Авторы:
В.Л. Гапонов, Л.М. Распопова, В.И. Василенко, В.И. Гаршин
А.Г. Хвостиков, В.В. Киреева, Д.М. Кузнецов, Т.Б. Гавриленко
В.В. Дудник, П.В. Туник, А.Н. Лапшин, Н.А. Зубков

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА…….
1.1. Расчет производительности местной вентиляции…….. 4
1.2. Расчет количества воздуха при естественной вентиляции (аэрации) и определение реальной концентрации токсических веществ в воздухе при проведении малярных работ в помещении……..
1.3. Расчет необходимого количества воздуха для проветривания помещения при явном избытке влаги……...
1.4. Расчет необходимого количества воздуха для общеобменной вентиляции при загрязнении его вредными веществами……
1.5. Расчет количество воздуха, необходимого для проветривания помещения при избытке теплоты……..
1.6. Расчет производительности местной вентиляции для разбавления примесей и площади сечения воздухозаборников……...
1.7. Расчет системы местного освещения……
1.8. Расчет системы общего освещения……...
1.9. Расчет естественного освещения……...
1.10. Определение уровня шума…….
1.11. Определение уровня виброускорения локальной вибрации……..
1.12. Определение эффективности защиты от внешнего γ– излучения количеством, временем и расстоянием. Проверка толщины защитного экрана при работе с γ– дефектоскопом…….
2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ……
2.1. Подобрать канат для изготовления стропа с четырьмя ветвями для подъема груза…
2.2. Определение давления и мощности взрыва воздухосборника компрессора……
2.3. Определение давления и мощности взрыва воздухосборника компрессора……
2.4. Определение охлаждающей поверхности трубчатого теплообменника компрессорной установки……..
2.5. Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа……..
2.6. Определение предела огнестойкости железобетонной стены……
2.7. Определение предела огнестойкости железобетонной колонны……...
2.8. Рассчитать систему молниезащиты……...

2.9. Рассчитать систему заземления…….
2.10. Рассчитать систему зануления……...
2.11. Определение возможности применения (по условию безопасности) зануленных и заземленных электропотребителей, подключенных к трехфазной четырехпроходной сети с заземленной нейтралью……..
2.12. Определение экономической эффективности проекта……
2.13. Определение годового экономического эффекта и срока окупаемости капитальных дополнительных вложений……..
2.14. Определение времени начала радиоактивного заражения территории промышленного объекта от наземного ядерного взрыва……
2.15. Определение дозы облучения персонала, продолжающего работать на промышленном объекте после радиоактивного загрязнения территории……
2.16. Определение дозы облучения при эвакуации с зараженной территории……..
2.17. Определение мощности дозы излучения на территории промышленного объекта….
2.18. Расчет приземной концентрации пыли…….
2.19. Определение ПДС загрязняющих веществ в водоеме, которым используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения……
2.20. Оценка качества воздушной среды в рабочей зоне…….
3. БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ В МАШИНОСТРОЕНИИ……...
3.1. Определение вероятности несчастного случая……
3.2. Определение аналитического тренда и прогноза травматизма на производстве…….
ЛИТЕРАТУРА…….
ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА……..

1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

1.1. Расчет производительности местной вентиляции

При общеобменной вентиляции происходит обмен воздуха во всех помещениях. 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 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. Определим необходимый расход воздуха для проветривания участка, м^3/ч

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

где F — площадь открытого сечения вытяжного устройства, м^2,

V — скорость движения воздуха, м/с.

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 $F = 12$ м^2. За стеной установлен вентилятор, который обеспечивает скорость вытяжки воздуха через воздухозаборники, $V = 0{,}5$ м/с.

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

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

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

Данные необходимые для расчета местной вентиляции, приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Исходные данные

№ п/п	F, м^2	V, м/с	№ п/п	F, м^2	V, м/с	№ п/п	F, м^2	V, м/с
1	12	0,5	21	14	1,2	41	20	0,9
2	10	0,6	22	15	1,1	42	18	1,6
3	15	0,8	23	17	1,3	43	16	1,0
4	14	0,7	24	16	1,4	44	17	1,5
5	18	0,9	25	18	1,5	45	15	1,1
6	20	1,0	26	19	1,6	46	14	1,4
7	16	1,2	27	20	1,7	47	19	1,2
8	19	1,3	28	13	0,6	48	13	1,3
9	17	1,4	29	12	0,7	49	11	0,9
10	15	1,5	30	11	0,8	50	10	0,8
11	14	1,6	31	17	0,9	51	19	0,7
12	13	1,7	32	10	1,0	52	20	0,6
13	12	1,2	33	12	1,1	53	18	0,5
14	11	1,0	34	14	0,5	54	17	0,8
15	10	0,8	35	16	1,5	55	15	0,9
16	19	0,7	36	15	0,6	56	14	1,0
17	20	0,6	37	18	1,6	57	16	1,2
18	21	0,5	38	16	0,7	58	13	1,3
19	18	0,7	39	17	0,8	59	12	1,5
20	17	1,0	40	19	1,7	60	11	1,4

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 воздухооообмена: массовое количество воздуха, входящего в здание за единицу времени, равно массовому количеству воздуха, выходящего из здания

$$\sum G_{\text{пр}} = \sum G_{\text{выт.}}, \tag{1.2}$$

где $G_{\text{пр}}$ и $G_{\text{выт.}}$ — соответственно количество воздуха, поступающего и выходящего из помещения в единицу времени.

Недостаток естественной вентиляции состоит в том, что приточный воздух вводится в помещение без предварительной отчистки 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, м^3/ч, рассчитывается с помощью выражения

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

где $V_{\text{ср}}$ — средняя скорость движения воздуха, м/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.

Дано (вариант 1)**.** S = 20 м^2, содержание летучих компонентов в красителе B = 40 %, удельный расход краски p = 45 г/м^2, проветривание помещения осуществляется через 3 форточки размером $S_{\text{ф}}$=0,6·0,4 м^2, фактическое время проветривания $t_{\text{ф}}$ = 45 мин, T = 1 ч, количество маляров n = 2, $V_{\text{ср}}$ = 0,4 м/с; $\sum S$ = 3·0,6·0,4 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 мин, то $L'_{\text{вр}} = L_{\text{вр}} \cdot t' = \dfrac{1036{,}8 \cdot 45}{60} = 777{,}6 \text{ м}^3/\text{ч}$, где $t' = \dfrac{t_{\text{ф}}}{60}$, 60 – 1 час.

2. Определим количество выделившихся при работе маляров паров растворителя (г/ч)

$$C = B \cdot p \cdot П \cdot n, \tag{1.4}$$

где $П$ — производительность труда маляра, $П = \dfrac{S}{T}$, м^2/ч,

S — площадь окрашенной поверхности, м^2, за время T=1 ч;

n — количество маляров, в данном случае n = 2; B = 40 % или B = 0,4.

Подставив данные из условия задачи, получим

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

3. Определим реальную концентрацию ксилола в воздухе помещения

$$C^{/} = \frac{C \cdot T}{\mathrm{L}^{/}_{\text{вр}}} = \frac{720 \cdot 1}{778{,}95} = 0{,}926 \text{ г/м}^3.$$

Ответ. 1. Количество воздуха при естественной вентиляции $L^{/}_{\text{вр}} = 777{,}6$ м^3/ч.

2. Реальная концентрация ксилола $C^{/} = 0{,}926$ г/м^3.

Данные, необходимые для расчета, приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные для расчетов (*B* = 0,4; *p* = 45; *T* = 1 ч)

№ п/п	$V_{\text{ср}}$, м/с	$\sum S_{\text{ф}}$, м^2	S, м^2	n	$t_{\text{ф}}$, мин	№ п/п	$V_{\text{ср}}$, м/с	$\sum S_{\text{ф}}$, м^2	S, м^2	n	$t_{\text{ф}}$, мин
1	0,4	2·0,8·0,4	20	2	45	31	0,4	1·0,6·0,4	20	2	45
2	0,45	3·0,6·0,5	25	3	50	32	0,8	2·1,4·0,6	25	2	45
3	0,5	4·1,0·0,6	15	2	35	33	0,6	3·1·0,5	18	2	45
4	0,55	3·2,5·2,0	18	3	40	34	0,5	4·1·0,4	15	2	45
5	0,6	5·3·2,0	19	4	50	35	3,2	4·2,5·1,8	17	4	55
6	0,35	6·4·3	21	3	60	36	1,6	2·2·1	16	3	40
7	0,4	4·6·3	17	2	45	37	2,4	3·2·1	19	3	45
8	0,5	2·4·1,5	16	2	50	38	3,0	4·2·1	21	4	50
9	0,6	3·2·1	22	3	55	39	1,8	2·1,5·1,0	23	3	45
10	0,65	4·2,5·1,5	20	2	50	40	1,2	2·1,2·0,6	22	2	40
11	0,55	6·1,5·1	16	4	45	41	1,0	2·1·0,5	20	2	45
12	0,5	8·1,2·0,8	18	2	40	42	0,9	2·1,2·0,4	19	2	45
13	0,35	6·1,0·0,6	14	3	50	43	0,8	3·1·0,6	14	2	40
14	0,4	5·2·1,5	22	1	45	44	0,7	3·0,8·0,4	16	2	40
15	0,7	4·1,5·1	23	4	45	45	0,6	4·0,9·0,5	18	2	40
16	0,8	2·1·0,6	19	3	45	46	1,1	3·1·0,6	19	2	45
17	1,0	2·1,5·1	13	2	50	47	2,2	4·2·1	21	3	50
18	1,2	2·1,6·1	24	2	50	48	2,3	4·2,5·1,5	22	3	55
19	1,5	2·1,8·0,9	14	3	50	49	2,5	4·2,5·1,5	20	3	55
20	2,0	3·2·1,5	15	3	55	50	3,0	4·2,5·1,5	19	4	55
21	2,5	4·2·1,5	18	4	55	51	0,5	2·0,8·0,4	18	2	40
22	3,0	6·2·1,5	19	4	55	52	0,6	2·1,5·1	17	2	40
23	3,5	6·2·1,5	17	5	55	53	0,4	2·1·0,5	15	1	40
24	4,0	6·2·1,5	16	5	60	54	0,8	2·0,9·0,5	16	2	45
25	1,5	4·2·1,5	20	3	45	55	1,6	4·1·0,6	14	2	50
26	0,8	2·2·1,5	21	2	40	56	1,9	4·1·0,5	19	3	50
27	2,6	4·2,5·2	22	3	50	57	2,1	4·1,5·1	20	3	55
28	3,2	4·2,5·2	19	4	55	58	2,0	4·2·1,2	21	3	55
29	1,4	3·2·1,5	20	2	45	59	1,0	2·2·1,2	18	2	40
30	0,7	2·2·1,0	18	2	40	60	0,4	2·1·0,5	20	1	40

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, м^3/ч, определяется по формуле

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

где $L_{\text{уд}}$ — 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 кг/м^3, соответствующей температуре 20 °С и нормальном атмосферном давлении. Зависимость плотности воздуха от температуры при нормальном атмосферном давлении представлена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Температура, °С	– 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.

$$X = \frac{\rho_{п}}{\rho_{с}}, \tag{1.6}$$

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 иначе — 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 состояние 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–Менделева) влажного воздуха имеет вид

$$\frac{P}{\rho} = R \cdot T, \tag{1.7}$$

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

$$P = P_{с} + P_{п}, \tag{1.8}$$

где $P_{С}$, $P_{П}$ — давление сухого воздуха и водяного пара соответственно, Па.

Аналогично определяется плотность воздуха

$$\rho = \rho_{с} + \rho_{п}. \tag{1.9}$$

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

$$X = \frac{R_{с}}{R_{п}} \cdot \frac{P_{п}}{P - P_{п}}, \tag{1.10}$$

где $R_{с}$ = 287,04 Дж/(кг·К) — газовая постоянная сухого воздуха;

$R_{п}$ = 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 °С. Необходимая информация содержится в табл. 1.4.

Таблица 1.4

t, °С	$\rho_{пн}$, г/м^3	$P_{пн}$, Па	t, °С	$\rho_{пн}$, г/м^3	$P_{пн}$, 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.

Дано (вариант 1). В цехе парциальное давление $P_{пн}$ = 4213,0 Па, что соответствует абсолютной влажности воздуха $\rho_{пн}$ = 30,1 г/м^3, $t_{помещ}$ = 30 °С, $t_{удел}$ = 20 °С, $t_{поступ}$ = 15 °С, K = 5 $1/ч$, V=100 м^3.

Решение.

1. Определить количество воздуха, удельного из рабочей зоны

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

2. Определить избыток влаги, в помещении при $t_{помещ}$ = 30 ^{0}С, согласно табл. 1.4 $P_{П.Н}$=4213,0 Па, что соответствует $\rho_{пн}$ = 30,1 г/м^3, тогда

$\Delta\rho = \rho_{пн}$ при 30 ^{0}С – $\rho_{пн}$ при 20 ^{0}С = 30,1 – 17,2 = 12,9 г/м^3

и $W = \Delta\rho \cdot V$ = 12,9·100 = 1290 г/ч.

3. Определить $d_{П}$, $d_{уд.}$, $d_{уд.з}$ используя табл. 1.3 и 1.4.

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

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

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

4. Определить необходимое количество воздуха по формуле (1.5)

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

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

Ответ. $L_{вр}$ = 8,26 м^3/с.

Необходимые исходные данные для расчетов содержатся в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Исходные данные

№ п/п	$t_{помещ}$, °С	$t_{поступ}$, °С	$t_{удал}$, °С	$V_{пом}$, м^3	K	№ п/п	$t_{помещ}$, °С	$t_{поступ}$, °С	$t_{удал}$, °С	$V_{пом}$, м^3	$t_{помещ}$, °С
1	30	15	20	100	5	31	35	5	20	150	7
2	25	10	20	150	8	32	30	15	20	200	11
3	35	15	20	250	17	33	25	10	20	300	8
4	30	10	20	350	11	34	30	15	20	400	12
5	40	5	20	450	8	35	35	15	20	500	9
6	25	10	20	500	16	36	40	10	20	600	13
7	35	15	20	600	6	37	35	10	20	700	10
8	30	10	20	400	6	38	30	15	20	300	14
9	25	0	20	200	11	39	25	-5	20	100	15
10	30	10	20	250	15	40	30	0	20	150	18

11	35	15	20	100	21	41	35	5	20	100	12
12	40	15	20	150	9	42	40	10	20	200	16
13	25	0	20	200	8	43	35	15	20	250	19
14	30	5	20	300	20	44	30	10	20	300	20
15	35	10	20	350	10	45	25	10	20	200	22
16	25	-5	20	400	18	46	30	5	20	150	10
17	30	0	20	500	13	47	35	10	20	400	11
18	40	10	20	350	14	48	40	15	20	250	14
19	35	5	20	300	12	49	35	10	20	200	15
20	30	10	20	150	9	50	30	5	20	100	8
21	25	5	20	200	7	51	25	-5	20	150	7
22	30	10	20	350	6	52	30	0	20	200	6
23	35	15	20	400	5	53	35	5	20	300	5
24	40	5	20	250	19	54	40	10	20	250	19
25	35	10	20	200	22	55	35	5	20	200	17
26	30	15	20	150	18	56	30	0	20	150	15
27	25	10	20	300	20	57	25	-10	20	100	13
28	30	5	20	200	12	58	30	-5	20	150	11
29	35	15	20	250	9	59	35	0	20	200	21
30	40	10	20	150	14	60	40	5	20	300	10

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 потребного 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 $L_{вр}$, м^3/ч, определяется по формуле

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

где $L_{уд}$ — количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны, м^3/ч;

M — количество вредных веществ, поступающих в помещение, мг/ч;

$Z_{уд.з}$ — концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемых из помещения, мг/м^3;

$Z_{уд}$ — концентрация вредных веществ за пределами рабочей зоны, мг/м^3;

$Z_{п}$ — концентрация вредных веществ в поступающем воздухе, мг/м^3 (обычно $Z_{п}$=0).

Величина $Z_{уд.з}$ 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

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

где κ — кратность воздухообмена, определяющая, сколько раз в течение часа следует поменять воздух в помещении;

V — объем помещения, м^3.

В табл. 1.6 приведены данные по рекомендуемым кратностям воздухообмена в цехах ремонтных предприятий, которые можно использовать и относительно ряда других производств.

Таблица 1.6

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.

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

Решение:

1. Определим количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны, $L_{\text{уд}} = к \cdot V = 5 \cdot 100 = 500$ м^3

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

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

Ответ. $L_{\text{вр}} = 3800$ м^3/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 $L_{\text{вр}}$ = 1,1 м^3/с.

