

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью курса «Управление техносферной безопасностью» является обогащение будущих инженеров теоретическими знаниями и практическими навыками, необходимыми для создания безопасных условий в производственной, бытовой, природной средах, а также в условиях чрезвычайных ситуаций.

Эти знания и навыки должны обеспечить формирование инженера как специалиста, способного самостоятельно решать разные вопросы безопасности жизнедеятельности на производстве, при разработке новой техники и технологий, проработке мероприятий по охране природной среды проживания человека, принимать правильные решения при дефиците времени и информации в аварийных ситуациях, при катастрофах и стихийных бедствиях.

Важное значение в формировании этих способностей имеет приобретение практических навыков проведения расчетов в области безопасности окружающей производственной (охрана труда) и природной среды, оценки экономических последствий неблагоприятных воздействий технических систем предприятий на эти среды и среду проживания, а также прогнозирования чрезвычайных ситуаций, ликвидации последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий и поражающих факторов мирного и военного времени.

Кто такой специалист по техносферной безопасности?

Это специалист, который может:

- организовывать и координировать работу по охране труда на предприятии;
- осуществлять контроль за соблюдением законодательных и иных нормативных правовых актов по охране труда работниками предприятия;
- совершенствовать профилактическую работу по предупреждению производственного травматизма, профессиональных и производственно обусловленных заболеваний и улучшению условий труда;
- составлять инструкции по безопасности;
- осуществлять планирование пожарно-профилактической работы на предприятии;
- анализировать состояние пожарной безопасности объектов (территорий, зданий, сооружений, помещений, наружной установки, складов, транспортных средств, открытых площадок), технологических процессов, технологического оборудования, продукции и материально-технических ресурсов предприятия;
- разрабатывать мероприятия, направленные на усиление противопожарной защиты и предупреждение пожаров;
- заниматься исследовательской, проектной, организационно-управленческой, производственно-технологической деятельностью в сфере систем защиты человека и территорий, обеспечения устойчивости объектов

народного хозяйства в ЧС и ликвидации техногенных аварий и стихийных бедствий, а также методов и средств защиты человека, объектов экономики и среды обитания от опасностей и вредного воздействия последствий ЧС;

- осуществлять контроль за соблюдением на предприятии действующего экологического законодательства, инструкций, стандартов и нормативов по охране окружающей среды;

- проводить экологическую экспертизу;

- осуществлять проверку соответствия технического состояния оборудования предприятия требованиям охраны окружающей среды и рационального природопользования.

В пособии приведены задачи, которые могут быть использованы при проведении практических занятий.

1. ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ

Процесс создания в помещениях комфортной воздушной среды, удовлетворяющей гигиеническим нормам и технологическим требованиям, зависит от характера помещений, температуры окружающей среды и наличия вредных выделений. Воздух в помещениях должен быть чистым, а относительная влажность и температура воздуха должны соответствовать гигиеническим требованиям, предусмотренным ГОСТ 12.1005-88 ССБТ «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования».

1.1. Вентиляция цехов и душирование рабочих мест

Общее количество воздуха L , которое должно подаваться общеобменной вентиляцией в производственное помещение для обеспечения в рабочей зоне предельно допустимой концентрации вредных газов, паров и пыли, рассчитывается по формуле

$$L = \frac{M \cdot 10^6}{K \cdot (C_{\text{пдк}} - C_0)}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1.1)$$

где M – интенсивность выделения рассматриваемого вредного вещества в помещении, кг/ч; K – безразмерный коэффициент равномерности распределения вентиляционного воздуха в помещении; $C_{\text{пдк}}$, C_0 – предельно допустимая концентрация в рабочей зоне помещения, мг/м³, и его концентрация в поступающем для проветривания помещения воздухе.

Кратность воздухообмена $K_{\text{об}}$ в помещении определяется по формуле

$$K_{\text{об}} = \frac{L}{V}, \quad (1.2)$$

где V – объем проветриваемого помещения, м³.

Воздухообмен, необходимый для обеспечения установленной санитарными нормами температуры воздуха в рабочей зоне производственных помещений, рассчитывается по формуле

$$L = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{изб}}}{c \cdot \rho \cdot (t_{\text{yx}} - t_{\text{пр}})}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1.3)$$

где $Q_{\text{изб}}$ – избыточное явное тепло, выделяемое в помещении, Вт; c – удельная теплоемкость воздуха (в расчетах можно принять $c = 1$ кДж/(кг·град));

ρ – плотность наружного (приточного) воздуха при рассматриваемой температуре, кг/м³; t_{yx} , $t_{\text{пр}}$ – температура соответственно уходящего и приточного воздуха, °С;

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{об}} - Q, \text{ Вт}, \quad (1.4)$$

где $Q_{\text{об}}$ – тепловыделения в помещении от технологического оборудования, Вт; Q – выделение тепла от других источников (плюс) или его потери (минус), Вт.
Для теплого и холодного периодов года

$$t_{\text{yx}} = t_{\text{р.з.}} + 3, \text{ }^\circ\text{C}, \quad (1.5)$$

где $t_{\text{р.з.}}$ – температура воздуха в рабочей зоне по санитарным нормам, $^\circ\text{C}$.
 $t_{\text{пр}} = t_{\text{н}}^{\text{ж.м.}}$, $^\circ\text{C}$, – для теплого периода года; $t_{\text{пр}} = t_{\text{р.з.}} - 5$, $^\circ\text{C}$, – для холодного периода года,
где $t_{\text{н}}^{\text{ж.м.}}$ – средняя температура наружного воздуха в 13 ч наиболее жаркого месяца в районе расположения предприятия, $^\circ\text{C}$.

