственно занятых на прессовании $n_i = 1$, время прессования $t_i = 2$ мин, общее время изготовления детали $t = 20$ мин. Количе-

ство операций в технологическом процессе $m = 6$, количество операций, выполняемых с ошибками, $m_i = 1$.

Решение

$$P(C) = \frac{n_i}{n} \cdot \frac{t_i}{t} = \frac{1}{4} \cdot \frac{2}{20} = \frac{2}{80} = \frac{1}{40};$$

$$P(D) = \frac{m_i}{m} = \frac{1}{6};$$

$$P(A) = \frac{1}{40} \cdot \frac{1}{6} = 0,0042.$$

Ответ: $P(A) = 0,0042$.

Приведенные примеры позволят студентам по аналогии, имея конкретные данные, рассчитать вероятность несчастного случая того или иного технологического процесса.

Таблица 3.1.1

Исходные данные

№ варианта	n_i	n	t_i	t	m_i	m	№ варианта	n_i	n	t_i	t	m_i	m
1	1	4	2	20	1	6	6	4	12	3	30	2	14
2	2	10	3	30	2	8	7	3	9	2	15	3	15
3	3	15	4	40	3	12	8	2	6	1	10	2	8
4	4	12	5	50	3	15	9	1	5	2	25	1	6
5	3	14	1	15	2	7	10	2	10	3	30	2	12

3.2. Определение аналитического тренда и прогноза травматизма на производстве

Задание. Определить аналитический тренд (закона распределения) и прогноз травматизма на условном предприятии с использованием программы `mnk96m.exe`. Привести распределение несчастных случаев (н/с) с 1999 по 2009 г. Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.2.1.

Дано (вариант 1): В 1999 году произошло – 3 н/с; в 2000 – 4; в 2001 – 5; в 2002 – 6; в 2003 – 7; в 2004 – 8.

Решение

1. Для условного предприятия закон распределения травматизма по годам и его прогноз аппроксимируются кривой вида

$$y = A \arctg(t) + Bt + C = t + 3, \quad (3.5)$$

где $A=0$; $B=1$; $C=3$; $t = px + q$ - теоретическое число несчастных случаев; p и q - коэффициенты перемасштабирования оси ($p=1$; $q=-1999$); x - год, в котором определяется число травм.

2. В 1999 г. – 3 н/с; в 2000 – 4; в 2001 – 5; в 2002 – 6; в 2003 – 7; в 2004 – 8; 2005 г. – 9; 2006 – 10; 2007 – 11; 2008 – 12; 2009 – 13.

Ответ: 1. $y = t + 3$; 2. 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13.

Таблица 3.2.1

Исходные данные для определения тренда и прогноза
травматизма на производстве

№ варианта	Подразде- ление	Кол-во н/с в 1999 г.	Кол-во н/с в 2000 г.	Кол-во н/с в 2001 г.	Кол-во н/с в 2002 г.	Кол-во н/с в 2003 г.	Кол-во н/с в 2004 г.
1	ПСП – 1	3	4	5	6	7	8
2	ПСК	6	3	5	1	2	7
3	ПСП – 3	1	2	4	2	3	4
4	КМСЦ	17	10	4	4	4	7
5	МСК – 1	7	4	1	3	7	9
6	МСК – 2	4	2	1	6	2	5
7	МСЦ – 4	3	1	1	5	2	2
8	МСЦ – 7	2	1	1	3	1	2
9	МСЦ – 8	5	3	1	2	1	4
10	ДОК	4	6	4	2	4	4