Исходные данные для расчетов приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Исходные данные

№ п/п	$к$	V, м^3	M, мг/ч	$Z_{\text{уд.з}}$, мг/м^3	$Z_{\text{уд}}$, мг/м^3	№ п/п	$к$	V, м^3	M, мг/ч	$Z_{\text{уд.з}}$, мг/м^3	$Z_{\text{уд}}$, мг/м^3
1	5	100	1800	0,3	0,5	31	6	200	1800	0,2	0,4
2	8	150	1200	0,25	0,7	32	11	150	1900	0,3	0,5
3	17	200	1300	0,05	0,2	33	15	100	2000	0,4	0,6
4	11	250	2500	0,25	0,4	34	21	150	2100	0,5	0,7
5	8	300	1900	0,1	0,2	35	9	200	2200	0,6	0,8
6	16	350	2000	0,15	0,25	36	8	250	2300	0,4	0,7
7	6	400	2700	0,2	0,4	37	20	300	2400	0,2	0,4
8	6	450	2900	0,15	0,30	38	10	350	2500	0,3	0,5
9	11	500	300	0,3	0,5	39	12	400	2600	0,4	0,6
10	15	450	1200	0,4	0,6	40	13	450	2700	0,3	0,6
11	21	400	1100	0,1	0,25	41	14	500	3000	0,2	0,5

12	9	350	100	0,5	0,7	42	18	450	3100	0,2	0,4
13	8	300	900	0,4	0,6	43	19	400	3200	0,3	0,7
14	20	250	800	0,3	0,5	44	21	350	3300	0,4	0,7
15	10	200	1800	0,2	0,4	45	20	300	3500	0,2	0,4
16	12	150	1900	0,3	0,5	46	17	250	4000	0,3	0,5
17	13	100	2000	0,4	0,7	47	5	200	4500	0,3	0,6
18	14	150	2100	0,6	0,8	48	8	150	5000	0,3	0,4
19	18	200	2200	0,3	0,4	49	17	100	4500	0,4	0,8
20	19	250	2300	0,2	0,5	50	11	150	4000	0,4	0,7
21	21	300	2400	0,1	0,3	51	8	200	3500	0,4	0,6
22	20	350	2500	0,2	0,4	52	10	250	3000	0,2	0,4
23	17	400	2600	0,3	0,5	53	9	300	2500	0,2	0,5
24	5	450	2700	0,4	0,6	54	12	350	2000	0,2	0,6
25	8	500	2800	0,5	0,7	55	13	400	1500	0,2	0,5
26	17	450	2900	0,15	0,30	56	14	450	1300	0,2	0,4
27	11	400	300	0,20	0,4	57	15	500	1200	0,2	0,3
28	8	350	3100	0,25	0,45	58	16	300	1100	0,2	0,4
29	16	300	3200	0,3	0,45	59	17	350	1000	0,2	0,5
30	6	250	2900	0,5	0,7	60	19	200	1800	0,2	0,6

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

$$L_{\text{вр}} = \frac{3600\ Q_{\text{изб}}}{C_{\text{р}} \cdot \rho \cdot (T_{\text{у}} \cdot T_{\text{п}})}, \tag{1.13}$$

где $Q_{\text{изб}}$ — избыточная теплота, Дж/с;

$C_{\text{р}}$ — удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении, Дж/(кг·К);

ρ — плотность воздуха при 293 К (20 ^{0}С), кг/м^3, равная ρ = 1,2 кг/м^3;

$T_{\text{у}}$ — температура удаляемого воздуха, К;

$T_{\text{п}}$ — температура воздуха, подаваемого в помещение, К. $T_{\text{у}}$ и $T_{\text{п}}$ легко получить по обычному градуснику, прибавив к значению температуры в ^{0}С цифру 273, например 10 ^{0}С соответствует 283 К, 0 ^{0}С = 273 К, 30 ^{0}С = 303 К и т. д.

Количество теплоты, которое необходимо затратить, чтобы 1 кг воздуха поднять на 1 ^{0}С, называется теплоемкостью воздуха, отнесенной к единице веса, иначе — удельной теплоемкостью воздуха.

Различают теплоемкость воздуха при постоянном давлении $C_{\text{р}}$ и при постоянном объеме C_{v}.

Значения теплоемкостей сухого воздуха при изменении температуры от 0 до 80 ^{0}С соответственно равны: $C_{\text{р}}$ = 0,239 – 0,241 и C_{v} = 0,170 – 0,172 ккал/(кг·град). В системе СИ соответственно указанному диапазону $C_{\text{р}}$ = 999,999 – 1008,368 Дж/(кг·К). Если предположить, что между температурой воздуха и его теплоемкостью существует линейная зависимость, то при 20 ^{0}С величина $C_{\text{р}}$ = 1001,6728 Дж/(кг·К), из выражения: $C_{\text{р}}$= 999,999 + 0,1046125·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. Математически это описывается как умножение величины теплосодержания на скорость удаления теплого воздуха, в размерности это выглядит как (Дж/кг)·(кг/с) = Дж/с. Поэтому формулу (1.13) можно представить в следующем виде

$$L_{\text{вр}} = \frac{3600 \cdot \gamma \cdot \rho \cdot L_{\text{уд}}}{C_{\text{р}} \cdot \rho \cdot (T_{\text{у}} - T_{\text{п}}) \cdot 3600} = \frac{\gamma \cdot L_{\text{уд}}}{C_{\text{р}} \cdot (T_{\text{у}} - T_{\text{п}})}, \quad (1.14)$$

где $L_{\text{уд}}$ — удаляемый из помещения воздух, с учетом, кратности воздухообмена (К), м^3/ч. При K=10 и V=90 м^3, $L_{\text{уд}}$=900 м^3, где V — объем помещения.

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

$$\gamma = C_{\text{р}}(t) + X(r + C_{\text{п}}t), \quad (1.15)$$

где γ — количество тепловой энергии, заключенное в 1 кг массы газа, Дж/кг;

r = 2,5·10^6 — скрытая теплота парообразования или удельная теплота испарения воды при 0 ^{0}С, Дж/кг;

$C_{\text{п}}$ =1890 — средняя удельная теплоемкость водяного пара при нормальном давлении, Дж/(кг·К);

t — температура, ^{0}С; Р = 101325 Па;

X — влагосодержание – отношение плотности водяных паров к плотности воздуха, кг/кг, т. е.

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

где $\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{с}}$ — плотности сухого воздуха и водяного пара, кг/м^3. 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/м^3;

T — абсолютная температура, К;

R — газовая постоянная, Дж/(кг·К).

Давление влажного воздуха по закону Дальтона можно выразить в виде

$$P = P_{\text{с}} + P_{\text{п}}, \quad (1.18)$$

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

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

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

где $R_{\text{с}}$= 287,04 — газовая постоянная сухого воздуха, Дж/(кг·К);

$R_{\text{п}}$= 461,66 — газовая постоянная водяных паров, Дж/(кг·К). Параметры водяных паров приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Параметры водяных паров

t, ^{0}С	$\rho_{\text{п.н.}}$, кг/м^3	$P_{\text{п.н.}}$, Па	t, ^{0}С	$\rho_{\text{п.н.}}$, кг/м^3	$P_{\text{п.н.}}$, 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.

Дано (вариант 1). Температура воздуха t = 20 ^{0}С, относительная влажность ψ=0,6 в долях единицы, кратность воздухообмена K = 10, объем помещения V = 100 м^3

Решение.

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

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

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

P — давление воздуха в помещении, Па. $P_{\text{п.н.}}$ при 20 ^{0}С равно 2319,8 Па.

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

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

2. Определим теплосодержание воздуха по формуле (1.15) при $C_р$= 999,999 + 0,1046125·t = =999,999 + 0,1046125·20 =1001,6728 Дж/(кг·К)

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

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

Таблица 1.9

Исходные данные ($T_п$ = 15 ^{o}С)

№	$T_у$=t,^{0}С	ψ, %	К	V, 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
11	25	45	11	400	3546,4
12	20	50	14	350	2319,8
13	25	55	12	300	3546,4
14	30	60	13	250	4213,0
15	35	65	15	200	5586,2
16	40	70	17	150	7319,4
17	45	75	18	100	9519,2
18	20	80	19	150	2319,8
19	25	85	20	200	3546,4
20	30	90	21	250	4213,0
21	25	60	20	300	3546,4
22	30	55	18	350	4213,0
23	35	50	17	400	5586,2

24	40	45	16	450	7319,4
25	35	40	15	500	5586,2
26	30	35	14	450	4213,0
27	25	40	16	400	3546,4
28	20	45	17	350	2319,8
29	25	50	18	300	3546,4
30	30	55	14	250	4213,0
31	25	60	10	200	3546,4
32	20	65	11	150	2319,8
33	25	70	12	100	3546,4
34	30	75	15	500	4213,0
35	35	80	18	400	5589,2

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

При общеобменной вентиляции происходит обмен воздуха во всех помещениях. 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 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 разбавление вредных примесей до уровня ПДК, можно использовать соотношение

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

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

$$L_{\text{мест}} = F \cdot \upsilon \cdot 3600, \text{ м}^3/\text{ч}, \tag{1.22}$$

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

$$L_{\text{мест}} = L_{\text{вр}}, \tag{1.23}$$

или

$$F \cdot \upsilon \cdot 3600 = L_{\text{вр}} \tag{1.24}$$

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

$$F = \frac{L_{\text{вр}}}{\upsilon \cdot 3600}, \text{ м}^2 \tag{1.25}$$

*Задание***.** Рассчитать производительность местной вентиляции для разбавления вредных примесей и площадь сечения воздухозаборников.

Дано (вариант 1)**.** На медницком участке, где осуществляется пайка узлов, деталей, их предварительное травление выделяются вредные вещества, в частности, окись меди, ПДК = 0,2 мг/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) $L_{вр} = \frac{1800}{0,2} = 9000$ м^3/ч 2) $F = \frac{9000}{1,7 \cdot 3600} = 1,47$ м^2

Ответ. $L_{вр} = 9000$ м^3/ч и $F = 1,47$ м^2

Данные, необходимые для расчета местной вентиляции, приведет в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Исходные данные

№ п/п	*M*, мг/ч	*ПДК*, мг/м^3	υ, м/с	№ п/п	*M*, мг/ч	*ПДК*, мг/м^3	υ, м/с	№ п/п	*M*, мг/ч	*ПДК*, мг/м^3	υ, м/с
1.	1800	0,2	1,7	1.	2100	0,35	1,6	41.	1000	1	0,7
2.	1200	0,8	1,6	2.	1300	0,2	1,3	42.	1200	0,14	1,5
3.	250	0,03	1,1	3.	1000	0,03	1,0	43.	1300	1	0,8
4.	900	1	1,5	4.	900	0,01	1,2	44.	1500	2	0,6
5.	800	0,06	1,4	5.	1100	0,01	1,6	45.	300	0,01	1,6
6.	750	0,01	1,3	6.	500	0,001	1,7	46.	150	0,003	1,7
7.	300	0,008	1,5	7.	600	0,03	1,5	47.	280	0,005	1,7
8.	200	0,0025	1,2	8.	1500	3	1,4	48.	400	0,01	1,5
9.	1250	0,1	1,0	9.	1500	0,05	1,7	49.	500	0,03	1,4
10.	350	0,0003	1,7	10.	300	0,005	1,6	50.	600	0,01	1,3
11.	1500	0,05	1,4	11.	1000	0,1	1,2	51.	700	0,1	1,0
12.	1700	1	1,5	12.	1500	0,01	1,5	52.	900	0,05	1,2
13.	120	0,005	1,2	13.	800	0,15	1,4	53.	800	0,0015	1,4
14.	1300	0,014	1,6	14.	250	0,6	1,1	54.	1000	0,05	1,2
15.	1200	0,2	1,7	15.	380	0,5	1,0	55.	900	0,1	1,1
16.	1000	0,003	1,0	16.	400	0,3	0,9	56.	750	0,02	1,3
17.	250	0,004	1,2	17.	700	5	0,8	57.	1000	3	0,8
18.	2800	25	1,3	18.	200	0,006	1,7	58.	250	0,03	1,3
19.	180	0,0003	1,7	19.	1000	0,6	0,9	59.	300	0,02	1,5
20.	1300	0,0017	1,6	20.	350	0,05	1,6	60.	1000	3	0,7

1.7. Расчет системы местного освещения

Задание: определить световой поток и подобрать тип лампы для местного освещения.

Дано (вариант 1). *К* — коэффициент запаса — 1,5 (выбирается из табл. 1.13); *Е* — нормированная освещенность — 220 лк (выбирается из табл. 1.13); *е* — величина условной освещенности — 200 (подбирается согласно графикам 1.1, 1.2 и принимается ближайшее значение кривой); *а* — расстояние от проекции оси светильника — 23 см (выбирается из табл. 1.13); *h* — высота установки светильника — 35 см.

Решение:

1. Определяем величину светового потока *F*, мм

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

2. По данному световому потоку подбираем тип лампы (табл. 1.11, 1.12).

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

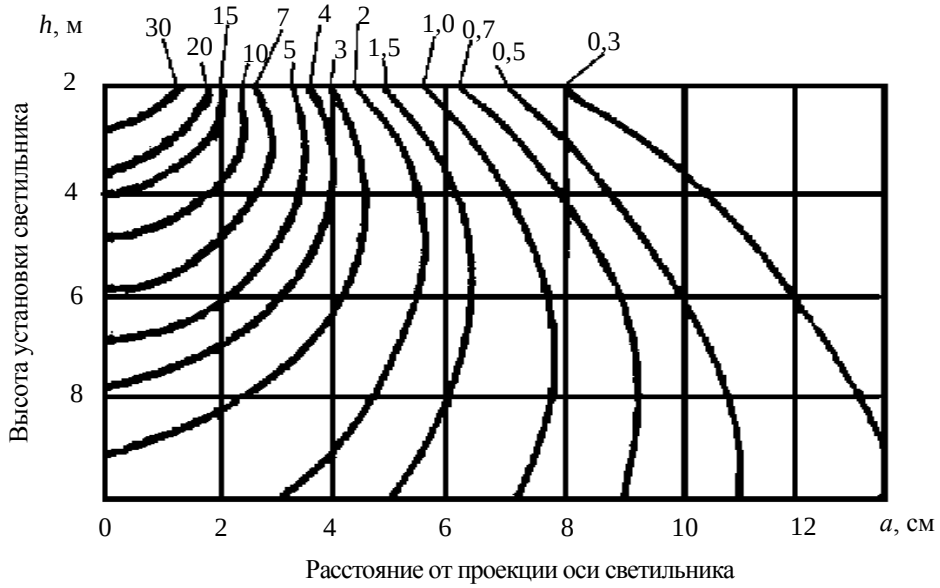


Рис. 1.1.

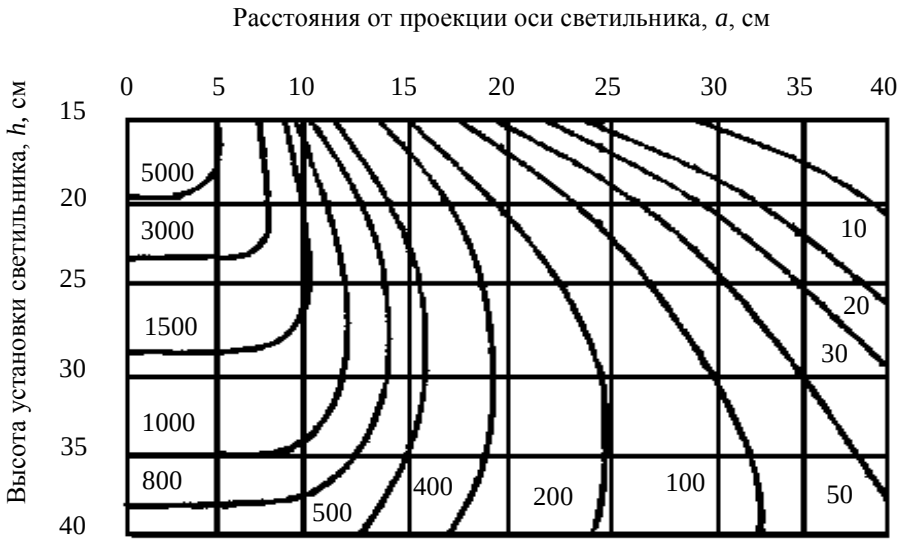


Рис. 1.2.

Таблица 1.11

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

Тип ламп	Номинальные значения				
	E, лм	$d_к$, мм	l, мм	h, мм	$I_υ$, 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	$d_к$, мм	l, мм	h, мм	$I_υ$, 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 1.12

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

Люминесцентные лампы		
Тип	Световой поток, лм	Световая отдача, лм/Вт
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
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.

Таблица 1.13

Исходные данные

№ п/п	Коэф. запаса мощности, K	Наимен. освещ. E, лк	Высота установки светил., h, см	Расст. от проекции оси светильника, a, см	№ п/п	Коэф. запаса мощности, K	Наимен. освещ. E, лк	Высота установки светил., h, см	Расст. от проекции оси светильника, a, см
1	1,5	220	35	24	16	1,3	300	30	17
2	1,7	225	35	18	17	1,5	800	30	14
3	1,5	550	30	25	18	1,7	500	25	13
4	1,7	400	30	13	19	1,3	400	30	12
5	1,7	700	35	7	20	1,3	200	40	34
6	1,5	100	25	28	21	1,7	150	30	30
7	1,5	150	30	18	22	1,3	100	200	1,8
8	1,3	200	30	25	23	1,5	100	300	1,6
9	1,7	300	20	17	24	1,5	200	40	24
10	1,5	400	18	35	25	1,3	300	28	9

11	1,5	200	30	16	26	1,3	200	37	10
12	1,7	500	30	25	27	1,3	400	30	13
13	1,3	400	20	17	28	1,5	300	40	12,5
14	1,7	150	20	19	29	1,5	200	30	13,5
15	1,5	200	35	15	30	1,3	150	30	25

1.8. Расчет системы общего освещения

Задание: Определить световой поток F и подобрать стандартную лампу для общего освещения.

Дано (вариант 1).