Площадь аэрационной шахты (фонаря), обеспечивающая удаление теплоизбытков из помещения и установленную санитарными нормами температуру в его рабочей зоне в холодный период года, рассчитывается по формуле

$$F = \frac{L \cdot \rho}{420 \cdot K \cdot \sqrt{h \cdot \Delta t_{\text{CP}}}}, \text{ м}^2, \quad (1.6)$$

где L – воздухообмен, обеспечивающий в рабочей зоне требуемую температуру воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$; ρ – плотность воздуха при рассматриваемой температуре, $\text{кг}/\text{м}^3$; K – безразмерный коэффициент, учитывающий конструкцию вытяжного устройства (K фонаря = 1; K шахты = 1,2); h – высота от середины проема для приточного воздуха в помещении до устья шахты (фонаря), м;

$$\Delta t_{\text{cp}} = (t_{\text{yx}} + t_{\text{р.з.}})/2 - t_{\text{пр.}}, \text{ }^\circ\text{C}. \quad (1.7)$$

Эффективность пылеулавливающей установки (фильтра) рассчитывается по формуле

$$\eta = \frac{C_{\text{н}} - C_{\text{к}}}{C_{\text{н}}} \cdot 100, \text{ } \%, \quad (1.8)$$

где $C_{\text{н}}$, $C_{\text{к}}$ – концентрация пыли в воздухе соответственно поступающем и выходящем из установки, $\text{мг}/\text{м}^3$.

При нецелесообразности (технической или экономической) обеспечения нормируемой температуры в рабочей зоне помещения с помощью общеоб-

менной вентиляции применяются воздушные души на отдельных рабочих местах, площадь F_0 выходного сечения душирующего патрубка и скорость воздуха V_0 на выходе, из которого рассчитывается по следующим формулам (при $0,6 \leq P_T \leq 1$):

$$F_0 = \frac{(x + 5,3 \cdot P_T - 3,2)^2}{0,75 \cdot n}, \text{ м}^2, \quad (1.9)$$

$$V_0 = \frac{V_p}{0,7 + 0,1 \cdot (0,6 \cdot m \cdot \sqrt{F_0} - x)}, \text{ м/с}, \quad (1.10)$$

где x – расстояние от душирующего патрубка до рабочего места, м;
 P_T – отношение разности температур, определяемое по формуле (1.11);
 n – опытный коэффициент, характеризующий изменение температуры на оси душирующей струи (для патрубков разных типов изменяется в пределах 2,8...4,5, при ориентировочных расчетах принимаются равными 3);
 V_p – скорость движения воздуха на рабочем месте, нормируется санитарными нормами, м/с; m – опытный коэффициент, характеризующий изменение скорости по оси душирующей струи (для патрубков разных типов изменяется в пределах 4...6,8, при ориентировочных расчетах принимается равным 5):

$$P_T = \frac{t_{P.З.} - t_{P.М.}}{t_{P.З.} - t_0}, \quad (1.11)$$

где $t_{P.З.}$ – фактическая температура воздуха в рабочей зоне, °С;
 $t_{P.М.}$ – температура воздуха на рабочем месте по санитарным нормам, °С;
 t_0 – температура воздуха на выходе из душирующего патрубка, °С;

$$t_0 = t_{\text{охл}} + t_{\text{п}}, \text{ °С}, \quad (1.12)$$

где $t_{\text{охл}}$ – температура воздуха на выходе из форсуночной камеры после адиабатического охлаждения, °С; $t_{\text{п}}$ – повышение температуры этого воздуха в вентиляторе и воздуховодах при движении от форсуночной камеры до душирующего патрубка (принимается не менее 1,5 °С).

Относительная влажность воздуха φ (%) показывает степень насыщения воздуха водяными парами. Она выражает отношение абсолютной влажности воздуха e при данном состоянии к максимальной влажности, т.е. абсолютной влажности воздуха при полном его насыщении при тех же значениях температуры и давления e_{max} .

$$\varphi = \frac{e}{e_{max}} \cdot 100. \quad (1.13)$$

Относительная влажность может быть также выражена отношением парциального давления водяных паров при данном состоянии p к парциальному давлению этих паров при полном насыщении воздуха p_n (в %):

$$\varphi = \frac{p}{p_n} \cdot 100. \quad (1.14)$$

При нагреве воздуха в системах вентиляции и кондиционирования его абсолютная влажность остается постоянной, а максимальная влажность увеличивается пропорционально изменению парциального давления водяных паров при полном насыщении воздуха (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры

Температура, °С	Давление насыщенного водяного пара, кПа									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,61	0,66	0,71	0,76	0,81	0,87	0,94	1,00	1,07	1,15
10	1,23	1,31	1,40	1,49	1,60	1,71	1,81	1,95	2,07	2,20
20	2,33	2,49	2,64	2,81	2,99	3,18	3,36	3,56	3,79	4,00
30	4,24	4,49	4,76	5,03	5,32	5,63				