E — нормированная минимальная освещенность — 500 лк (табл. 1.18);

A — ширина помещения — 12 м (табл. 1.18);

B — длина помещения — 18 м (табл. 1.18);

H — высота помещения — 6 м (табл. 1.18);

K — коэффициент запаса — 1,3 (табл. 1.18);

Z — коэффициент неравномерности освещения, его значение для ламп накаливания ДРЛ – 1,15, для люминесцентных ламп – 1,1;

N — число светильников в помещении;

nu — коэффициент использования светового потока ламп (табл. 1.17).

Решение

1. Определим величину светового потока лампы F, лм

$$F = \frac{100 \cdot E \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot nu}, \tag{1.27}$$

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.

$$N = N_{\text{дл}} \cdot N_{\text{ш}} = 54, \tag{1.28}$$

где $N_{\text{ДЛ}}$ — число светильников по длине;

$N_{\text{ш}}$ — число светильников по ширине.

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

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

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

где λ — выбирается из табл. 1.18;

h — высота установки светильника над рабочей поверхностью, м;

4. Высота установки светильника h вычисляется по формуле

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

где $h_{\text{св}}$ — высота свеса светильника, м (табл. 1.18);

$h_{\text{р.п.}}$ — высота рабочей поверхности, м (табл. 1.18).

5. Находим индекс помещения

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

Коэффициент использования светового потока (nu) находится по табл. 1.17 в зависимости от коэффициента отражения стен $P_{\text{с}}$ и потолка $P_{\text{п}}$ (табл. 1.18) 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. 1.14, 1.15 подобрать ближайшую стандартную лампу и определяют 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 1.14

Световые и электрические параметры ртутных ламп ДРЛ

Тип лампы	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

Цифры после ДРЛ обозначают мощность в Вт.

Таблица 1.15

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 1.16

Рекомендуемые и допустимые значения λ=*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 1.17

Коэффициент использования светового потока *nu*

Светильник, %	НСП09			ВЗГ20			ЛСП02			ПВЛМ			РСП05		
$P_п$	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70
$P_с$	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
i	Коэффициент использования *nu*, %														
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 1.18

Исходные данные

№ п/п	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
11	20	15	8	30	10	1,3	0,4	0,5	1,5	220	НСП09	ЛН
12	20	34	9	50	30	1,7	0,8	0,6	1,4	400	РСП05	ДРЛ
13	20	38	8	70	50	1,7	0,9	0,5	1,5	300	РСП05	ДРЛ
14	12	12	6	70	50	1,6	0,7	0,7	1,3	150	НСП09	ЛН
15	15	15	6	50	30	1,6	1,2	0,6	1,4	150	ВЗГ20	ЛН
16	24	30	8	30	10	1,5	0,8	0,7	1	150	РСП05	ДРЛ
17	25	35	8	30	10	1,5	0,8	0,7	1	150	РСП05	ДРЛ
18	24	36	12	30	10	1,5	0,8	0,5	1,5	100	РСП05	ДРЛ
19	20	30	12	30	10	1,5	0,8	0,5	1,5	100	РСП05	ДРЛ
20	40	15	6	70	50	1,4	1,44	0,6	1,4	200	НСП09	ЛН
21	12	34	9	30	10	1,3	0,4	0,6	1,4	250	ЛСП02	ЛЛ
22	22	44	6	30	10	1,7	0,9	0,6	1	100	ЛСП02	ЛЛ
23	12	18	12	70	50	1,4	0,8	0,5	2	200	РСП05	ДРЛ
24	10	15	12	70	50	1,4	0,4	0,5	1,5	200	НСП09	ЛН
25	12	18	8	30	10	1,4	0,5	0,5	1,5	150	ЛСП02	ЛЛ
26	15	20	8	30	10	1,4	0,53	0,3	1,7	200	ЛСП02	ЛЛ
27	10	15	8	70	50	1,6	0,4	0,5	1,5	100	ЛСП02	ЛЛ
28	24	46	12	50	30	1,7	0,8	0,6	1	200	РСП05	ДРЛ
29	26	48	12	50	30	1,7	0,8	0,6	1	100	РСП05	ДРЛ
30	30	56	12	50	30	1,7	0,8	0,6	1	200	РСП05	ДРЛ

1.9. Расчет естественного освещения

Площадь световых проемов рассчитывается при боковом освещении помещений по уравнению:

$$S_0 = \frac{S_п \cdot e_N \cdot k_з \cdot \eta_0 \cdot k_{зд}}{100 \cdot \tau_0 \cdot r_1}, \quad (1.32)$$

где S_0 – площадь световых проемов, м^2; $S_п$ — площадь пола помещения, м^2;

$k_з$ – коэффициент запаса; η_0 — световая характеристика окон;

$k_{зд}$ – коэффициент, учитывающий затемнение окон противоположными зданиями. Зависит от отношения расстояния Р к высоте расположения карниза противостоящего здания над подоконником рассматриваемого окна;

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

P — расстояние между рассматриваемым и противостоящим зданиями, м;

$H_{зд}$ — 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:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3, \quad (1.32)$$

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 τ_3 =1);

Средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения:

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_1 \cdot S1 + \rho_2 \cdot S_2 + \rho_3 \cdot S_3}{S1 + S_2 + S_3}, \quad (1.33)$$

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

Задание. Определить площадь световых проемов и средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения.

Дано (по варианту 1). Глубина, длина, высота, световая характеристика окон, коэффициенты: запаса, учитывающий затемнение окон противоположными зданиями. Зависит от отношения расстояния *Р* 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, учитывающий 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

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

2) Средневзвешенный коэффициент отражения поверхностей помещения

$$\rho_{ср} = \frac{\rho_1 \cdot S1 + \rho_2 \cdot S_2 + \rho_3 \cdot S_3}{S1 + S2 + S3} = \frac{0{,}6 \cdot 5000 + 0{,}4 \cdot 2400 + 0{,}2 \cdot 5000}{5000 + 2400 + 5000} = 0{,}44$$

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

Исходные данные

№ вар.	Размер помещения			Коэффициенты		$e_н$, %	τ_1	τ_2	τ_3	r_1	$\tau_{об}$	η_0	ρ_1	ρ_2	ρ_3
	A, м	B, м	H, м	$K_з$	$K_{зд}$										
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
11	30	80	9	1,4	1,4	2	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	2	0,6	0,4	0,2
12	30	80	9	1,4	1,4	1	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	5	0,6	0,4	0,2
13	30	80	9	1,4	1,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	10	0,6	0,4	0,2
14	30	80	9	1,4	1,4	0,2	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	20	0,6	0,4	0,2
15	30	80	9	1,4	1,4	0,3	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	18	0,6	0,4	0,2
16	30	80	9	1,4	1,4	0,1	0,6	0,7	0,8	1,15	0,336	20	0,6	0,4	0,2
17	40	60	6	1,3	1,2	4	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	1,2	0,6	0,4	0,2
18	40	60	6	1,3	1,2	3	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	1,7	0,6	0,4	0,2
19	40	60	6	1,3	1,2	2	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	1,5	0,6	0,4	0,2
20	40	60	6	1,3	1,2	1	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	5	0,6	0,4	0,2
21	40	60	6	1,3	1,2	0,5	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	8	0,6	0,4	0,2
22	40	60	6	1,3	1,2	0,2	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	15	0,6	0,4	0,2
23	40	60	6	1,3	1,2	0,3	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	15	0,6	0,4	0,2
24	40	60	6	1,3	1,2	0,1	0,65	0,9	0,8	1,25	0,468	15	0,6	0,4	0,2
25	10	6	3	1,2	1,1	4	0,8	0,6	0,9	1,25	0,432	3	0,6	0,4	0,2
26	10	6	3	1,2	1,1	3	0,8	0,6	0,9	1,35	0,432	4	0,6	0,4	0,2
27	10	6	3	1,2	1,1	2	0,8	0,6	0,9	1,35	0,432	6	0,6	0,4	0,2
28	10	6	3	1,2	1,1	1	0,8	0,6	0,9	1,35	0,432	11	0,6	0,4	0,2
29	10	6	3	1,2	1,1	0,5	0,8	0,6	0,9	1,35	0,432	20	0,6	0,4	0,2
30	10	6	3	1,2	1,1	0,2	0,8	0,6	0,9	1,35	0,432	54	0,6	0,4	0,2

1.10. Определение уровня шума

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

$$L_{\text{сум}} = 10\lg\left(\sum_{i=1}^{n} 10^{0.1\,Li}\right), \tag{1.34}$$

где L_i — уровень шума единицы оборудования участка;

n – количество единиц оборудования.

Превышение уровня над допустимым определяется

$$\Delta L = L_{\text{сум}} - L_{\text{доп}}, \tag{1.35}$$

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

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

Таблица 1.19

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.

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

Таблица 1.20

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

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

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

Ответ.

Окт. 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 1.21

Данные для расчета уровня шума

№ п/п	*f*, Гц	L_{p_1}, дБ	L_{p_2}, дБ	L_{p_3}, дБ	№ п/п	*f*, Гц	L_{p_1}, дБ	L_{p_2}, дБ	L_{p_3}, дБ
1	1000	85	88	86	16	1000	78	86	92
	2000	82	84	82		2000	95	77	88
2	1000	82	81	76	17	1000	77	73	79
	2000	77	80	75		2000	101	72	78
3	1000	69	79	74	18	1000	76	71	81
	2000	78	78	73		2000	75	70	92
4	1000	88	77	72	19	1000	74	71	100
	2000	91	101	71		2000	73	72	76
5	1000	75	76	70	20	1000	72	73	79
	2000	84	75	71		2000	71	74	68
6	1000	79	74	72	21	1000	70	75	95
	2000	78	73	73		2000	71	76	98
7	1000	81	72	74	22	1000	72	77	78
	2000	92	71	75		2000	73	78	76
8	1000	100	70	76	23	1000	74	79	88
	2000	76	71	77		2000	75	80	77
9	1000	79	72	78	24	1000	76	81	69
	2000	68	73	79		2000	77	82	78
10	1000	95	74	80	25	1000	78	83	88
	2000	98	75	81		2000	79	84	91
11	1000	78	76	82	26	1000	80	85	75
	2000	76	77	83		2000	81	86	84
12	1000	88	78	84	27	1000	82	70	79
	2000	84	79	85		2000	83	71	78
13	1000	82	80	86	28	1000	75	72	81
	2000	89	81	87		2000	74	73	92
14	1000	78	82	88	29	1000	73	74	88
	2000	79	83	89		2000	72	75	91
15	1000	77	84	90	30	1000	71	76	75
	2000	76	85	91		2000	70	77	84
					31	1000	71	78	92
						2000	72	79	100

1.11. Определение уровня виброускорения локальной вибрации

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

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

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. 1.22.

Таблица 1.22

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 1.23

Предельно-допустимые значения производственной локальной вибрации

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям $X_Л$, $Y_Л$, $Z_Л$,			
	для виброускорения		для виброскорости	
	$м^2/с$	дБ	$м^2/с \cdot 10^{-2}$	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

*Задание***.** Определить превышен ли допустимый уровень виброускорения для локальной вибрации в октавных полосах частот и по интегральному показателю. Данные для расчетов приведены в табл. 1.24.

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

*Решение***.**

В соответствии с табл. 1.23 значения виброускорений в октавных полосах частот не превышают допустимые.

Для определения интегрированного уровня из табл. 1.22 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 показаетля не превышает допустимый уровень 126 дБ.

Таблица 1.24

Значения уровней виброускорения производственного оборудования

№ п/п	Октавные полосы частот		
	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
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
8	121	127	129
9	122	128	129
10	114	121	130
11	112	123	134
12	111	125	131
13	110	124	132
14	109	120	133
15	113	119	120
16	108	117	121
17	107	118	122

18	106	116	119
19	105	115	118
20	121	112	116
21	120	110	118
22	120	108	115
23	120	110	117
24	118	111	114
25	119	109	128
26	117	117	129
27	116	125	130
28	115	124	131
29	114	121	132
30	112	122	133

1.12. 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

$$m = 120\frac{r^2}{t}, \tag{1.37}$$

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.

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

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

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

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

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

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

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

где 8,4 — γ–постоянная радия.

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

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

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

В таблице 2 пересечении линий, соответствующих кратности ослабления 2,1 (менее 5) раз 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 1.25

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 1.26

Исходные данные для расчета

Вариант задания	Показатель			
	Источник излучений	Активность источника, *m*, мг-экв Ra	Расстояние от источника, *r*, м	Энергия квантов, *E*, МэВ
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
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
11	^{137}Cs	2000	2	0,2
12	^{137}Cs	1000	3	0,1

13	^{137}Cs	3000	5	0,3
14	^{137}Cs	4000	9	0,7
15	^{137}Cs	500	4	1,25
16	^{137}Cs	2500	0,5	0,1
17	^{137}Cs	1500	1,0	0,2
18	^{137}Cs	1300	4,0	0,5
19	^{137}Cs	550	1	0,3
20	^{137}Cs	1250	3	0,7
21	^{170}Tm	1200	20	1,0
22	^{170}Tm	1250	15	1,25
23	^{170}Tm	1100	32	1,0
24	^{170}Tm	1500	10	0,2
25	^{170}Tm	1350	20	0,1
26	^{170}Tm	1300	15	0,3
27	^{170}Tm	1400	25	0,5
28	^{170}Tm	1450	20	0,7
29	^{170}Tm	2500	35	0,1
30	^{170}Tm	1150	10	1,25

2. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

2.1. Выбор канатов для грузоподъемных кранов

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

$$S_{\max} = \frac{P}{K}, \tag{2.1}$$

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

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

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.

Дано (вариант 1). Грузоподъемность Q=10 т, работающий в среднем режиме на котором 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

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

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

Исходные данные

№ п/п	Q, т	m	a	Режим работы	Тип подшипника	№ п/п	Q, т	m	a	Режим работы	Тип подшипника
1	10	3	2	С	К	16	3,5	3	1	ВТ	С
2	0,5	2	1	С	С	17	12	3	2	Т	К
3	1	3	1	С	К	18	0,85	2	1	Л	С
4	1,25	2	2	Л	К	19	3,5	3	1	С	К
5	1,5	2	2	Л	К	20	2,25	2	1	С	С
6	2	3	1	С	С	21	15,5	3	1	Т	К
7	2,5	3	1	С	К	22	11	3	2	Т	К
8	5	2	1	Т	С	23	13	3	2	С	К

9	10	3	1	Т	К	24	20	3	2	Т	С
10	15	3	1	Т	С	25	22	3	2	ВТ	С
11	32	3	2	ВТ	К	26	25	2	2	ВТ	С
12	16	3	2	ВТ	С	27	26	2	2	Т	К
13	0,8	2	1	С	К	28	30	3	2	Т	С
14	3	3	1	С	С	29	29	3	1	ВТ	С
15	4	3	1	Т	К	30	27	3	2	ВТ	К

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

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

где G — масса поднимаемого груза;

n — число ветвей стропа;

α — угол наклона ветви стропа (не больше 45 ^{0}С).

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

Дано (вариант 1). Масса 5 т, угол наклона ветви стропа принять 45 ^{0}С.

Решение.

1. Определяем максимальное натяжение каната при подъеме груза

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

2. Определяем необходимое разрывное усилие с учетом запаса прочности

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

из 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

Исходные данные

№ п/п	Масса поднимаемого груза, т	Число ветвей стропа	Угол наклона ветви стропа, α	№ п/п	Масса поднимаемого груза, т	Число ветвей стропа	Угол наклона ветви стропа, α
1	5	4	45	16	8,5	4	10
2	1,5	4	35	17	9	4	45
3	2	2	40	18	9,5	2	40
4	2,5	2	45	19	10	4	20
5	3	2	10	20	10,5	4	15
6	3,5	4	35	21	11	4	20
7	4	4	30	22	12	2	45
8	4,5	2	40	23	13	4	40
9	5	1	0	24	14	4	35

10	5,5	4	45	25	15	4	30
11	6	2	45	26	16	2	25
12	6,5	2	30	27	17	4	15
13	7	4	25	28	18	4	30
14	7,5	4	20	29	20	2	45
15	8	4	15	30	30	4	40

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 °С и даже при более низкой температуре, когда применяется низкокачественное компрессорное, масло.

Если в воздухопроводам образуются перекисные соединения, взрыв может произойти при температуре примерно + 60 °С, 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 °С и ниже вместо нормальной +240 °С), а в отдельных случаях даже непроверенным маслом, несмотря на прямое указание правил о необходимости перед применением компрессорного мама 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 °С и в многоступенчатых +140 °С. 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 воздухосборника компрессора. Сделать заключение о возможных причинах взрыва.

Дано (вариант 1). объемом воздухосборника 0,9 м^3, изготовленного из бесшовной трубы с внутренним диаметром $D_В$ = 0,3 м и толщенной стенки $\delta_с$ = 3 мм. Известно, что компрессом создает давление $P_К$ = 0,8 МПа, смазывается компрессорным маслом М12 с температурной вспышки $T_В$ = 489 К. При осмотре воздухосборника установлено, что взрыв произошел не из-за ослабления элементов конструкции.

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

Решение.

1. Определяем предельно допустимое давление для бака воздухосборника

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

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

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

$$N_{вз} = \frac{A_{вз}}{t_{вз}}, \tag{2.5}$$

где

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

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

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

где $A_{вз}$ — энергия сжатого газа, Дж;

t — время взрыва, с;

m — показатель адиабаты, для воздуха $m = 1{,}41$;

$P_{вз}$ — давление взрыва, МПа;

V — объем воздухосборника, м^3;

P_0 — атмосферное давление, 0,1013 МПа ≈ 0,1 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 $P_{доп} = 8{,}0$ 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

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

$T = 535$ К, что больше температуры вспышки масла $T_в = 489$ К.