Задание 1

Определите воздухообмен L (м³/ч), который необходимо обеспечить общеобменной механической вентиляцией для того, чтобы концентрация вредного газа в воздухе рабочей зоны производственного помещения не превышала предельно допустимую $C_{пдк}$ (мг/м³). В помещении выделяется M (кг/ч) токсичного газа. Его концентрацию в воздухе, поступающем для проветривания помещения, принимать исходя из содержания в атмосферном воздухе. Коэффициент равномерности распределения вентиляционного воздуха равен K . Содержание диоксида углерода в атмосферном воздухе $C_0=540$ мг/м³. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные

Номер	M , кг/ч	Газ	$C_{пдк}$, мг/м ³	K
-------	------------	-----	-------------------------------	-----

варианта				
1	0,04	оксид углерода	20	1
2	0,02	сернистый ангидрид	10	0,7
3	0,05	аммиак	20	1
4	0,03	сероводород	10	0,9
5	16	диоксид углерода	20	0,8
6	0,04	этилен	10	1,2
7	10	аммония хлорид	10	1,3
8	8	гексан	300	1,5
9	0,06	альгинат натрия	10	1,1
10	0,09	бутан	300	1,6

Задание 2

В цехе в ходе технологического процесса выбрасывается в воздух M (г) вредного вещества в час. Какую кратность воздухообмена должна обеспечивать вентиляционная установка, если ПДК вредного вещества в воздухе равна $C_{\text{пдк}}$ (мг/м³), а размеры цеха $B \times L \times H$ (м)? Коэффициент равномерности распределения вентиляционного воздуха равен K . Поступающий воздух содержит одноименное вещество в количестве 0,3 ПДК. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Исходные данные

Номер варианта	M , кг/ч	Вещество	$C_{\text{пдк}}$, мг/м ³	$B \times L \times H$
1	0,014	свинец	0,01	20x40x5
2	14	ацетон	0,35	10x20x5
3	150	бензин	100	20x20x5
4	60	растворитель	300	4x5x2,5
5	10	сернистый ангидрид	10	6x6x5
6	50	декалин	100	20x20x5
7	80	бутилоцетат	100	30x25x5
8	100	бензол	15	30x10x4
9	150	бутан	300	25x15x5
10	40	трихлорэтилен	10	15x15x4

Задание 3

Определите создаваемые общеобменной вентиляцией воздухообмен L (м³/ч) и кратность воздухообмена $K_{\text{об}}$, при которых запыленность воздуха на рабочих местах в производственном помещении объемом V (м³) не будет превышать предельно допустимую концентрацию $C_{\text{пдк}}$. При работе технологического оборудования и производственных процессах в помещение поступает M (кг/ч) пыли. Подаваемый в помещение воздух содержит C_0 (мг/м³)

аналогичной пыли. Коэффициент равномерности распределения вентиляционного воздуха равен K . Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Исходные данные

Номер варианта	$V, \text{ м}^3$	$M, \text{ кг/ч}$	Вид пыли	$C_{\text{пдк}}, \text{ мг/м}^3$	K	$C_0, \text{ мг/м}^3$
1	500	0,007	зерновая	4	0,9	0,8
2	1000	0,01	мучная	6	1	0,2
3	600	0,02	сахарная	10	0,8	0,1
4	800	0,01	табачная	3	1	0,4
5	1200	0,02	известняк	6	0,8	0,1
6	700	0,06	цементная	6	0,6	0,1
7	1100	0,04	каменный уголь	2	0,7	0,8
8	900	0,02	асбестовая	9	0,8	0,1
9	600	0,03	магнезит	10	0,6	0,2
10	1000	0,04	алюминиевая	6	0,7	0,2

Задание 4

Во сколько раз должен быть увеличен создаваемый общеобменной механической вентиляцией воздухообмен в помещении любого объема для обеспечения предельно допустимой концентрации $C_{\text{пдк}}$ (мг/м^3) в рабочей зоне, если при сохранении постоянным количества поступающего в него вредного вещества M (кг/ч) его содержание в поступающем для проветривания помещения воздухе изменится от C_{01} до C_{02} (мг/м^3)? Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.5.

Таблица 1.5

Исходные данные

Номер варианта	Вредное вещество	$C_{\text{пдк}}, \text{ мг/м}^3$	$C_{01}, \text{ мг/м}^3$	$C_{02}, \text{ мг/м}^3$
1	оксид углерода	20	6	12
2	сернистый ангидрид	10	2	5
3	аммиак	20	8	12
4	сероводород	10	5	9
5	диоксид углерода	20	6	8
6	этилен	10	4	8
7	пыль сахара	10	1	3
8	амония хлорид	10	0	3
9	альгинат натрия	10	2	6
10	тетрахлорметан	10	6	8

Задание 5

Какое количество пыли или газов M (г/ч) может выделяться в производственное помещение, если вентиляционная система подает в него

воздух в количестве L ($\text{м}^3/\text{ч}$) и при условиях, указанных в таблице? Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Исходные данные

Номер варианта	Вредное вещество	$C_{\text{пдж}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$	C_0 , $\text{мг}/\text{м}^3$	K	L , $\text{м}^3/\text{ч}$
1	оксид углерода	20	1	0,9	2600
2	сернистый ангидрид	10	2	0,8	3000
3	аммиак	20	3	1	4000
4	сероводород	10	5	1,1	3600
5	диоксид углерода	20	6	0,7	2700
6	этилен	10	4	1	3100
7	пыль сахара	10	1	0,7	2900
8	аммония хлорид	10	3	0,8	3100
9	пыль мучная	6	0,3	1	2000
10	пыль табачная	3	0,2	0,9	3500