Ответ. Давление взрыва 10 МПа, мощность – 231330 кВт. Наиболее вероятной причиной взрыва воздухосборника является отказ системы охлаждения компрессора и повышение температуры среды воздухосборника свыше $T_в$ масловоздушной смеси.

Таблица 2.3

Исходные данные

Исходные данные	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Рабочее давление воздухосборника, 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 воздухосборника, 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
Исходные данные	Варианты														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Рабочее давление воздухосборника, МПа	2	2	0,9	0,5	1	1,2	0,8	2	1	0,6	0,5	0,7	0,8	2	1
Объем воздухосборника, м^3	0,6	0,5	0,9	0,8	1,3	1,4	1,5	4,1	3,5	3	2	2,6	2,7	2,2	3,3

2.4. Определение охлаждающей поверхности трубчатого теплообменника компрессорной установки

Задание. Определить безопасную длину труб теплообменника компрессорной установки.

Дано (вариант 1). Производительность $N_к$ = 10 м^3/мин, давление P_2 = 0,5 МПа, охлаждающий теплоноситель – вода ($T_н$ = 283 К, $T_к$ = 298 К); наружный диаметр труб теплообменника $D_н$ = 18 мм, толщина стенки δ = 0,5 мм, температура воздуха после сжатия T_1 = 493 К, температура воздуха после охлаждения T_2 = 303 К, теплоемкость воды $C_в$ = 4,2 кДж/(кг·К), теплоемкость воздуха $C_{в3}$ =1,01 кДж/(кг·К), коэффициент теплопроводности стали λ = 50,1 Вт/(м·К), коэффициенты теплопередачи на внутренней и наружной поверхности α_2 = 740 Вт/(м^2·К), α_1 = 1160 Вт/(м^2·К); плотность воздуха ρ = 1,293 кг / м^3.

Решение.

1. Определим массу охлаждаемого воздуха за 1 с

$$G_{в3} = \rho \frac{NP_2}{P_1} = 1{,}293 \frac{10 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6}{0{,}1 \cdot 10^6 \cdot 60} = 1{,}08 \text{ кг}. \quad (2.8)$$

2. Рассчитываем количество избыточной теплоты

$$Q = G_{в3} C_{ср} (T_1 - T_2) = 1{,}08 \cdot 1{,}01 (493 - 303) = 207{,}25 \text{ кДж}. \quad (2.9)$$

3. Находим охлаждаемую длину труб теплообменника

$$l = \frac{Q}{K' \cdot \Delta t_{ср}}. \quad (2.10)$$

3.1. Определяем средний тепловой напор теплообменника

$$\Delta t_{ср} = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_м}{2{,}3 \lg \frac{\Delta t_6}{\Delta t_м}}, \quad (2.11)$$

$$\Delta t_6 = T_1 - T_н = 493 - 283 = 210 \text{ К}, \quad (2.12)$$

$$\Delta t_м = T_2 - T_к = 303 - 298 = 5 \text{ К}, \quad (2.13)$$

$$\Delta t_{ср} = \frac{210 - 5}{2{,}3 \lg \frac{210}{5}} = 54{,}91 \text{ К}. \quad (2.14)$$

3.2. Вычисляем внутренний диаметр трубы теплообменника

$$D_в = D_н - 2\delta = 18 - 2 \cdot 0{,}5 = 17 \text{ мм}. \quad (2.15)$$

3.3. Рассчитываем коэффициент теплопередачи трубы (длиной 1 м)

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1}\frac{D_н}{D_в} + \frac{D_н}{2\lambda} \ln \frac{D_н}{D_в} + \frac{1}{\alpha_2} + R_3} = \frac{1}{\frac{1}{1160}\frac{0{,}018}{0{,}017} + \frac{0{,}018}{2 \cdot 50{,}1} \ln \frac{0{,}018}{0{,}017} + 13{,}51 \cdot 10^{-4}} = 290{,}98 \text{ Вт/(м·К)}. \quad (2.16)$$

4. Находим охлаждаемую длину труб теплообменника

$$l = \frac{Q}{K \cdot \Delta t_{ср}} = \frac{207{,}25 \cdot 10^3}{290{,}98 \cdot 54{,}91} = 12{,}94 \text{ м}. \quad (2.17)$$

Ответ. Для безопасной работы компрессора необходим теплообменник длинной 25 м.

Таблица 2.4

Исходные данные

Исходные данные	Варианты														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Производительность компрессора, $м^3$/мин	10	3	4	5	6	7	8	9	10	12	13	15	19	20	25
Давление компрессора, МПа	0,5	1,5	1,6	1,6	1,1	1,1	0,5	0,5	0,6	1	1	1	0,6	0,7	1,3
Температура воздуха после сжатия, К	493	620	621	650	580	573	493	493	623	573	570	580	600	600	588
Наружный диаметр труб теплообменника, мм	18	15	15	16	18	18	20	20	20	25	25	30	30	16	16
Толщина стенки трубы, мм	0,5	0,5	0,5	0,6	0,65	0,65	0,8	1	1	1,3	1,3	2	1,6	0,9	1
Исходные данные	Варианты														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Производительность компрессора, $м^3$/мин	30	22	11	14	16	28	29	21	17	18	23	24	26	27	31
Давление компрессора, МПа	1,3	1,5	1	1,2	1,2	0,6	0,4	0,8	0,8	0,7	1	1,6	1,3	1,3	1,2
Температура воздуха после сжатия, К	610	595	490	480	480	615	605	605	621	630	625	630	628	565	595
Наружный диаметр труб теплообменника, мм	18	18	20	20	25	25	30	30	32	32	22	24	22	14	12
Толщина стенки трубы, мм	0,7	0,7	0,9	1	1,1	1,1	1,6	1,6	1,8	1,8	0,95	0,85	1,25	0,55	0,45

Примечание. При решении задания принять одинаковыми для всех вариантов следующие значения параметров: в качестве охлаждающего теплоносителя используется вода с начальной температурой $T_н$=283 К и конечной $T_к$=298 К; средняя удельная теплоемкость воды $C_{ср}$=4,2 кДж/кгК; теплоемкость воздуха $C_{вз}$=1,01 кДж/кгК; температура воздуха после охлаждения T_2=303 К; температура всасываемого воздуха T_0=293К; коэффициент теплопередачи внутренней и наружной поверхности α_1=1160 Вт/$м^2$К; α_2=440 Вт/$м^2$К; коэффициент теплопередачи стали λ=50,1 Вт/мК; термическое сопротивление от загрязнения для новых труб $R_з$=0, P_1=0,1·10^6·60 Па.

2.5. Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа

Процесс горения (сжигания) газов начинается лишь тогда, когда газовоздушная 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 газовоздушной смесью, и т. д.). Процесс горения продолжается только до тех пор, пока количества тепла, выделяющегося при горении, будет достаточно, чтобы постоянно воспламенять поступающую к месту горения газовоздушную смесь. Минимальные и максимальные количества газа в газовоздушной смеси, при которых процесс горения идет непрерывно, называют соответственно нижним или верхним пределом воспламенения данного газа в смеси с воздухом. Взрывом газовоздушной 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

$$П = \frac{\upsilon_1 + \upsilon_2 + \upsilon_3 + \cdots + \upsilon_n}{\frac{\upsilon_1}{l_1} + \frac{\upsilon_2}{l_2} + \frac{\upsilon_3}{l_3} + \cdots + \frac{\upsilon_n}{l_n}}, \qquad (2.18)$$

где $П$ — содержание газа в смеси с воздухом, дающее верхний или нижний предел воспламеняемости (взрываемости) или обеспечивающее максимальную скорость распространения пламени газовой смеси;

$\upsilon_1, \upsilon_2, \upsilon_3, \ldots \upsilon_n$ — объемное содержание компонентов газовой сети в %;

$l_1, l_2, l_3, \ldots l_n$ — значения нижних или верхних пределов взрываемости (воспламеняемости) соответствующих компонентов газовой смеси, принимаемые по табл. 2.5.

Таблица 2.5

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
Окись 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
Водород	H_2	530 - 590	4	75
Этилен	C_2H_4	450 – 550	3	30

*Задание***.** Определить верхний и нижний пределы воспламенения природного газа.

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

$$П_{в} = \frac{100}{\frac{CH_4}{l_1^{в}} + \frac{C_2H_4}{l_2^{в}} + \frac{C_3H_8}{l_3^{в}} + \frac{C_4H_{10}}{l_4^{в}} + \frac{C_5H_{12}}{l_5^{в}} + \frac{C_2H_2}{l_6^{в}} + \frac{H_2S}{l_7^{в}} + \frac{H_2}{l_8^{в}}} =$$

$$= \frac{100}{\frac{51}{15} + \frac{23}{30} + \frac{7}{9,5} + \frac{4}{8,5} + \frac{8}{7,8} + \frac{2}{82} + \frac{1,5}{45,5} + \frac{3,5}{75}} = \frac{100}{6,5036} = 15,37\,\%.$$

2. Рассчитываем нижний предел воспламенения

$$П_{н} = \frac{100}{\frac{CH_4}{l_1^{н}} + \frac{C_2H_4}{l_2^{н}} + \frac{C_3H_8}{l_3^{н}} + \frac{C_4H_{10}}{l_4^{н}} + \frac{C_5H_{12}}{l_5^{н}} + \frac{C_2H_2}{l_6^{н}} + \frac{H_2S}{l_7^{н}} + \frac{H_2}{l_8^{н}}} =$$

$$= \frac{100}{\frac{51}{5,3} + \frac{23}{3} + \frac{7}{2,1} + \frac{4}{1,9} + \frac{8}{1,4} + \frac{2}{2,3} + \frac{1,5}{4,3} + \frac{3,5}{4}} = \frac{100}{30,5345} = 3,274\,\%.$$

Ответ. $П_{в} = 3,274\,\%$, $П_{в} = 15,37\,\%$.

Таблица 2.6

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

Вариант	Состав газа, % по объему							
	CH_4	C_2H_4	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_2H_2	H_2S	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
11	60	13	11	1	1,2	6	1,8	6
12	90	3,6	0,95	0,25	0,31	0,4	3,19	1,3
13	79,4	6	2	1,7	1,4	1	5	3,5
14	89,59	2,42	0,70	0,27	1,16	1,68	0,25	3,93
15	80,23	2,64	1,15	0,74	0,71	0,73	3,0	10,8
16	83,1	2	2,4	3,2	0,3	1	3,0	4
17	85,2	5	3,6	1	0,1	0,3	0,3	4,5
18	85	3,98	1,34	1,75	0,23	1,73	1,2	4,77
19	78,97	4,53	2,34	1,02	0,27	1,02	2,01	9,84
20	94,5	0,2	0,15	0,812	1	0,5	2,138	0,7
21	87,5	3,1	0,91	2,3	3,2	0,3	0,74	1,95
22	81,6	6,5	3	1,9	1,4	4	0,1	1,5
23	40	15,5	18	7,5	4,9	0,1	4,0	10
24	39,5	10	18,5	7,7	4,2	0,1	10	10
25	37,5	16,2	16,8	6,8	3,8	0,1	2,0	16,8
26	75,5	6	6,5	4,8	3,6	0,2	3,0	0,4
27	69,2	5,9	10	5	5	0,7	4,1	0,1
28	83	3	5,3	2,3	1,8	2,5	2,0	0,1
29	80	6	3	1	0,2	0,1	2,7	7
30	65	10	2	3	10	5	4	1

2.6. Определение предела огнестойкости железобетонной стены

Задание. Определить предел огнестойкости по потере несущей способности железобетонной стены толщиной 140 мм.

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

*Решение***.** По графику, приведенному рис., находим на оси ординат точку, соответствующую N= 2200 кН, из которой проводим горизонталь до пересечения с кривой В-30 μ_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.

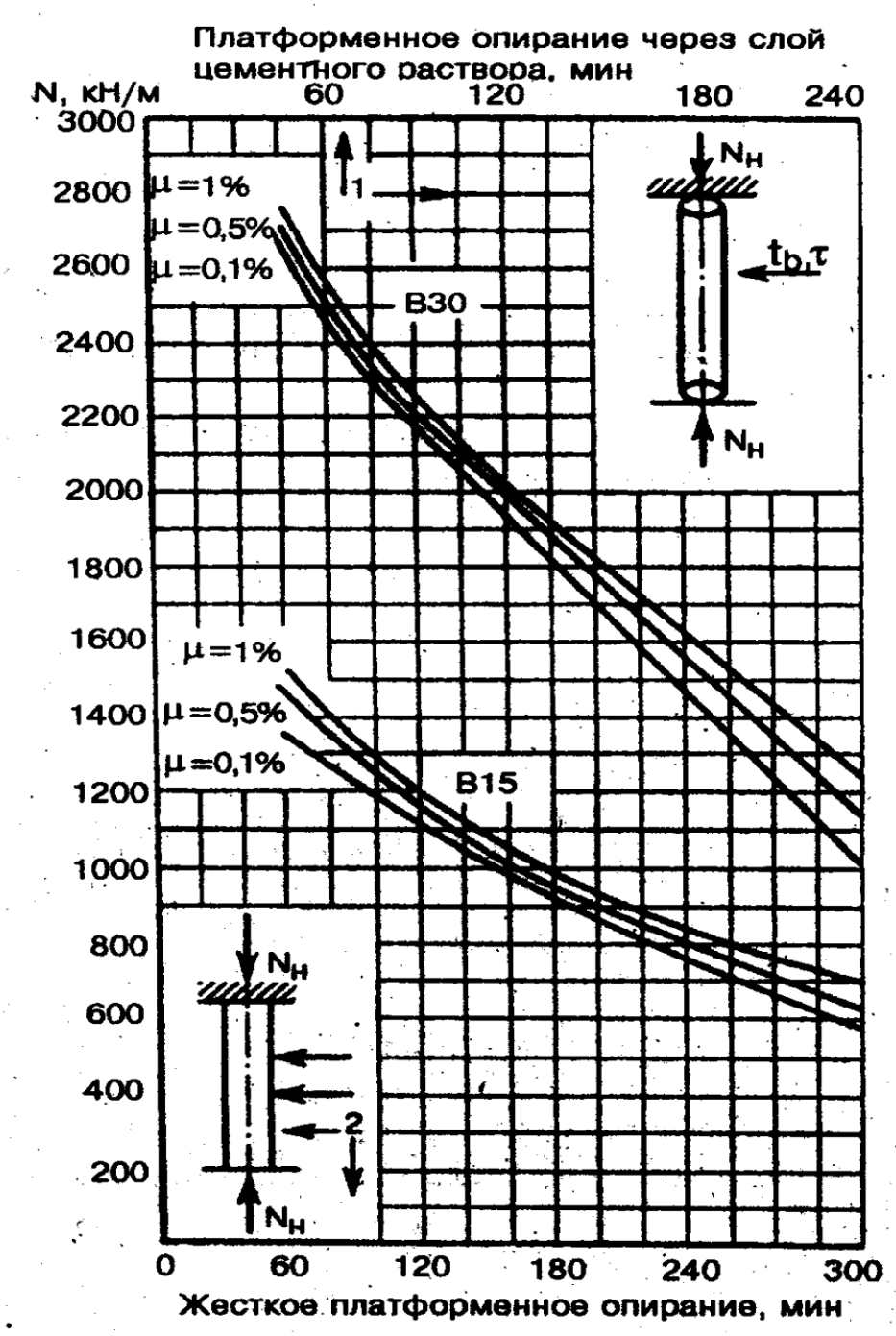


Рис. 2.1.

Таблица 2.7

Исходные данные

Вариант	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		Бетон на известняковом щебне, В-15	2150	1	
4			1500	0,1	Платформенное опирание через слой цементного раствора
5			1100	1	
6		Бетон на известняковом щебне, В-30	1450	0,1	
7			1600	0,5	
8		Бетон на известняковом щебне, В-15	1650	0,1	Жесткое платформенное опирание
9			850	0,5	
10			900	1	
11			950	0,1	
12		Бетон на известняковом щебне, В-30	2200	1	Платформенное опирание через слой цементного раствора
13			2000	0,1	
14		Бетон на известняковом щебне, В-15	1000	0,5	
15			1200	1	Жесткое платформенное опирание
16			900	1	
17			1300	0,1	Платформенное опирание через слой цементного раствора
18		Бетон на известняковом щебне, В-30	2400	0,5	Жесткое платформенное опирание
19			2300	0,1	
20	Стена толщиной 140 мм (14 см)	Бетон на известняковом щебне, В-30	1500	1	Платформенное опирание через слой цементного раствора
21			2450	0,5	
22		Бетон на известняковом щебне, В-15	1250		Жесткое платформенное опирание
23			1400	0,1	
24		Бетон на известняковом щебне, В-30	2250	1	Жесткое платформенное опирание
25			1550	0,1	
26		Бетон на известняковом щебне, В-15	1400	1	
27			1350	0,5	Платформенное опирание через слой цементного раствора
28		Бетон на известняковом щебне, В-30	1850	1	
29			1950	0,1	Жесткое платформенное опирание
30			2150	0,5	

2.7. Определение предела огнестойкости железобетонной колонны

Задание.

1. Определить предел огнестойкости железобетонной колонны сечением 400×400 мм.