Задание 6

Какой воздухообмен L ($\text{м}^3/\text{ч}$) должна обеспечивать система общеобменной вентиляции в производственном помещении, если в него кроме пыли в количестве $M_{\text{п}}$ ($\text{кг}/\text{ч}$) стал поступать газ в количестве $M_{\text{г}}$ ($\text{кг}/\text{ч}$)? Поступающий в помещение воздух пыли не содержит, а концентрация газа соответствует имеющейся в атмосферном воздухе. Коэффициент равномерности распределения воздуха по помещению $K=1$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7

Исходные данные

Номер варианта	$M_{\text{п}}$, $\text{кг}/\text{ч}$	Вид пыли	$C_{\text{пдж}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$	Газ	$M_{\text{г}}$, $\text{кг}/\text{ч}$	$C_{\text{пдж}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$
1	0,01	зерновая	4	сернистый газ	0,03	10
2	0,02	мучная	6	оксид углерода	0,01	20
3	0,02	сахарная	10	сероводород	0,05	10
4	0,08	табачная	3	аммония хлорид	0,011	10
5	0,03	известняка	6	оксид углерода	0,02	20
6	0,06	цементная	6	тетрахлорметан	0,012	10
7	0,012	крахмальная	2	оксид углерода	0,06	20
8	0,02	асбестовая	9	аммиак	0,015	20
9	0,07	магнезита	10	этилен	0,03	10
10	0,04	алюминиевая	6	сернистый газ	0,08	10

Задание 7

Определите производительность общеобменной вентиляции L ($\text{м}^3/\text{ч}$), обеспечивающей в холодный период года удаление теплоизбытков $Q_{\text{изб}}$ (Вт) из

производственного помещения и поддержание минимально допустимой температуры воздуха в рабочей зоне $t_{р.з.}$ на постоянных рабочих местах с легкой физической работой категории Ib, которая согласно санитарным нормам равна 20 °С. Тепловыделения в помещении от технологического оборудования равны $Q_{об}$ (Вт), а теплопотери через наружные ограждения составляют $Q_{н.о.}$ (Вт). Плотность воздуха при расчетах принимать равной 1,25 кг/м³. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.8.

Таблица 1.8

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q_{об}, \text{Вт}$	15000	30000	20000	60000	16000	15000	13000	30000	28000	32000
$Q_{н.о.}, \text{Вт}$	10000	15000	14000	40000	12000	10000	8000	17000	19000	27000

Задание 8

Определите производительность общеобменной вентиляции L (м³/ч), обеспечивающей в теплый период года удаление теплоизбытков $Q_{изб}$ (Вт) из производственного помещения и поддержание максимально допустимой температуры воздуха в рабочей зоне $t_{р.з.}$ на непостоянных рабочих местах с физической работой средней тяжести категории Pa, которая согласно санитарным нормам равна 29 °С. Тепловыделения в помещении от технологического оборудования равны $Q_{об}$ (Вт), от электродвигателей - $Q_{э.д.}$ (Вт) и приток тепла от солнечной инсоляции - Q_c (Вт).

Средняя температура наружного воздуха в 13 ч наиболее жаркого месяца $t_{н}^{ж м}$ (°С). Плотность воздуха при расчетах принимать равной 1,2 кг/м³. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.9.

Таблица 1.9

Исходные данные

Номер варианта	$Q_{об.}, \text{Вт}$	$Q_{э.д.}, \text{Вт}$	$Q_c, \text{Вт}$	$t_{н}^{ж м}$
1	100000	10000	120000	21
2	150000	20000	50000	18
3	60000	5000	80000	19
4	220000	15000	30000	15
5	120000	8000	20000	20
6	180000	20000	20000	18
7	200000	12000	28000	16
8	80000	8000	60000	18
9	190000	16000	22000	17
10	90000	5000	22000	20

Задание 9

Определите максимальную величину тепловыделений от оборудования $Q_{об}$ (Вт) в теплый период года, которая должна быть обеспечена за счет

теплоизоляции технологического оборудования при производительности общеобменной вентиляции L ($\text{м}^3/\text{ч}$) для поддержания температуры воздуха в рабочей зоне $t_{\text{р.з.}}$ на постоянных рабочих местах с тяжелой физической работой, которая согласно санитарным нормам равна 26°C . Поступление тепла от солнечной инсоляции Q_c (Вт). Расчетная температура наружного воздуха $t_{\text{н}}^{\text{ж.м}}$, а его плотность $\rho = 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.10.

Таблица 1.10

Исходные данные

Номер варианта	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$Q_c, \text{Вт}$	$t_{\text{н}}^{\text{ж.м}}, ^\circ\text{C}$
1	50000	80000	15
2	75000	100000	18
3	90000	150000	19
4	110000	180000	20
5	125000	200000	21
6	85000	120000	18
7	100000	150000	16
8	110000	120000	18
9	70000	120000	17
10	130000	100000	20

Задание 10

Рассчитайте среднюю концентрацию пыли в воздухе цеха C ($\text{мг}/\text{м}^3$) при его проветривании в холодный период года с помощью аэрационной шахты площадью 10 м^2 за счет избыточного тепла. В цех поступает M $\text{кг}/\text{ч}$ пыли, температура воздуха в рабочей зоне $t_{\text{р.з.}}$. Высота от середины проема для приточного воздуха до устья шахты равна 10 м . Плотность воздуха $1,25 \text{ кг}/\text{м}^3$, пыль в поступающем воздухе отсутствует, коэффициент распределения воздуха $K=1$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.11.

Таблица 1.11

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{\text{р.з.}}, ^\circ\text{C}$	12	13	15	17	18	15	16	18	17	18
$M, \text{кг}/\text{ч}$	0,04	0,08	0,1	0,16	0,15	0,2	0,08	0,06	0,9	0,4

Задание 11

Рассчитайте, во сколько раз должна быть увеличена производительность общеобменной вентиляции в теплый период года по сравнению с холодным для

удаления избыточного тепла из помещения при следующих условиях: приток тепла от технологического оборудования - $Q_{об}$ (Вт), от солнечной инсоляции в теплый период Q_c (Вт), потери тепла через наружные ограждения в холодный период - $Q_{н.о.}$ (Вт), средняя температура наружного воздуха в 13 ч наиболее жаркого месяца $t_{н}^{ж.м.}$; его плотность в теплый период – 1,2, а в холодный – 1,25 кг/м³; температура в рабочей зоне в теплый период - 28 °С, в холодный - 24 °С. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.12.

Таблица 1.12

Исходные данные

Номер варианта	$Q_{об}, \text{Вт}$	$Q_{н.о.}, \text{Вт}$	$Q_c, \text{Вт}$	$t_{н}^{ж.м.}, ^\circ\text{C}$
1	260000	120000	80000	15
2	280000	110000	100000	18
3	200000	100000	150000	19
4	180000	80000	140000	20
5	160000	60000	200000	21
6	140000	80000	120000	18
7	220000	100000	150000	16
8	210000	80000	120000	18
9	170000	90000	120000	17
10	160000	90000	100000	20

Задание 12

Для предупреждения поступления в производственное помещение пыли в количестве M (кг/ч) от производственного оборудования установлена аспирационная система производительностью L_a (м³/ч) с пылеулавливающим фильтром. Определите эффективность фильтра η (%), необходимую для снижения содержания пыли в выходящем из него воздухе до концентрации C_k (мг/м³). Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.13.

Таблица 1.13

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M, \text{кг/ч}$	0,4	0,5	0,8	1,0	1,2	0,6	0,9	1,2	0,5	0,8
$L_a, \text{м}^3/\text{ч}$	2500	2000	1600	2000	3000	2400	3200	3500	2700	2600
$C_k, \text{мг/м}^3$	10	25	30	28	33	32	26	24	16	18

Задание 13

Рассчитайте площадь аэрационной шахты $F(\text{м}^2)$, обеспечивающей температуру $t_{р.з.}$ в рабочей зоне производственного помещения с избыточными

тепловыделениями $Q_{\text{изб.}}$ (Вт) для теплого периода года со средней температурой наружного воздуха наиболее жаркого месяца в районе расположения предприятия $t_{\text{н}}^{\text{ж.м.}}$. Высота от середины проема для приточного воздуха до устья шахты равна h . Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.14.

Таблица 1.14

Исходные данные

Номер варианта	$Q_{\text{изб.}}$, Вт	$t_{\text{р.з.}}$, °С	h , м	$t_{\text{н}}^{\text{ж.м.}}$, °С
1	100000	28	6	15
2	120000	27	7	18
3	140000	26	8	9
4	160000	27	9	20
5	180000	28	10	16
6	110000	28	10	18
7	150000	18	8	10
8	140000	18	9	12
9	160000	26	10	17
10	110000	22	8	17

Задание 14

Общеобменная вентиляция рассчитана исходя из предельно допустимой концентрации пыли в рабочей зоне по ее поступлению в производственное помещение от технологического оборудования в количестве M (кг/ч) при значениях $C_0 = 1$ и $K = 1$. При этом не были учтены утечки через неплотности в аспирационной системе, составляющие L_a (м³/ч) воздуха с концентрацией пыли $C_{\text{п}}$ (мг/м³). На сколько процентов должен быть увеличен воздухообмен для обеспечения нормальных условий труда по пылевому фактору? Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.15.

Таблица 1.15

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M , кг/ч	0,1	0,2	0,3	10,4	0,5	0,6	0,9	0,1	0,6	0,7
L_a , м ³ /ч	50	80	160	200	300	240	320	350	270	260
$C_{\text{п}}$, мг/м ³	100	250	300	280	330	320	260	240	160	180

Задание 15

Определите количество воздуха L (м³/ч), которое должно подаваться воздушным путем на рабочее место при выполнении легкой физической работы

категории Ib, обеспечивающее нормируемые температуру $t_p = 22^\circ\text{C}$ и скорость воздушного потока $V_p = 0,2$ м/с. Температура воздуха в рабочей зоне $t_{p.з.}$ ($^\circ\text{C}$). Расстояние душирующего патрубка до рабочего места x (м). Температура воздуха, выходящего из форсуночной камеры, $t_{охл.}$ ($^\circ\text{C}$). При движении по воздуховодам температура этого воздуха возрастает на $t_{п}$ ($^\circ\text{C}$). Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.16.