Дано (вариант 1).

Опирание 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. 5) из точки, соответствующей отношению N/φ = 3000 кН провести горизонталь до пересечения с кривой, соответствующей В и μ_a=3%. Точка пересечения этих линий даст значение предела огнестойкости колонны, равное 90 минутам.

*Ответ***.** 90 минут.

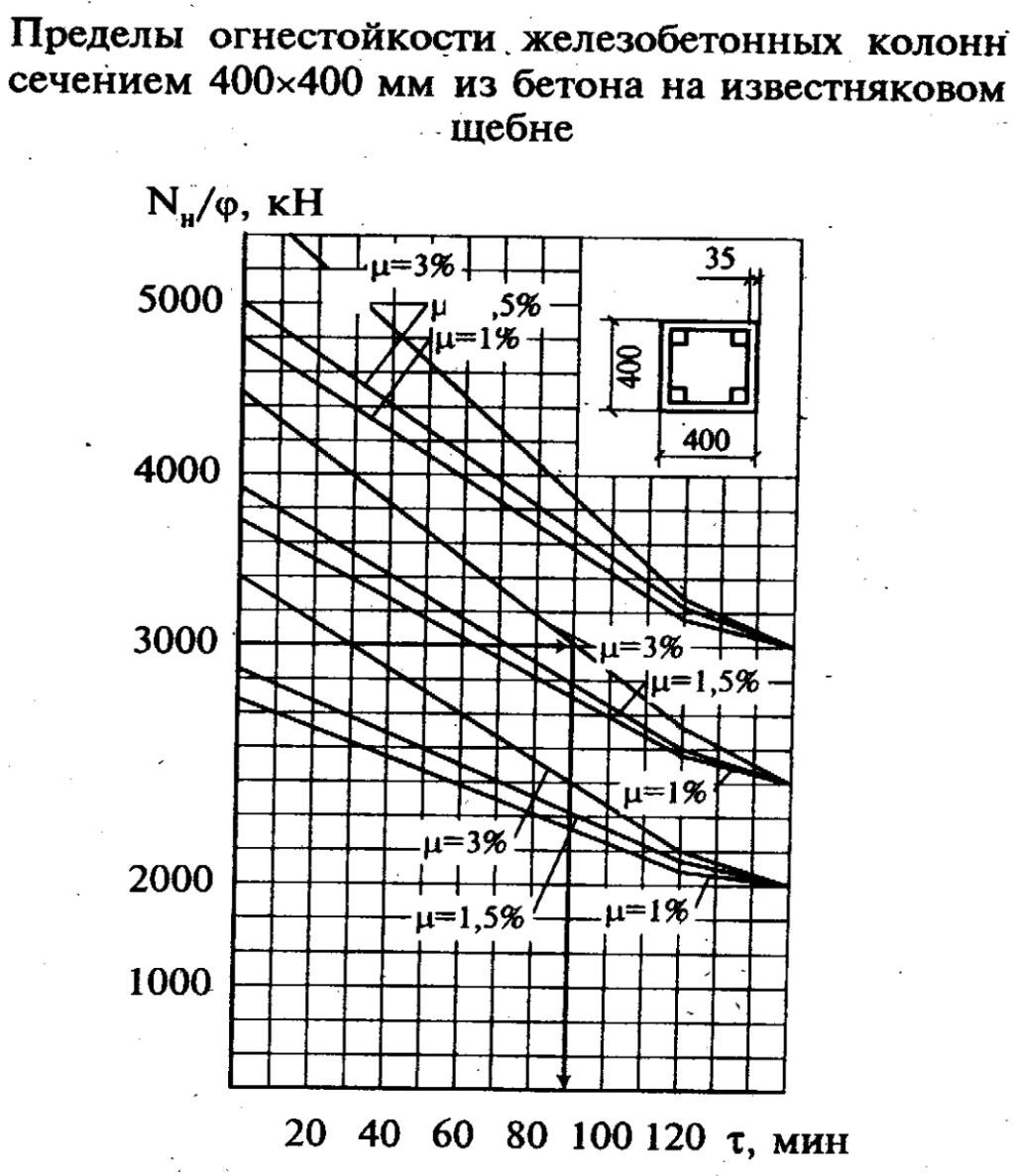


Рис. 2.2. Предел огнестойкости железобетонных колонн

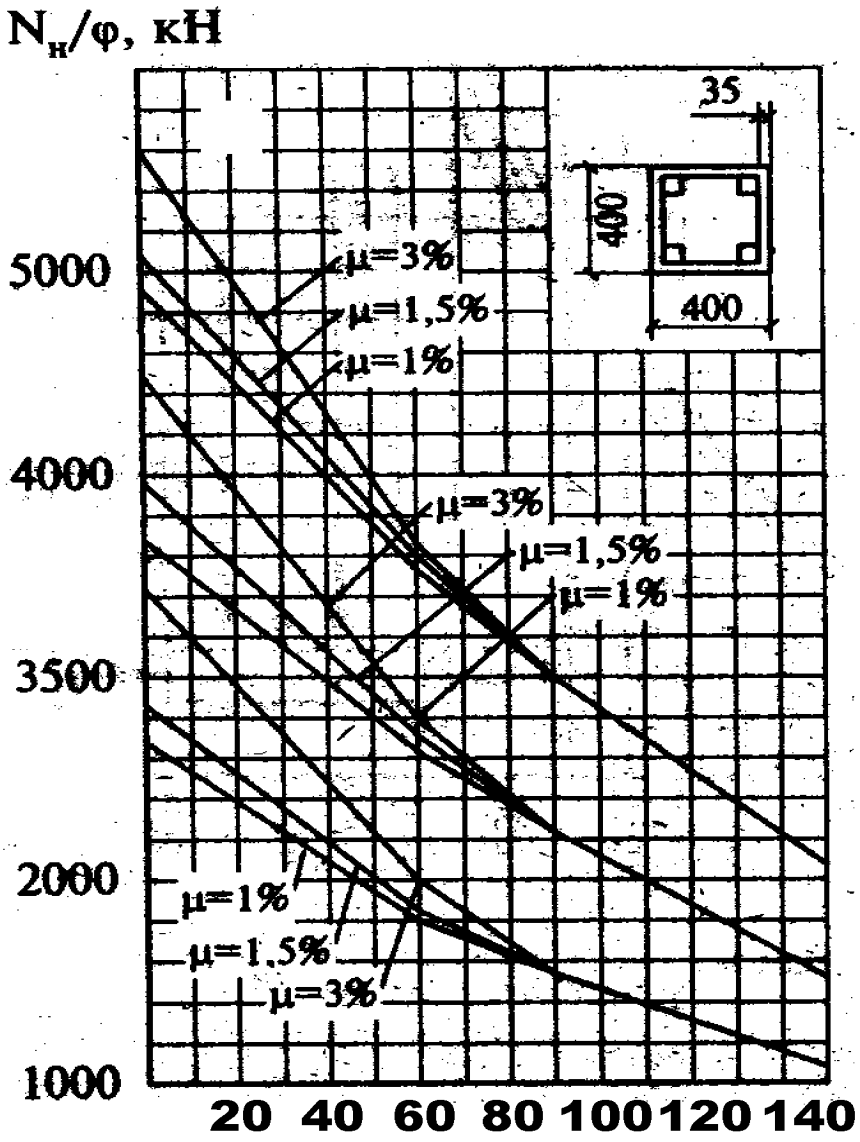


Рис. 2.3. Предел огнестойкости железобетонных колонн сечением 400×400 мм из бетона на гранитном щебне в зависимости от процента армирования μ_a, класс бетона В, нормативной нагрузки *N* и коэффициента продольного изгиба φ.

Таблица 2.8

Исходные данные

Вариант	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	
11		Бетон на известняковом щебне	2900	1,5	0,85	
12			2700	3	0,99	
13			3100	3	0,88	
14		Бетон на гранитном щебне	3200	1	0,96	
15			5000	1,5	1	
16			4100	1,5	0,97	
17			4000	1	0,94	
18		Бетон на известняковом щебне	3900	1,5	0,95	
19			3800	3	1	
20		Бетон на гранитном щебне	3000	1	0,95	
21		Бетон на известняковом щебне	2200	1,5	0,89	
22			2500	1,5	0,95	
23		Бетон на известняковом щебне	2200	1	1	
24			2000	1	0,8	
25		Бетон на известняковом щебне	1000	1,5	0,85	
26			1200	1	0,99	
27			900	1	0,88	
28			1300	1	0,96	
29		Бетон на известняковом щебне	2400	1,5	1	
30			2300	1	0,8	
31			1500	1	0,85	

2.8. Рассчитать систему молниезащиты

*Задание***.** Рассчитать систему молниезащиты.

Дано (вариант 1). Ширина A=12 м; длина L=24 м; высота здания H=10 м; среднегодовое число ударов молний в 1км^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).

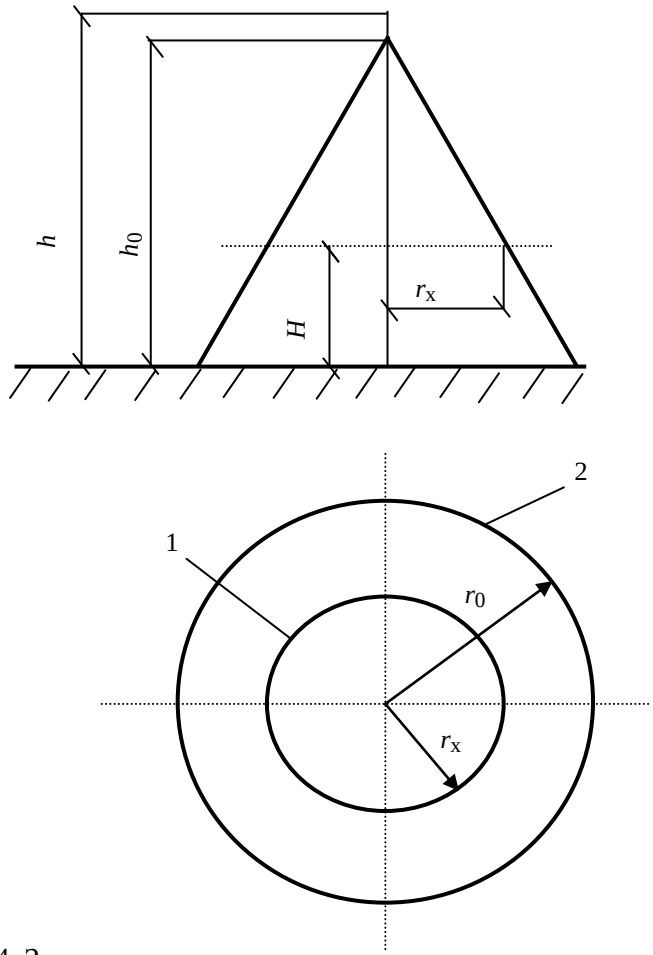


Рис. 2.4. Зона защиты одиночного стержневого молниеотвода

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) следующие (табл. 2.9).

Таблица 2.9

Параметры зоны защиты для молниеотвода

Параметр, м	Величина параметра для зон	
	А	Б
h_0	$0{,}85h$	$0{,}92h$
r_0	$0{,}7h$	$1{,}5h$
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

$$N = (A+6\cdot H)\cdot(L+6\cdot H)\cdot n\cdot 10^{-6} = (12+6\cdot 10)\cdot(24+6\cdot 10)\cdot 1\cdot 10^{-6} = 0{,}006. \quad (2.19)$$

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

$$h=(r_x+1{,}63H)/1{,}5 \quad (2.20)$$

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

$$h_0=0{,}92\ h=0{,}92\cdot 24{,}2=22{,}26 \text{ м} \quad (2.21)$$

$$r_0=1{,}15\ h=1{,}15\cdot 24{,}2=27{,}83 \text{ м} \quad (2.22)$$

*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 2.10

Исходные данные

№ п/п	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
11	36	300	15	1	23
12	24	108	50	3	70
13	12	324	45	6	65
14	48	204	30	9	60
15	60	120	18	12	30
16	24	348	30	1	40
17	12	132	40	3	45
18	48	240	60	6	50
19	60	288	50	9	55
20	36	144	45	12	60
21	24	336	18	1	20
22	60	216	13	3	25
23	12	156	10	6	20
24	36	360	20	9	30
25	48	276	50	12	70
26	60	168	16	1	28
27	24	312	15	3	23
28	48	228	30	6	60
29	36	180	18	9	30
30	12	264	45	12	65

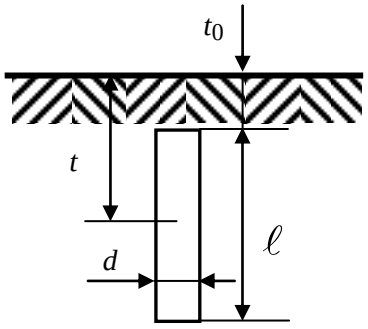
2.9. Рассчитать систему заземления

*Задание***.** Рассчитать систему заземления.

Дано (вариант 1). ℓ =0,5 м; t=1,5 м; d=0,1 м; ρ =20 Ом·м; $R_{доп}$=4,0 Ом; z=5,0 м; $K_с$=1,75.

*Решение***.**

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



1. Определяем сопротивление одиночного заземлителя.

$$R=0{,}366\frac{\rho}{\ell}\left(\lg\frac{2\ell}{d}+\frac{1}{2}\lg\frac{4t+\ell}{4t-\ell}\right)=0{,}366\frac{20}{0{,}5}\left(\lg\frac{2\cdot 0{,}5}{0{,}1}+\frac{1}{2}\lg\frac{4\cdot 1{,}5+0{,}5}{4\cdot 1{,}5-0{,}5}\right)=15{,}17\ \text{Ом} \qquad (2.23)$$

С учетом коэффициента сезонности определяется сопротивление заземлителя в наиболее тяжелых условиях

$$R^1=R\cdot K_с=15{,}17\cdot 1{,}75=26{,}55\ \text{Ом}. \qquad (2.24)$$

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

2. Определяем потребное количество заземлителей с учетом явления взаимного экранирования $R_{доп.}$=4 Ом.

$$n=\frac{R^1}{R_{доп}}=\frac{26{,}55}{4}=6{,}64\approx 7\ \text{шт}. \qquad (2.25)$$

3. Рассчитаем сопротивление соединительной полосы

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

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

4. Рассчитываем длину полосы в ряд $\ell_{пол.}$ =1,05z(n–1). $\ell_{пол.}$ =1,05·5·6=29,60 м.

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

$$R^1_п=R_п\cdot K_с=5{,}56\cdot 1{,}75=9{,}73\ \text{Ом}$$

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

$$R_З=\frac{R^1 R_n^1}{R^1\eta_п+n\eta_{ТР}R_n^1}=\frac{26{,}55\cdot 9{,}73}{26{,}55\cdot 0{,}55+7\cdot 0{,}76\cdot 9{,}73}\approx 3{,}27\ .$$

где $\eta_{ТР}$ – коэффициент использования труб (табл. 2.12);

$\eta_п$ – коэффициент использования соединительной полосы (табл. 2.13).

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

Таблица 2.11

Исходные данные

№ п/п	ℓ, м	t, м	d, м	ρ, Ом·м	$R_{доп}$, Ом	z, м	$K_с$
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
11	0,8	1,5	0,1	81	4,0	5,0	1,75
12	0,8	1,5	0,1	87	4,0	5,0	1,75
13	1,0	1,5	0,1	94	4,0	5,0	1,75
14	1,0	1,5	0,1	100	4,0	5,0	1,75
15	1,5	1,5	0,1	106	4,0	5,0	1,75
16	1,5	1,5	0,1	112	4,0	5,0	1,75
17	2,0	1,5	0,1	118	4,0	5,0	1,75
18	2,0	1,5	0,1	124	4,0	5,0	1,75
19	2,5	1,5	0,1	130	4,0	5,0	1,75
20	2,5	1,5	0,1	137	4,0	5,0	1,75
21	3,0	1,5	0,1	143	4,0	5,0	1,75
22	3,0	1,5	0,1	149	4,0	5,0	1,75
23	3,0	1,5	0,1	155	4,0	5,0	1,75
24	3,5	1,5	0,1	161	4,0	5,0	1,75
25	3,5	1,5	0,1	167	4,0	5,0	1,75
26	3,5	1,5	0,1	173	4,0	5,0	1,75
27	4,0	1,5	0,1	180	4,0	5,0	1,75
28	4,0	1,5	0,1	186	4,0	5,0	1,75
29	4,0	1,5	0,1	192	4,0	5,0	1,75
30	4,0	1,5	0,1	200	4,0	5,0	1,75

Таблица 2.12

Коэффициент использования труб

Заземлители в ряд		
Отношение расстояния между электродами и их длине $\left(\frac{z}{\ell}\right)$	Число труб, n	Коэффициент использования, $\eta_{тр}$
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 2.13

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	–	–	–

2.10. Рассчитать систему зануления

*Задание***.** Рассчитать систему зануления.

Дано (вариант 1). *k*, коэффициент надежности=3; $P_э$, мощность электродвигателя=$15\cdot10^3$ Вт; ℓ ,длина провода в пределах участка=50 м; $U_ф$, фазное напряжение=220 В; *D*, диаметр провода в подводящем кабеле=$6\cdot10^{-3}$ м; $\rho_{пров}$, удельное сопротивление алюминиевого проводника= $2{,}53\cdot10^{-8}$ Ом·м; $\rho_{ст.}$ – удельное сопротивление стали=$1\cdot10^{-7}$ Ом·м; нулевой проводник – труба.