Таблица 1.16

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_{p.з.}, ^\circ\text{C}$	30	32	31	30	29	32	30	28	26	28
$t_{охл.}, ^\circ\text{C}$	17	19	18	20	17	22	18	20	18	16
$t, ^\circ\text{C}$	3	2	1,5	2	2	3	2	3	3	2
$x, \text{м}$	2	1,5	2	2	1,5	2	1,5	1,5	2	1,5

Задание 16

Нужно ли осушать или увлажнять воздух, поступающий с улицы в приточную вентиляционную систему, если относительная влажность воздуха на улице φ_n (%) при $+11^\circ\text{C}$, а относительная влажность воздуха в цехе должна быть равной $\varphi_{ц}$ (%) при температуре $+22^\circ\text{C}$? (Максимальная влажность воздуха при $+22^\circ\text{C}$ в 2 раза выше, чем при $+11^\circ\text{C}$.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.17.

Таблица 1.17

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varphi_n, \%$	100	90	80	85	70	90	90	100	100	85
$\varphi_{ц}, \%$	40	60	70	75	50	50	70	70	75	70

1.2. Расчет приточно-вытяжной вентиляции для удаления избыточных теплоты, водяных паров, газов и пыли

Удаление избыточной теплоты

Объем воздуха V_B , необходимый для удаления избыточной теплоты, определяют по формуле

$$V_B = 3,6 \cdot Q / [(t_{\text{норм.}} - t_{\text{пн.}}) \lambda_B \rho_B], \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1.15)$$

где Q – количество выделяющейся в помещении избыточной теплоты, Вт/ч;
 $t_{\text{норм.}}$, $t_{\text{пн.}}$ – нормально допустимая температура воздуха в рабочем помещении и температура поступающего (наружного) воздуха, °С (примем $t_{\text{пн.}} = 19$ °С);
 λ_B – удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг °С (принимается равной 32 кДж/кг °С); ρ_B – плотность приточного воздуха, кг/м³ (принимается равной 1,2 кг/м³).

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \text{ Вт/ч.} \quad (1.16)$$

Выделение теплоты поверхностями оборудования, трубопроводами, батареями отопления и другими агрегатами определяют по формуле

$$Q_1 = F \cdot k \cdot (t_{\text{пов.}} - t_{\text{норм.}}), \text{ Вт/с}, \quad (1.17)$$

где F – площадь тепловыделяющей поверхности, м²; k – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·ч·°С) (принимается равным 3 Вт/(м²·ч·°С); $t_{\text{пов.}}$ – температура тепловыделяющей поверхности, °С.

Выделение теплоты, хранимой в рабочем помещении горячей продукции Q_2 , Вт/ч, определяют по формуле

$$Q_2 = M \cdot C_M (t_M - t_{\text{норм.}}) \beta, \text{ Вт/с}, \quad (1.18)$$

где M – масса нагретой продукции, хранимой в рабочем помещении, кг;
 C_M – теплоемкость материала хранимой продукции (усредненная теплоемкость нагретой массы продукции, принимается равной 19), Вт/(м²·ч·°С);
 t_M – температура массы продукции по фактическому замеру, °С;
 β – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность остывания массы продукции (принимается равным 1,4).

Выделение теплоты от работающих электрических нагревательных и силовых устройств определяют по формуле

$$Q_3 = P \eta f \varphi, \text{ кВт}, \quad (1.19)$$

где P – установочная мощность электрических устройств, кВт; η – коэффициент перехода электрической энергии в тепловую (на практике принимается равным 0,58); f – коэффициент использования установочной мощности электрических устройств, приближенно для расчетов

принимается равным 0,75; φ – поправочный коэффициент, учитывающий одновременность работы тепловыделяющих электрических устройств (приблизительно при оценках принимается равным 0,9).

Окончательным результатом расчета теплового воздухоотвода является величина кратности воздухообмена N , определяемая как отношение объема V_B воздуха, необходимого для удаления избыточной теплоты Q , к объему рабочего помещения V_p .

$$N = V_B/V_p, \text{ 1/ч.} \quad (1.20)$$

Удаление избыточных паров

Объем воздуха, необходимый для удаления паров, находят по формуле

$$V_B = \frac{W10^3}{d_y - d_{\Pi}} \rho_B, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (1.21)$$

где W – количество выделяющейся в помещение влаги, кг/ч; d_y, d_{Π} – количество водяных паров в удаляемом из помещения воздухе и в воздухе, поступающем в помещение, г/кг (определяются по диаграмме зависимости относительной влажности атмосферного воздуха от температуры рис. 1.1); ρ_B – плотность воздуха при данной температуре, кг/м³ (табл. 1.18).