Решение.

1. Определяем номинальный ток электродвигателя

$$I_н = \frac{P_Э}{3U_Ф} = \frac{15\cdot10^3}{3\cdot220} \approx 22{,}7 \text{ А}, \tag{2.26}$$

$$I_{пуск.}=3I_н=3\cdot22{,}7=68{,}1 \text{ А}, \tag{2.27}$$

$$I_{к.з.}=1{,}5I_{пуск.}= 1{,}5\cdot68{,}1=102{,}15 \text{ А}. \tag{2.28}$$

2. Рассчитываем активное сопротивление алюминиевых проводов

$$R_ф=\rho_{пров.}\,\ell/S_= \frac{2{,}53\cdot10^{-8}\cdot50}{2{,}8\cdot10^{-5}} = 0{,}045 \text{ Ом}. \tag{2.29}$$

где $S=\pi D^2/4 = (3{,}14\cdot36\cdot10^{-6})/4\approx2{,}8\cdot10^{-5}$ м^2 — площадь сечения кабеля, м^2.

3. Вычисляем активное сопротивление нулевого проводника

$$R_н = \frac{\rho_{СТ}\cdot\ell}{S_{тр}} = \frac{1\cdot10^{-7}\cdot50}{3{,}73\cdot10^{-6}} = 13{,}4\cdot10^{-2} = 1{,}34 \text{ Ом} \tag{2.30}$$

4. Рассчитываем площадь поперечного сечения трубы

$$S_{тр.} = \frac{\pi}{4}\left(D^2{}_{ТР.} - d^2{}_{ТР.}\right) = \frac{3{,}14}{4}\left(\left(5\cdot10^{-3}\right)^2 - \left(4{,}5\cdot10^{-3}\right)^2\right) = 3{,}73\cdot10^{-6} \text{ м}^2 \tag{2.31}$$

5. Определяем сопротивление взаимоиндукции между проводами

$$X_п = \omega\mu_0\ell/\pi \ln(2\delta/D) = \frac{314\cdot4\pi\cdot10^{-7}\cdot50}{\pi}\cdot\ln\left(\frac{2\cdot5\cdot10^{-3}}{6\cdot10^{-3}}\right) = 3{,}2\cdot10^{-3} \text{ Ом}, \tag{2.32}$$

где $\mu_0=4\pi10^{-7}$ — абсолютная магнитная проницаемость вакуума, Гн/м;

δ — расстояние между проводами (≈5 мм), м;

$\omega=2\pi f=2\cdot3{,}14\cdot50=314$ рад/с — циклическая частота..

6. Вычисляем полное сопротивление петли «фаза-нуль»

$$Z_{\text{П}}=\sqrt{(R_{\text{ф}}+R_{\text{н}})^2+X_{\text{П}}{}^2}=\sqrt{(0{,}045+1{,}34)^2+\left(3{,}2\cdot10^{-3}\right)^2}=1{,}39\ \text{Ом}. \qquad (2.33)$$

7. Определяем ток короткого замыкания

$$I_{\text{к.з}}=\frac{U_{\text{ф}}}{Z_{\text{Т}}/3+Z_{\text{П}}}=\frac{220}{1{,}037+1{,}39}=90{,}65\ \text{А}. \qquad (2.34)$$

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

*Ответ***.** Принимаемая система зануления удовлетворяет условию 90,65≥3·22,7.

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

Таблица 2.14

Исходные данные

Вариант	k, коэффициент надежности	Мощность трансформатора, для определения $Z_т/3$, кВ А	$P_э$, мощность электродвигателя Вт	ℓ, длина провода в пределах участка м	$U_ф$, фазное напряжение,В	D, диаметр провода в подводящем кабеле, м	$\rho_{пров}$, удельное сопротивление алюминиевого проводника, Ом·м	$\rho_{ст.}$, удельное сопротивление стали, Ом·м	Нулевой проводник	Примечание, м
1	3	25	$15\cdot10^3$	50	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{тр.}=\frac{\pi}{4}\left(D^2_{ТР.}-d^2_{ТР.}\right)$	$D=5\cdot10^{-3}$ $d=4{,}5\cdot10^{-3}$
2	3	30	$25\cdot10^3$	45	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_п=a\cdot b$	$a=5\cdot10^{-3}$ $b=12\cdot10^{-3}$
3	3	40	$10\cdot10^3$	20	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{пр.}=c^2$	$c=6\cdot10^{-3}$
4	3	50	$5\cdot10^3$	15	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{тр.}=\frac{\pi}{4}\left(D^2_{ТР.}-d^2_{ТР.}\right)$	$D=6\cdot10^{-3}$ $d=5\cdot10^{-3}$
5	3	63	$20\cdot10^3$	25	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_п=a\cdot b$	$a=6\cdot10^{-3}$ $b=14\cdot10^{-3}$
6	3	100	$35\cdot10^3$	10	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{пр.}=c^2$	$c=7\cdot10^{-3}$
7	3	160	$15\cdot10^3$	30	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{тр.}=\frac{\pi}{4}\left(D^2_{ТР.}-d^2_{ТР.}\right)$	$D=8\cdot10^{-3}$ $d=6{,}7\cdot10^{-3}$
8	3	250	$30\cdot10^3$	40	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_п=a\cdot b$	$a=8\cdot10^{-3}$ $b=16\cdot10^{-3}$
9	3	320	$25\cdot10^3$	35	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{пр.}=c^2$	$c=8\cdot10^{-3}$
10	3	400	$10\cdot10^3$	65	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{тр.}=\frac{\pi}{4}\left(D^2_{ТР.}-d^2_{ТР.}\right)$	$D=10\cdot10^{-3}$ $d=8{,}2\cdot10^{-3}$
11	3	560	$5\cdot10^3$	12	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_п=a\cdot b$	$a=9\cdot10^{-3}$ $b=18\cdot10^{-3}$

12	3	630	$20\cdot10^{3}$	31	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}}=c^{2}$	$c=9\cdot10^{-3}$
13	3	750	$35\cdot10^{3}$	60	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}}=\frac{\pi}{4}\left(D^{2}_{\text{ТР.}}-d^{2}_{\text{ТР.}}\right)$	$D=12\cdot10^{-3}$ $d=9{,}9\cdot10^{-3}$
14	3	1000	$30\cdot10^{3}$	42	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_{\text{п}}=a\cdot b$	$a=10\cdot10^{-3}$ $b=20\cdot10^{-3}$
15	3	25	$15\cdot10^{3}$	17	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}}=c^{2}$	$c=10\cdot10^{-3}$
16	3	30	$25\cdot10^{3}$	24	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}}=\frac{\pi}{4}\left(D^{2}_{\text{ТР.}}-d^{2}_{\text{ТР.}}\right)$	$D=14\cdot10^{-3}$ $d=11{,}5\cdot10^{-3}$
17	3	40	$10\cdot10^{3}$	39	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_{\text{п}}=a\cdot b$	$a=11\cdot10^{-3}$ $b=22\cdot10^{-3}$
18	3	50	$5\cdot10^{3}$	48	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}}=c^{2}$	$c=11\cdot10^{-3}$
19	3	63	$20\cdot10^{3}$	11	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}}=\frac{\pi}{4}\left(D^{2}_{\text{ТР.}}-d^{2}_{\text{ТР.}}\right)$	$D=16\cdot10^{-3}$ $d=13{,}2\cdot10^{-3}$
20	3	100	$35\cdot10^{3}$	62	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_{\text{п}}=a\cdot b$	$a=12\cdot10^{-3}$ $b=25\cdot10^{-3}$
21	3	160	$15\cdot10^{3}$	23	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}}=c^{2}$	$c=12\cdot10^{-3}$
22	3	250	$25\cdot10^{3}$	51	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}}=\frac{\pi}{4}\left(D^{2}_{\text{ТР.}}-d^{2}_{\text{ТР.}}\right)$	$D=18\cdot10^{-3}$ $d=15\cdot10^{-3}$
23	3	320	$10\cdot10^{3}$	5	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_{\text{п}}=a\cdot b$	$a=13\cdot10^{-3}$ $b=30\cdot10^{-3}$
24	3	400	$5\cdot10^{3}$	13	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}}=c^{2}$	$c=14\cdot10^{-3}$
25	3	560	$20\cdot10^{3}$	56	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}}=\frac{\pi}{4}\left(D^{2}_{\text{ТР.}}-d^{2}_{\text{ТР.}}\right)$	$D=20\cdot10^{-3}$ $d=17\cdot10^{-3}$
26	3	630	$35\cdot10^{3}$	9	220	$6\cdot10^{-3}$	$2{,}53\cdot10^{-8}$	$1\cdot10^{-7}$	Полоса $S_{\text{п}}=a\cdot b$	$a=18\cdot10^{-3}$ $b=35\cdot10^{-3}$

27	3	750	$30 \cdot 10^3$	21	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2{,}53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}} = c^2$	$c = 15 \cdot 10^{-3}$
28	3	1000	$15 \cdot 10^3$	34	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2{,}53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Труба $S_{\text{тр.}} = \frac{\pi}{4}\left(D^2_{\text{ТР.}} - d^2_{\text{ТР.}}\right)$	$D = 22 \cdot 10^{-3}$ $d = 18{,}8 \cdot 10^{-3}$
29	3	63	$10 \cdot 10^3$	46	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2{,}53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Полоса $S_{\text{п}} = a \cdot b$	$a = 20 \cdot 10^{-3}$ $b = 40 \cdot 10^{-3}$
30	3	400	$5 \cdot 10^3$	8	220	$6 \cdot 10^{-3}$	$2{,}53 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	Пруток $S_{\text{пр.}} = c^2$	$c = 16 \cdot 10^{-3}$

Таблица 2.15

Сопротивление одной обмотки трансформатора

Мощность трансформатора, кВ А	$Z_T/3$, Ом	Мощность трансформатора, кВ А	$Z_T/3$, Ом
25	1,037	250	0,104
30	1,11	320	0,0847
40	0,649	400	0,060
50	0,722	560	0,071
63	0,412	630	0,040
100	0,266	750	0,0364
160	0,162	1000	0,042

2.11. Определение возможности применения (по условию безопасности) зануленных и заземленных электропотребителей, подключенных к трехфазной четырехпроходной сети с заземленной нейтралью

На рис. 2.5 изображена электрическая сеть с заземленной нейтралью (~ 380/220 В), от которой получают питание 100 электродвигателей цеха промышленного предприятия, имеющие нормально выполненное зануление корпусов. От этой же сети получает питание удаленный на значительное расстояние от цеха одиночный электродвигатель № 101, установленный на отдельном станке, например, на пилораме. Было решено не тянуть нулевой провод до удаленного электродвигателя № 101, а применить защитное заземление его корпуса.

Согласно ПУЭ рабочее заземление нейтрали трансформатора имеет сопротивление $r_н$=4 Ом. Заземление электродвигателя № 101 $r_з$= 0,4 Ом. При случайном замыкании (пробое изоляции) одной из фаз в электродвигателе № 101 аварийный ток будет возвращаться в трансформатор через землю и рабочее заземление нейтрали $r_н$ (см. рис. 2.5). При этом отключение электродвигателей № 1–100 не произойдет, поскольку металлическая связь корпуса электродвигателя № 101 с нейтралью трансформатора отсутствует.

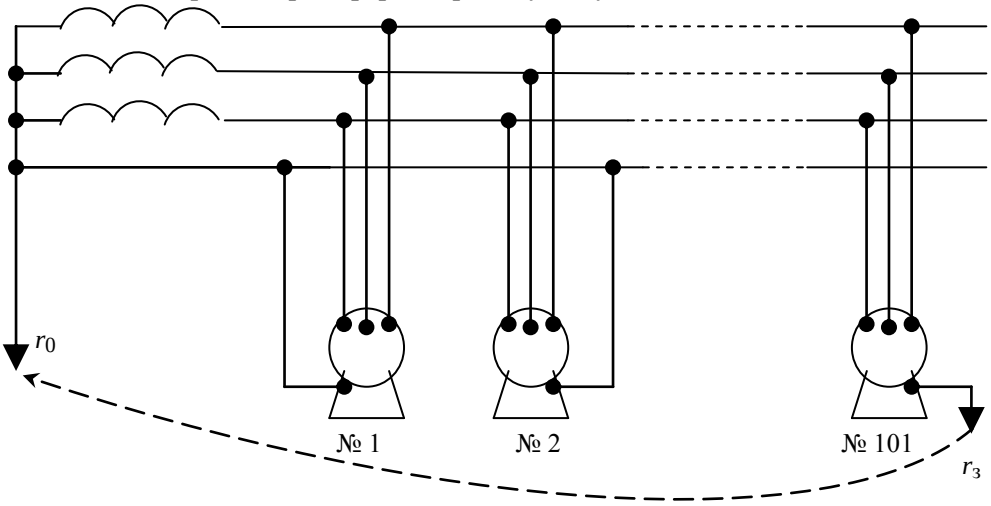


Рис. 2.5. Электрическая сеть с заземленной нейтралью

Задание. Определить возможности применения (по условию безопасности) зануленных и заземленных электропотребителей, подключенных к трехфазной четырехпроходной сети с заземленной нейтралью.

Дано (вариант 1). Напряжение фазы, $U_ф$ = 220 В; $r_н$ = 4 Ом; $r_з$ = 0,4 Ом; сопротивление человека, $R_ч$= 1000 Ом; сопротивление пола, $r_п$ = 500 Ом; сопротивление обуви, $r_{об}$ = 2500 Ом.

Решение.

1. Определим суммарное сопротивление пути прохождения тока к нейтрали вторичной обмотки трансформатора при пробое изоляции одной из фаз на электродвигателе № 101.

$$r_\Sigma = r_н + r_з = 4 + 0{,}4 = 4{,}4 \ \text{Ом} \qquad (2.35)$$

2. Определим величину аварийного тока.

$$I_{ав} = \frac{U_ф}{r_\Sigma} = \frac{220}{4{,}4} = 50 \ \text{А} \qquad (2.36)$$

3. Определим величину напряжения на корпусе электродвигателя № 101.

$$U_{кор\ 101} = I_{ав} \cdot r_з = 50 \cdot 0{,}4 = 20 \ \text{В} \qquad (2.37)$$

4. Определим величину напряжения на корпусах электродвигателей № 1–100.

$$U_{кор\ 1-100} = I_{ав} \cdot r_н = 50 \cdot 4 = 200 \ \text{В} \qquad (2.38)$$

5. Определим величину тока, проходящего через человека, прикоснувшегося к отдельному аварийному двигателю №101.

$$I_{ч101} = U_{кор101} /(R_ч + r_П + r_{об} + r_н) = \\ = 20/(1000 + 500 + 2500 + 4) = 0{,}004995 \text{ А} = 4{,}995 \text{ мА} \approx 5 \text{ мА} \quad (2.39)$$

Опасным для человека считается ток, равный 5 мА.

6. Определим величину тока, проходящего через человека, прикоснувшегося к любому зануленному двигателю № 1–100.

$$I_{ч1\text{-}100} = U_{кор1–100} /(R_ч + r_П + r_{об} + r_н) = \\ = 200/(1000 + 500 + 2500 + 4) = 0{,}04995 \text{ А} = 49{,}95 \text{ мА} \approx 50 \text{ А} \quad (2.40)$$

При длительном прохождении тока через человека величиной 25–50 мА возможен смертельный исход.

Ответ. Применение заземленных и зануленных электродвигателей в такой сети не допустимо, т. к. $I_{ч101} \approx 5$ мА; $I_{ч1\text{-}100} \approx 50$ мА.

При расчетах по вариантам используются постоянные значения: $U_ф$=220 В; $r_н$=4 Ом; $R_ч$=1000 Ом и переменные, приведенные в табл. 2.16.

Таблица 2.16

Исходные данные

№ вар-та	$r_з$	$r_П$	$r_{об}$
1	0,4	500	2500
2	2,4	500	2500
3	3,6	500	2500
4	1,6	500	2500
5	1,2	500	2500
6	3,2	500	2500
7	2,8	500	2500
8	0,8	500	2500
9	2,4	0	2500
10	3,6	0	0
11	1,6	0	0
12	1,2	0	0
13	0,8	0	0
14	2,8	0	0
15	3,2	0	0
16	1,2	50000	25000
17	1,6	50000	25000
18	3,6	50000	25000
19	2,4	50000	25000
20	0,4	50000	25000
21	2,8	50000	25000
22	3,2	50000	25000
23	1,2	25000	5000
24	1,6	25000	5000
25	1,2	25000	5000
26	3,2	25000	5000
27	2,8	25000	5000
28	0,8	25000	5000
29	2,0	100000	45000
30	4,0	100000	45000

31	2,0	100000	45000
32	1,2	100000	45000
33	3,2	100000	45000
34	2,8	100000	45000
35	0,8	100000	45000

2.12. 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)**.** По первому году реализации проекта получен экономический результат ($Э_{р1}$) в размере 300000 руб., при текущих затратах ($З_{т1}$) в размере – 230000 руб.

По второму году реализации проекта получен экономический результат ($Э_{р2}$) в размере 350000 руб., при текущих затратах ($З_{т2}$) – 280000 руб.

Для реализации охранных мероприятий потребовались первоначальные капитальные вложения ($К_{п}$) в размере – 110000 руб. В расчете примите коэффициент дисконтирования (Е) – 0,08.