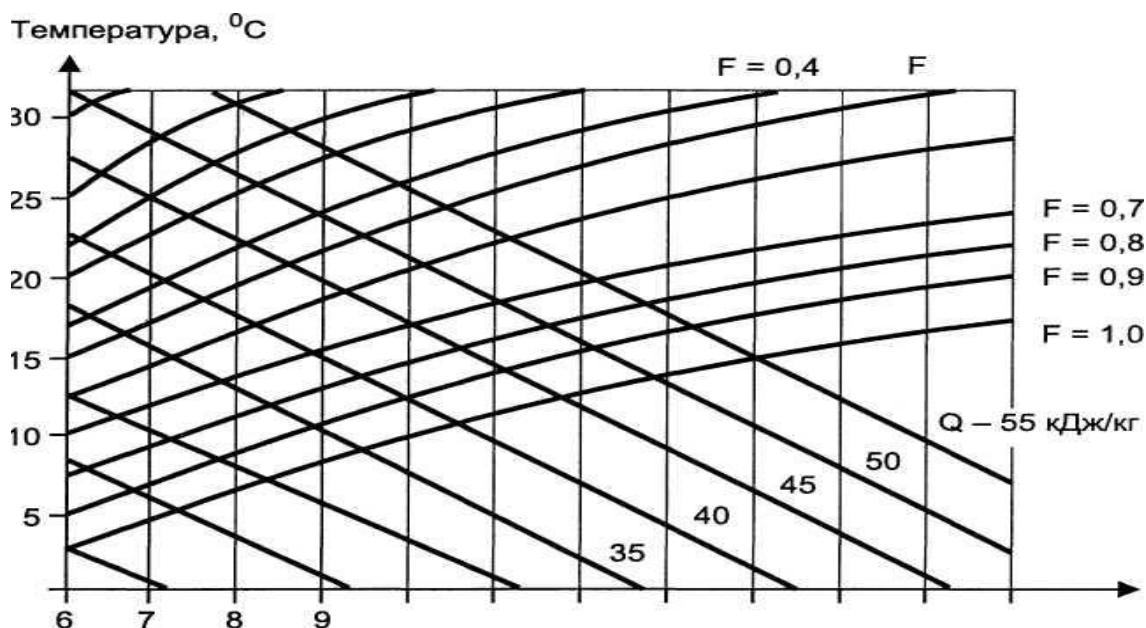


Рис. 1.1. Диаграмма определения направления линии процесса ассимиляции теплоты и влаги при различных температурах воздуха

Количество выделяющейся в помещение влаги W зависит от условий, в которых находится рассматриваемое производственное помещение.

$$W = W_1 + W_2 + W_3, \text{ кг/ч.} \quad (1.22)$$

Таблица 1.18

Плотность воздуха ρ_B , 10^{-3} г/см³

Температура, °С	0	4	8	10	14	18	20	22	24	26	28	30
Плотность, ρ_B	1,29	1,27	1,25	1,24	1,23	1,21	1,20	1,19	1,19	1,18	1,17	1,16

Выделение влаги путем испарения с некоторой поверхности W_1 . В этом случае количество влаги, выделяемой размером F , рассчитывается по формуле

$$W_1 = F (a + 0,017 v)(P_2 - P_1), \text{ кг/ч}, \quad (1.23)$$

где F – поверхность испарения воды, м²; a – фактор гравитационной подвижности окружающей среды (при оценочных расчетах принимается равным 0,022);

v – скорость воздуха над источником испарения, м/с; P_2, P_1 – соответственно давление водяных паров при давлении насыщения, давление водяных паров в воздухе помещения при данной температуре, гПа.

Выделение влаги и газов через неплотности в различных соединениях оборудования определяется по формуле

$$W_2 = 10^{-10} \eta \cdot \kappa_3 \left(\frac{P}{P_0} \right) \cdot V_{\text{сум}} \cdot \rho, \text{ кг/ч}, \quad (1.24)$$

где η – коэффициент, учитывающий часовые потери герметичности, %;

κ_3 – коэффициент запаса, определяющий состояние оборудования; P – рабочее давление в оборудовании, Н/м²; P_0 – давление в рабочем помещении, Н/м² (в оценочных расчетах принимается равным 10^5 Н/м²); $V_{\text{сум}}$ – внутренний суммарный объем всего оборудования и коммуникаций, установленных в данном рабочем помещении, м³; ρ – плотность паров и газов, выделяющихся через уплотнения, кг/м³.

Объем газов и паров, выделяемых со свободной поверхности жидкости, содержащей химические вещества, определяется по формуле

$$W_3 = M_m (0,000352 + 0,000786 \cdot v) \cdot F \cdot \beta, \text{ кг/ч}, \quad (1.25)$$

где M_m – относительная молекулярная масса испаряющейся жидкости (принимается равной 100); v – скорость перемещения воздуха над поверхностью испарения, м/с; β – упругость пара жидкости, насыщающего воздух при температуре жидкости (принимается равной 10), Па;

Окончательным результатом расчета является величина кратности воздухообмена N .

$$N = V_B / V_p, \text{ 1/ч}. \quad (1.26)$$

Задание 17

В рабочих помещениях, где имеются источники выделения теплоты, влаги требуется дополнительная приточно-вытяжная вентиляция. Необходимо:

1) рассчитать объем воздуха V_B ($\text{м}^3/\text{ч}$), необходимый для удаления избыточной теплоты из цеха;

2) рассчитать объем воздуха V_{II} ($\text{м}^3/\text{ч}$), необходимый для удаления паров из цеха.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.19-1.20.