*Решение***.** Чистый дисконтированный доход определяется

$$ЧДД = (Э_{Р1} - З_{Т1}) \cdot \frac{1}{(1+Е)^0} + (Э_{Р2} - З_{Т2}) \cdot \frac{1}{(1+Е)^1} - К_{П}, \quad (2.41)$$

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

Индекс доходности определяется

$$ИД = \frac{(Э_{Р1} - З_{Т1}) \cdot \frac{1}{(1+Е)^0} + (Э_{Р2} - З_{Т2}) \cdot \frac{1}{(1+Е)^1}}{К_{П}}, \quad (2.42)$$

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

*Ответ***.** ЧДД = 24815 рублей, ИД = 1,23.

Таблица 2.17

Исходные данные

Вариант	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
11	320300	250000	350000	285000

12	320400	250000	360000	280000
13	320500	250000	360000	275000
14	320600	250000	360000	270000
15	330000	250000	360000	265000
16	340000	250000	360000	260000
17	340200	250000	360000	255000
18	340300	250000	370000	250000
19	340400	250000	370000	245000
20	340500	250000	370000	240000
21	340600	250000	370000	235000
22	340700	320000	370000	230000
23	340800	330000	370000	225000
24	420000	410000	370000	220000
25	421000	400000	370000	215000
26	421500	390000	380000	210000
27	467890	450000	380000	205600
28	430700	400000	380000	200000
29	320450	250000	380000	250000
30	470800	400000	380000	320000

2.13. 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)**.** Реализация мероприятий по улучшению условий труда основных производственных рабочих позволила увеличить производительность труда и снизить удельную себестоимость продукции с 150 руб. ($С_1$) до 140 руб. ($С_2$), при годовом объеме производства (после реализации мероприятий), N – 100000 шт., размер дополнительных капитальных вложений (К) составил – 300000 руб.

*Решение***.** Годовой экономический эффект от снижения себестоимости годового выпуска продукции

$$Э_Г = (С_1 - С_2) \cdot N = (150\text{-}140) \cdot 100000 = 1000000 \text{ руб.} \quad (2.43)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений

$$Т_{ОК} = \frac{K}{Э_Г} = \frac{300000}{1000000} = 0{,}3 \text{ г.} \quad (2.44)$$

*Ответ***.** $Э_Г$ = 1000000 рублей, $Т_{ОК}$ = 0,3 года.

Таблица 2.18

Исходные данные

Вариант	Исходные данные		
	C_1	C_2	K
1	150	140	300000
2	149	120	310000
3	148	130	400000
4	145	140	320000
5	144	130	330000
6	139	134	350000
7	120	110	1200000
8	111	105	3000000
9	110	105	2500000
10	90	85	1400000
11	80	75	1300000
12	75	70	1700000
13	70	65	900000
14	65	63	800000
15	60	56	600000
16	55	42	550000
17	50	44	700000
18	45	40	800000
19	40	34	900000
20	35	33	1000000
21	34	32	800000
22	33	29	700000
23	32	29	600000
24	31	28	550000
24	30	28	500000
26	121	110	400000
27	122	110	700000
28	123	110	800000
29	124	110	1600000
30	125	110	2200000

2.14. Определение времени начала радиоактивного заражения территории промышленного объекта от наземного ядерного взрыва

Задание. Определить время начала радиоактивного заражения территории промышленного объекта от наземного ядерного взрыва, находящегося на оси распространения радиоактивного облака.

Дано (вариант 1). Удаление промышленного объекта от Я.В. — L = 20 км. Скорость среднего ветра в слое V = 25 км/ч.

Решение.

$$t = \frac{L}{V} = \frac{20 \text{ км}}{25 \text{ км/ч}} = 0{,}8 \text{ ч или } 48 \text{ мин.} \qquad (2.45)$$

Ответ. Время начала радиоактивного заражения 48 минут от времени ядерного взрыва.

Таблица 2.19

Исходные данные

Вариант	Расстояние, км	Скорость ветра, км/ч	Вариант	Расстояние, км	Скорость ветра, км/ч
1	20	25	16	75	100
2	30	50	17	85	25
3	40	75	18	95	50
4	50	100	19	105	75
5	60	25	20	115	100

6	70	50	21	125	25
7	80	75	22	130	50
8	90	100	23	135	75
9	100	25	24	140	100
10	120	50	25	145	25
11	25	75	26	150	50
12	35	100	27	155	75
13	45	25	28	160	100
14	55	50	29	165	25
15	65	75	30	170	50

2.15. Определение дозы облучения персонала, продолжающего работать на промышленном объекте после радиоактивного загрязнения территории

Задание. Определить дозу облучения персонала, продолжающего работать на промышленном объекте после радиоактивного загрязнения территории.

Дано (вариант 1). Средняя мощность дозы ионизирующего излучения на территории промышленного объекта — $P_{ср}$=1 р/ч. Продолжительность производственной деятельности T=8 ч. Условия производственной деятельности — промышленные здания $K_{осл}$ = 7.

Решение.

$$Д = \frac{P_{ср} \cdot T}{K_{осл}} = \frac{1 \cdot 8}{7} = 1{,}14 \text{ р.} \quad (2.46)$$

Ответ. Персонал получит дозу облучения $Д$ = 1,14 рентгена или 0,014 Зивета.

Таблица 2.20

Исходные данные

Вариант	$P_{ср}$, р/ч	T, ч	$K_{осл}$	Вариант	$P_{ср}$, р/ч	T, ч	$K_{осл}$
1	1	8	7	16	0,1	6	7
2	5	4	2	17	0,15	4	2
3	10	6	1,5	18	0,2	8	1,5
4	15	8	7	19	0,25	6	7
5	20	6	7	20	0,3	4	2
6	2	12	7	21	0,35	8	1,5
7	3	8	2	22	0,4	4	7
8	4	6	1,5	23	0,45	6	2
9	5,5	5	7	24	17	8	1,5
10	0,5	4	2	25	18	5	7
11	0,7	7	1,5	26	19	7	2
12	1,5	8	7	27	22	6	1,5
13	12	6	2	28	3,5	4	7
14	13	4	1,5	29	4,7	8	2
15	16	8	7	30	3,7	5	1,5

2.16. Определение дозы облучения при эвакуации с зараженной территории

Задание. Определить дозу облучения, персонала промышленного объекта при эвакуации с зараженной территории (эвакуация на транспорте в один рейс).

Дано (вариант 1). Длина маршрута эвакуации — L = 10 км. Средняя скорость движения транспорта при эвакуации — V = 50 км/ч. Средняя мощность дозы ионизирующего излучения на маршруте — $P_{ср}$ = 0,5 р/ч. Коэффициент ослабления транспорта $K_{осл}$ = 2.

Решение.

$$Д = \frac{P_{ср} \cdot T}{K_{осл}} = \frac{P_{ср} \cdot L}{V \cdot K_{осл}} = \frac{0{,}5 \cdot 10}{50 \cdot 2} = 0{,}05 \text{ р.} \quad (2.47)$$

Ответ. Персонал получит дозу облучения $Д$ = 0,05 рентгена или 0,5 мили Зивета.

Таблица 2.21

Исходные данные

Вариант	$P_{ср}$, р/ч	L, км	V, км/ч	$K_{осл}$	Вариант	$P_{ср}$, р/ч	L, км	V, км/ч	$K_{осл}$
1	0,5	10	50	2	16	0,27	13	30	1,5
2	1	15	50	1,5	17	0,35	14	35	2
3	1,5	20	50	2	18	0,45	18	50	1,5
4	0,1	25	30	2	19	0,55	22	45	2
5	0,2	30	30	1,5	20	5	24	30	1
6	0,3	35	40	2	21	3,5	30	45	1
7	0,4	40	40	1,5	22	3,8	35	30	1,2
8	0,6	50	50	2	23	4	20	50	2
9	0,7	40	30	1,5	24	4,5	25	50	2
10	0,8	25	45	2	25	4,6	40	50	2
11	1,9	30	35	2	26	2,8	45	40	1,5
12	0,9	15	45	1,5	27	8	48	50	2
13	2,1	20	35	2	28	8,5	50	50	1,5
14	2,3	14	40	2	29	7,5	60	50	2
15	2,5	10	45	1,5	30	7,3	50	40	2

2.17. Определение мощности дозы излучения на территории промышленного объекта

Задание. Определить мощность дозы излучения на территории промышленного объекта, если известна мощность дозы, измеренная в ПРУ на этой территории.

Дано (вариант 1). Мощность дозы излучения в ПРУ — $P_{тер}$ = 5мр/ч. Коэффициент ослабления ПРУ — $K_{осл}$ = 20.

Решение.

$$P_{тер} = P_{ПРУ} \cdot K_{осл} = 5 \cdot 20 = 100 \text{ мр/ч}. \quad (2.48)$$

Ответ. Мощность дозы излучения на территории $P_{тер}$ = 100 мр/ч или 0,1 мЗиверт/час.

Таблица 2.22

Исходные данные

Вариант	$P_{тер}$, мр/ч	$K_{осл}$	Вариант	$P_{тер}$, мр/ч	$K_{осл}$
1	50	20	16	165	100
2	60	50	17	170	25
3	70	75	18	200	50
4	80	100	19	250	75
5	85	25	20	300	100
6	90	50	21	350	25
7	100	75	22	400	50
8	110	100	23	450	75
9	125	25	24	490	100
10	130	50	25	520	25
11	135	75	26	560	50
12	140	100	27	600	75
13	150	25	28	635	100
14	155	50	29	700	25
15	160	75	30	745	50

2.18. Расчет приземной концентрации пыли

Задание. Рассчитать приземную концентрацию пыли C_1 в точке, расположенной на расстоянии X_1 от источника загрязнения и находящийся на ветровой оси. Дать санитарно-гигиеническую оценку качества воздушной среды на указанном расстоянии с учетом ПДК пыли в атмосферном воздухе, равной 0,5 мг/м^3.

Дано (вариант 1). X_1 =600 м; параметры источника: H=20 м; D=0,5; $T_г$ =30 ^{0}С; ω_0 =13 м/с; M = 24 г/с; параметры района расположения источника: A = 200; температура наружного воздуха T = 20 ^{0}С. Принять F = 2, произведение $m \cdot n$ = 1,2.

Решение. Определим максимальную концентрацию $C_м$ загрязняющих веществ

$$C_м = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}. \qquad (2.49)$$

$$C_м = \frac{200 \cdot 24 \cdot 2 \cdot 1{,}2}{20^2 \cdot \sqrt[3]{2{,}55 \cdot 10}} = 9{,}785 \text{ мг/м}^3.$$

Для этого рассчитаем объем выбрасываемой газовоздушной смеси

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot \omega_0}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}5^2 \cdot 13}{4} = 2{,}55 \text{ м}^3/\text{с}. \qquad (2.50)$$

2. Найдем расстояние $X_м$ до места, где ожидается максимальная приземная концентрация $C_м$

$$X_м = d \cdot H, \qquad (2.51)$$

Предварительно определим значение коэффициента $V_м$, от которого зависит выбор формулы d

$$V_м = 0{,}65 \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0{,}65 \sqrt[3]{\frac{2{,}55 \cdot 10}{20}} = 0{,}70. \qquad (2.52)$$

При $V_м \le 2$ $\quad d = 4{,}95\, V_м\, (1 + 0{,}28 \sqrt[3]{f}) = 4{,}95 \cdot 0{,}70 \cdot (1 + 0{,}28 \sqrt[3]{21{,}13}) = 6{,}19.$

$$f = \frac{1000 \cdot \omega^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = \frac{1000 \cdot 13^2 \cdot 0{,}5}{20^2 \cdot 10} = 21{,}13. \qquad (2.53)$$

$$X_м = 6{,}19 \cdot 20 \approx 124 \text{ м}.$$

3. Концентрацию загрязнителя в приземном слое атмосферы на расстоянии 600 м от источника выброса, определим по формуле: $C_1 = C_м \cdot S_1$.

Так как отношение $X_1/X_м$ = 600/124 = 4,85, то значение S_1

$$S_1 = \frac{1{,}13}{0{,}13 \cdot \left(\frac{X_1}{X_м}\right)^2 + 1} = \frac{1{,}13}{0{,}13 \cdot 4{,}85^2 + 1} = 0{,}28. \qquad (2.54)$$

Тогда значение C_1 будет равно: $C_1 = 0{,}28 \cdot 9{,}785 = 2{,}739$ мг/м^3.

4. Делаем вывод, что приземная концентрация пыли на расстоянии 600 м от источника с заданными параметрами будет в 2,739/0,5 ≈ 5,5 раз выше $ПДК_{м.р.}$.

Ответ: Приземная концентрация C_1 равна 2,739 мг/м^3 и в 5,5 раз превышает санитарную норму.

Таблица 2.23

Исходные данные

Вариант	H, м	D, м	$T_г$, ^{0}C	ω_0, м/с	M, г/с	X_1, м
1	20	0,5	30	13	24	600
2	20	0,6	60	13	30	1200
3	20	0,7	80	13	36	1500
4	50	0,8	25	15	45	1600
5	50	0,9	80	15	68	1700
6	50	1,0	120	15	40	1800
7	50	1,2	30	15	60	1900
8	50	1,4	40	15	35	800
9	100	1,6	150	20	180	900
10	100	1,8	180	20	130	2000
11	100	2,0	250	20	260	2400
12	100	2,5	320	20	320	2300
13	150	3,0	75	20	510	2500
14	150	3,5	23	20	370	2000
15	150	4,0	27	20	280	3000
16	20	0,5	120	8,5	15	1000
17	20	0,6	24	9,5	7	700
18	20	0,7	40	10,5	13	800
19	50	0,8	150	12	60	900
20	50	0,9	180	12	35	1100
21	50	1	250	12	180	1300
22	50	1,2	320	12	130	1400
23	50	1,4	75	16	40	1500
24	100	1,6	23	16	60	1600
25	100	1,8	30	16	35	1700
26	100	2	60	16	180	1800
27	100	2,5	80	17	130	1900
28	100	3	25	17	260	2000
29	150	3,5	80	17	320	2500
30	150	4	120	17	510	3000
31	150	2	30	7	370	2000
32	150	2,5	60	8	280	2700
33	200	3	80	8	140	2800
34	200	3,5	25	8	150	2900
35	200	4	80	14	420	3000

2.19. Определение ПДС загрязняющих веществ в водоеме, которым используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения

*Задание***.** Определите ПДС загрязняющих веществ в водоем, который используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Дано (вариант 1). объем сточных вод q = 200 м^3/ч; показатели состава сточных вод: содержание взвешенных веществ – 30 мг/л (в водоеме содержание взвешенных веществ $C_в$ = 25 мг/л); биохимическое потребление кислорода ($БПК_п$) – 20 мг/л; содержание цинка – 0,4 мг/л; содержание хрома – 1,4 мг/л; содержание ионов железа – 1 мг/л, $ПДК_{БПК}$ = 3 мг/л, $ПДК_{Zn}$ = 3 мг/л, $ПДК_{Cr}$ = 1б0 мг/л, $ПДК_{Fe}$ = 0,5 мг/л.

Общие требования к составу сточной воды должны удовлетворяться по первым двум показателям, а по ПДК – по остальным трем.

Решение.

1) Определим ПДС для взвешенных веществ.

В соответствии с санитарными нормами в сточной воде концентрация взвешенных веществ не должна превышать

$$C_{ст} = C_{в} + 0{,}25 = 30{,}25 \text{ мг/л}. \quad (2.55)$$

Сравнение полученной концентрации взвешенных веществ (30,25 мг/л) с концентрацией в сточных водах предприятия (25,25 мг/л) свидетельствует о необходимости улучшения очистки. Поэтому ПДС для взвешенных веществ

$$\text{ПДС} = q \cdot C_{ст} = 200 \cdot 30{,}25 = 6050 \text{ г/ч}. \quad (2.56)$$

2) Определим предельно допустимый сброс сточных вод по показателю $БПК_{п}$. Учитывая категорию водопользования, биохимическое потребление кислорода в сточной воде не должно превышать 3 мг/л, что указывает на необходимость улучшения очистки сточных вод, поскольку в сточной воде предприятия $БПК_{п}$ равно 20 мг/л. Для этого показателя

$$\text{ПДС} = 200 \cdot 3 = 600 \text{ г/ч}.$$

3) Определим ПДС для цинка, хрома и ионов железа. Для соблюдения ПДК, учитывая, что цинк, хром и железо нормируются по санитарно-токсикологическому показателю вредности, определим сумму

$$\frac{C1}{ПДК1} + \frac{C2}{ПДК2} + \frac{C3}{ПДК3} = \frac{0{,}4}{1{,}0} + \frac{1{,}4}{0{,}1} + \frac{1}{0{,}5} = 16{,}4 \quad (2.57)$$

которая должна быть не менее 1, но фактически превышает ее в 16,4 раза. Поэтому установим дополнительную очистку для каждого вещества и найдем предельное значение в сточной воде концентрации цинка C_{Zn} = 0,3 мг/л, хрома C_{Cr} =0,02 мг/л и ионов железа C_{Fe} = 0,25 мг/л.

Проверим сумму отношений концентраций загрязняющих веществ

$$\frac{0{,}3}{1{,}0} + \frac{0{,}02}{0{,}1} + \frac{0{,}25}{0{,}5} = 1,$$

т. е. предельные значения концентраций цинка, хрома и ионов железа найдены правильно.

4) На основании установленных расчетом значений предельно допустимых концентраций цинка, хрома и ионов железа определим ПДС для каждого загрязняющего вещества:

для цинка: ПДС = 200·0,3 = 60 г/ч;

для хрома: ПДС = 200·0,02 = 4 г/ч;

для ионов железа: ПДС = 200·0,25 = 50 г/ч.

Ответ: ПДС для взвешенных веществ равен 6050 г/ч; по показателю $БПК_{п}$ ПДС = 600 г/ч; для цинка – 60 г/ч; для хрома – 4 г/ч и для ионов железа – 50 г/ч.

Таблица 2.24

Исходные данные

№ вар-та	Объем сточных вод, q, $м^3/ч$	Состав сточных вод, мг/л									
		Содерж. взв. вещ.	$С_в$	$БПК_п$		Zn		Cr		Fe	
				$С_{БПК}$	ПДК	$С_{Zn}$	ПДК	$С_{Cr}$	ПДК	$С_{Fe}$	ПДК
1	200	30	25	20	3	0,4	1,0	1,4	0,1	1	0,5
2	300	40	33	24	3	2,9	1,0	0,8	0,1	1,5	0,5
3	400	50	26	32	3	1,4	1,0	2,7	0,1	2,0	0,5

4	500	60	48	40	3	3,8	1,0	5,1	0,1	2,5	0,5
5	600	70	49	52	3	12,6	1,0	9,0	0,1	3,0	0,5
6	700	80	51	60	3	7,2	1,0	3,4	0,1	3,5	0,5
7	800	90	39	72	3	2,3	1,0	8,5	0,1	4,0	0,5
8	900	100	60	80	3	0,9	1,0	2,7	0,1	4,5	0,5
9	1000	120	87	90	3	4,4	1,0	4,1	0,1	5,0	0,5
10	1200	130	75	96	3	9,1	1,0	8,2	0,1	5,5	0,5
11	1300	140	36	46	3	6,5	1,0	0,64	0,1	6,0	0,5
12	1400	75	94	66	3	3,4	1,0	3,2	0,1	0,4	0,5
13	1500	85	35	120	3	0,2	1,0	1,3	0,1	1,7	0,5
14	1600	95	84	48	3	1,8	1,0	0,4	0,1	0,3	0,5
15	1700	54	42	54	3	2,4	1,0	0,9	0,1	2,7	0,5
16	350	30	25	20	3	2,9	1,0	0,8	0,1	1,5	0,5
17	650	40	33	24	3	1,4	1,0	2,7	0,1	2,0	0,5
18	750	50	26	32	3	3,8	1,0	5,1	0,1	2,5	0,5
19	850	60	48	40	3	12,6	1,0	9,0	0,1	3,0	0,5
20	950	70	49	52	3	7,2	1,0	3,4	0,1	3,5	0,5
21	1100	80	51	60	3	2,3	1,0	8,5	0,1	4,0	0,5
22	1150	90	39	72	3	0,9	1,0	2,7	0,1	4,5	0,5
23	1250	100	60	80	3	4,4	1,0	4,1	0,1	5,0	0,5
24	1350	120	87	90	3	9,1	1,0	8,2	0,1	5,5	0,5
25	1450	130	75	96	3	6,5	1,0	0,6	0,1	6,0	0,5
26	1550	140	36	46	3	3,4	1,0	3,2	0,1	0,4	0,5
27	1650	75	94	66	3	0,2	1,0	1,3	0,1	1,7	0,5
28	1750	85	35	120	3	1,8	1,0	0,4	0,1	0,3	0,5
29	1850	95	84	48	3	2,4	1,0	0,9	0,1	2,7	0,5
30	1900	54	42	54	3	9,1	1,0	4,1	0,1	2,5	0,5
31	2000	90	60	80	3	6,5	1,0	8,2	0,1	3,0	0,5
32	2100	100	87	90	3	3,4	1,0	0,6	0,1	3,5	0,5
33	2200	120	75	96	3	0,2	1,0	3,2	0,1	4,0	0,5
34	2300	130	36	46	3	1,8	1,0	1,3	0,1	4,5	0,5
35	2400	140	94	66	3	2,4	1,0	0,4	0,1	5,0	0,5

2.20. Оценка качества воздушной среды в рабочей зоне

Нормативами ГН 2.2.5.686-98 и ГОСТ 12.1.005—98 установлено, что при наличии в воздушной среде смеси вредных веществ, обладающих аддитивным (однонаправленным) действием, должно соблюдаться следующее условие:

$$C_1/ПДК_1 + C_1/ПДК_2 + \ldots + C_n/ПДК_n \le 1,$$

где $C_1, C_2, \ldots, C_n$ — концентрации соответствующих вредных веществ в воздухе, мг/м^3;

$ПДК_1, ПДК_2, \ldots, ПДК_n$ — предельно допустимые концентрации соответствующих вредных веществ, мг/м^3.

Задание. Оценить качество воздушной среды в рабочей зоне.

Дано (вариант 1). В воздух рабочей зоны поступают вредные вещества: оксид углерода — 12,1 мг/м^3 ($ПДК_{CO}$ = 20 мг/м^3), оксиды азота — 1,4 мг/м^3 ($ПДК_{NO}$ = 2 мг/м^3) и чугунная пыль — 3,5 мг/м^3 ($ПДК_{ч.п.}$= 6 мг/м^3).

Сумма отношений фактических концентраций вредных веществ к их ПДК будет равна:

$$12,1/20 + 1,4/2,0 + 3,5/6,0 = 1,89 .$$

Ответ. Несмотря на то, что величина каждого загрязняющего вещества не превышает ПДК, суммарное их значение превышает норму в 1,89 раза. Поэтому необходимо улучшить систему вентиляции в цехе.

Наименование ЗВ	Оксид углерода	Пыль чугунная	Сажа	NO_2	Пыль алюминиевая	Хлор	HCL
ПДК	20	6	4	5	2	0,1	0,2

Исходные данные

№ вар.	C_1	ПДК$_1$	C_2	ПДК$_2$	C_3	ПДК$_3$
1	12,1	20	1,4	2	3,5	6
2	0,1	0,2	3,8	5	1,2	2
3	12	20	3,4	5	0,7	1
4	0,3	0,5	5,4	6	3,9	6
5	1,5	5	17	20	3,1	4
6	0,8	5	1,9	4	4,2	5
7	4,2	6	0,06	0,1	0,1	0,2
8	8	20	1,2	2	0,7	1
9	1,4	5	0,5	1	2,3	4
10	0,09	0,1	3,1	6	1,8	5
11	1,7	2	2,3	4	2,1	5
12	0,5	1	4,7	5	1,1	2
13	3,2	6	1,1	0,2	19	20
14	2,7	4	14	20	7	10
15	1,9	5	6,3	10	2,3	4
16	0,12	0,2	2,7	5	4,3	6
17	3,4	6	4,9	5	2,2	4
18	7	10	3,9	6	3,1	5
19	3,8	5	11	20	0,15	0,2
20	3,9	5	2,5	4	3,1	6
21	5,7	6	2,2	4	4	10
22	13	20	1,7	2	3,1	5
23	3,8	5	0,8	1	1,7	4
24	2,4	4	2,7	6	0,8	1
25	1	2	2	4	14	20
26	0,6	1	3,8	5	4	6
27	2,7	6	0,18	0,2	1,5	4
28	1,8	4	18	20	3,9	5
29	2,9	5	1,8	4	0,1	0,2
30	0,16	0,2	3,4	5	18	20

3. БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

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 $Д$ — совершение этим человеком ошибочных действий, либо действий, связанных с нарушениями с 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

$$P(A) = P(B) \cdot P(C) \cdot P(Д), \tag{3.1}$$

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

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

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

$P(Д)$ — вероятность совершения человеком ошибочных действий.

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

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

где n_i — численность людей, подвергающихся риску травмирования при выполнения 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

$$P(Д) = \frac{m_i}{m}, \tag{3.3}$$

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

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

Задание. Определить вероятность несчастного случая на участке.

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

Решение.

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

$$P(Д) = \frac{m_i}{m} = \frac{1}{6}; \qquad P(A) = \frac{1}{40} \cdot \frac{1}{6} = 0{,}0042.$$

*Ответ***.** $P(A) = 0{,}0042$.

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

Исходные данные для расчетов приводимых в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

№ вар.	n_i	n	t_i	t	m_i	m	№ вар	n_i	n	t_i	t	m_i	m
1	1	4	2	20	1	6	31	4	12	3	30	2	14
2	2	10	3	30	2	8	32	3	9	2	15	3	15
3	3	15	4	40	3	12	33	2	6	1	10	2	8
4	4	12	5	50	3	15	34	1	5	2	25	1	6
5	3	14	1	15	2	7	35	2	10	3	30	2	12
6	2	7	2	20	1	9	36	3	7	2	15	3	15
7	1	8	3	30	2	8	37	4	13	1	20	2	10
8	3	20	1	10	3	11	38	3	11	2	30	1	5
9	2	16	2	15	1	6	39	2	8	1	15	2	10
10	1	5	1	12	2	5	40	1	5	3	40	3	9
11	4	20	3	15	3	13	41	2	10	1	15	2	12
12	5	18	4	8	2	8	42	3	12	2	20	1	4
13	4	12	2	10	1	7	43	4	13	3	30	2	6
14	3	9	1	5	2	6	44	3	10	4	40	3	9
15	2	6	3	10	3	9	45	2	9	3	25	2	8
16	1	7	4	12	2	5	46	1	8	2	18	1	5
17	2	14	3	6	1	4	47	2	7	1	16	2	10
18	3	9	2	24	2	9	48	3	6	2	11	3	12
19	4	12	1	12	3	12	49	4	11	3	13	2	8
20	3	15	2	30	2	8	50	3	12	2	19	1	6
21	2	8	5	40	2	10	51	2	8	1	17	2	12
22	3	10	4	50	1	8	52	1	5	2	16	2	15
23	4	12	3	60	2	16	53	2	10	3	22	2	4
24	5	14	2	50	3	9	54	3	12	2	18	1	9
25	4	8	1	40	2	8	55	4	12	1	15	2	14
26	3	9	2	30	1	7	56	3	10	2	14	3	17
27	2	7	3	20	2	9	57	2	8	3	12	2	12
28	1	6	2	25	3	12	58	1	7	5	20	3	10
29	2	5	1	15	2	8	59	2	14	4	15	2	8
30	4	12	2	20	1	7	60	3	20	3	16	1	4

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 гг.

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

*Решение***.**

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

$$y = A\,\mathrm{arctg}(t) + Bt + C = t + 3, \qquad (3.5)$$

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

Исходные данные для определения тренда и прогноза травматизма на производстве

Вариант	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
1	2	3	4	5	6	7	8
9	МСЦ – 8	5	3	1	2	1	4
10	ДОК	4	6	4	2	4	4
11	СП	18	6	7	3	3	10
12	К. каб	8	2	3	2	5	4
13	КИП	6	4	2	1	3	5
14	РМЦ	4	1	4	2	2	2
15	РСЦ	5	1	3	1	1	2
16	Эл. р. ц	6	1	2	2	3	1
17	ТЭЦ	8	4	2	3	3	4
18	ТСЦ	6	1	2	1	4	1
19	Цех связи	9	1	3	1	1	1
20	УГЭ	3	1	3	1	2	1
21	УГМех	5	4	1	2	1	3
22	ОН-ЗиС	3	1	2	1	1	1
23	УПЭ	5	2	3	2	3	1
24	РЭК	23	13	11	9	5	3
25	УЭСО	6	1	1	1	2	1
26	К. пит.	4	2	1	1	2	1
27	МСЧ	1	2	1	1	1	1
28	АТХ	3	1	1	2	2	3
29	Тр. упр.	9	8	2	6	3	2
30	ЖДЦ	5	4	1	2	1	1
31	Цех благ.	7	8	3	1	3	5
32	УСХ	8	5	3	4	3	5
33	З/упр.	11	7	6	9	6	11
34	Дспо ПМ	4	3	1	2	1	3
35	ОВВО	9	5	3	1	1	2

ЛИТЕРАТУРА

1. Безопасность жизнедеятельности: Учеб. для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др.; Под общ. ред. С.В. Белова. — М.: Высш. шк., 1999. — 448 с.

2. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: Справ. / С.В. Белов, А.Ф. Козьяков, О.Ф. Партолин и др.; Под ред. С.В. Белова. — М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

3. Безопасность производственных процессов: Справ. / Под общ. ред. С.В. Белова. — М.: Машиностроение, 1985. — 448 с.

4. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. — М: Энергоатомиздат, 1985. — 824 с.

5. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств (Охрана труда): Учеб. пособие для вузов / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Е.А. Подгорных и др. — М.: Высш. шк., 1999. — 318 с.

6. Денисенко Г.Ф. Охрана труда: Учеб. пособие для инж.-экон. спец. вузов. — М.: Высш. шк., 1985. — 319 с.

7. Охрана труда на предприятии: Учеб. пособие для студентов вузов / В.Л. Гапонов, Е.Л. Медиокритский, Н.Н. Мирошниченко и др.; Под ред. Е.Л. Медиокритского / РГАСХМ, Ростов на/Д., 1998. — 273 с.

8. Безопасность жизнедеятельности: Безопасность технологических процессов и производств. В 2 ч.: Учеб. пособие / Под ред. В.Л. Гапонова. — Ч. 1. Охрана труда на предприятии / РГАСХМ., Ростов н/Д., 2000. — 270 с.

9. Безопасность жизнедеятельности: Безопасность технологических процессов и производств. В 2 ч.: Учеб. пособие / Под ред. В.Л. Гапонова. — Ч. 2. Нормативные документы, законодательные и гражданско-правовые акты / РГАСХМ, Ростов н/Д., 2000. — 312 с.

10. Основы безопасности жизнедеятельности: Учеб. пособие / Е.Л. Медиокритский, Л.М. Распопова, И.Г. Аракельян и др. / РИАТМ, Ростов н/Д., 1995. — 88 с.

11. Основы безопасности жизнедеятельности: Учеб. пособие / Е.Л. Медиокритский, Л.М. Распопова, И.Г. Аракельян и др. / РИАТМ, Ростов н/Д., 1995. — 96 с.

12. Бакаева Т.Н. Безопасность жизнедеятельности. Ч. II: Безопасность в условиях производства: Учеб. пособие. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1997. — 318 с.

13. Охрана окружающей среды / Под ред. С.В. Белова. — М.: Высш. шк., 1991. — 307 с.

14. Техника защиты окружающей среды: Учеб. для вузов / А.И. Радионов, В.Н. Клушин, Н.С. Торочешников. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1989. — 512 с.

15. Экология и безопасность жизнедеятельности: Учеб. пособие для вузов / Д.А. Кривошеин, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева и др.; Под ред. Л.А. Муравья. — М.: ЮНИТИ–ДАНА, 2000. — 447 с.

16. О состоянии окружающей природной среды Ростовской области... : Гос. доклад обл. комитета по охране окружающей среды и природных ресурсов. — Ростов н/Д., 1997; 1998.

17. Аксенов И.Я., Аксенов В.И. Транспорт и охрана окружающей среды. — М.: Транспорт, 1986. — 243 с.

18. Непомнящий А.В., Шилякин Г.П. Безопасность жизнедеятельности. Ч. III: Чрезвычайные ситуации: Учеб. пособие. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1994. — 384 с.

19. Атаманюк В.Г. и др. Гражданская оборона: Учеб. для вузов / В.Г. Атаманюк, Л.Г. Ширшов, Н.И. Акимов; Под ред. Д.И. Михайлика. — М.: Высш. шк., 1986. — 207 с.

20. Демиденко Г.П. и др. Защита объектов народного хозяйства от оружия массового поражения: Справ. / Под ред. Г.П. Демиденко. — Киев: Вища шк., 1987. — 256 с.

21. Дуриков А.П. Оценка радиационной обстановки на объектах народного хозяйства. — М.: Воениздат, 1985. — 231 с.

22. Ситников В.Е., Гапонов В.Л., Хвостиков А.Г. Оценка устойчивости промышленного объекта в чрезвычайных ситуациях: Метод. указания к выполнению курсовой работы / РГАСХМ, Ростов н/Д., 1998. — 41 с.

23. Кодекс законов о труде Российской Федерации. — М.: Проспект, 2000. — 96 с.

24. Оценка воздействия на окружающую среду и разработка нормативов ПДВ: Справ. изд. / Ю.Л. Максименко, И.Д Горкина., В.Н. Шаприцкий — М.: СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ, 1999.

25. Мазур И.И., Молдованов О.Н. Курс инженерной экологии: Учеб. для вузов / Под ред. И.И. Мазура. — М.: Высш. шк., 1999.

26. Новиков Ю.В. Экология, окружающая среда и человек: Учеб. пособие для вузов. — М.: Агенство «Фаир», 1998.

27. Экология и природопользование / Под ред. Э.А. Аристумова. — М.: Издательский дом «Дашков и К°», 1999.

28. ГОСТ 17.0.0.04—90. Экологический паспорт промышленного предприятия. Основные положения.

29. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. — Ростов н/Д.: Изд-во «Феникс», 2000.

30. Промышленная экология: Учеб. пособие для вузов / В.М. Гарин, В.Л. Гапонов, Е.Л. Медиокритский / РГАСХМ, Ростов н/Д., 1999.

31. Пал М.Х. Энергия и защита окружающей среды. Сер. «Практика защиты окружающей среды». — Падерборн: Изд-во FIT — Verlag. 1996.