Таблица 1.19

**Исходные данные
для расчета удаления избыточной теплоты**

Номер варианта	F, м^2	$t_{\text{пов.}}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{норм.}}$, $^{\circ}\text{C}$	M, кг	t_m , $^{\circ}\text{C}$	P, кВт	$V_p, \text{м}^3$	C_m , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$)
1	20	45	23	250	100	50	3600	0,20
2	26	50	20	300	120	60	2800	0,21
3	40	40	21	220	78	50	3800	0,22
4	16	55	22	200	90	60	2800	0,23
5	36	35	23	350	98	50	4800	0,24
6	28	40	22	340	106	60	4200	0,25
7	30	50	20	320	116	50	2600	0,22
8	40	48	21	180	114	60	3600	0,23
9	34	46	22	200	100	50	4000	0,24
10	24	40	23	250	80	60	4200	0,25

Таблица 1.20

**Исходные данные
для расчета удаления избыточных паров**

Номер варианта	v, м/с	ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	η , %	P, $\text{Н}/\text{м}^2$	κ_3	$V_{\text{сум}}, \text{м}^3$	$F_{\text{исп}}, \text{м}^2$
1	0,50	0,79	0,2	$1 \cdot 10^5$	1,2	6,0	100
2	0,20	0,84	0,25	$1,5 \cdot 10^5$	1,3	7,0	120
3	0,26	0,92	0,5	$2 \cdot 10^5$	1,4	8,0	140
4	0,30	1,22	0,2	$2,5 \cdot 10^5$	1,5	9,0	160
5	0,40	1,36	0,25	$3 \cdot 10^5$	1,6	10,0	100
6	0,50	1,52	0,5	$1,4 \cdot 10^5$	1,7	6,0	160
7	0,20	1,32	0,2	$3 \cdot 10^5$	1,8	7,0	140
8	0,26	1,44	0,25	$2,5 \cdot 10^5$	1,5	8,0	120
9	0,30	1,4	0,5	$1,2 \cdot 10^5$	1,8	9,0	160
10	0,40	1,46	0,25	$1,5 \cdot 10^5$	1,2	10,0	160

1.3. Расчет теплоизоляции

1.3.1. Расчет теплоизоляции технологического оборудования

При расчете теплоизоляции следует придерживаться следующего порядка.

Сначала устанавливают допустимые тепловые потери объекта при наличии изоляции, задавшись температурой на поверхности изоляции.

Количество теплоты q , отдаваемое единицей поверхности нагретого объекта в единицу времени в окружающую среду:

$$q = \alpha \cdot (t_{из} - t_{в}), \text{ Вт/м}^2, \quad (1.27)$$

где α – коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к воздуху, Вт/ (м² · град); $t_{из}$ – температура на наружной поверхности изоляции, °С; $t_{в}$ – температура воздуха в помещении, °С.

Зная теплотопотери с единицы поверхности изолируемого объекта q , определяем коэффициент теплопередачи по формуле

$$K = q / (t_{вн} - t_{в}), \text{ Вт/град}, \quad (1.28)$$

где $t_{вн}$ – температура среды внутри объекта (аппарата), °С. В свою очередь коэффициент теплопередачи

$$\hat{E} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (1.29)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи соответственно на внутренней и наружной стороне аппарата, Вт/ (м² · град); $\delta_{ст}$, $\lambda_{ст}$ – толщина, м и коэффициент теплопроводности изолируемой стенки, Вт/(м · град); $\delta_{из}$, $\lambda_{из}$ – толщина, м, и коэффициент теплопроводности изоляционного материала, Вт/(м · град).

Преобразуя выражение (1.29), определяющее коэффициент теплопередачи K , получаем формулу для определения толщины теплоизоляции, которая имеет следующий вид:

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \cdot \left(\frac{1}{K} - \frac{1}{\alpha_1} - \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} - \frac{1}{\alpha_2} \right), \text{ м}. \quad (1.30)$$

Температура внутренней поверхности аппарата может быть рассчитана по формуле

$$t_{ст.вн.} = t_{вн.} - \frac{q}{\alpha_1}. \quad (1.31)$$

Температура наружной поверхности аппарата определяется по формуле

$$t_{ст.н.} = t_{в} + \frac{q}{\alpha_2} = t_{ст.вн.} - q \cdot \frac{\delta_{из}}{\lambda_{из}}. \quad (1.32)$$

Общее количество теплоты, выделенной наружной поверхностью аппарата F (м^2) в течение часа, составляет

$$Q = 3,6 \cdot q \cdot F, \text{ кДж.} \quad (1.33)$$

Тепловыделение от остывающего продукта определяется по формуле

$$Q = m \cdot c \cdot (t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}), \text{ кДж,} \quad (1.34)$$

где m – масса остывающего продукта, кг; c – теплоемкость остывающего продукта, кДж/(кг · град); $t_{\text{нач}}$, $t_{\text{кон}}$ – соответственно начальная и конечная температура остывающего продукта, °С.

Задание 18

В печном отделении хлебозавода объемом V (м^3) установлено n одинаковых печей. Площадь тепловыделяющей поверхности каждой печи $F = 60 \text{ м}^2$. Стены печей покрыты двухслойной тепловой изоляцией. Кожух печей выполнен из стали толщиной $\delta_1 = 3 \text{ мм}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda_1 = 46 \text{ Вт/м град}$. Первый слой изоляции выполнен из шамотного кирпича толщиной $\delta_2 = 250 \text{ мм}$ с коэффициентом теплопроводности $\lambda_2 = 0,14 \text{ Вт/(м · град)}$. Второй слой изоляции толщиной $\delta_3 = 100 \text{ мм}$ выполнен из шлаковаты с коэффициентом теплопроводности $\lambda_3 = 0,04 \text{ Вт/(м · град)}$. Температура внутри печи $t_{\text{вн}} = 240 \text{ °С}$; температура воздуха в печном отделении $t_{\text{в}} = 35 \text{ °С}$. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности печей к окружающему воздуху $\alpha_2 = 6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$. Коэффициент теплоотдачи на внутренней стороне печи $\alpha_1 = 20 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{град)}$. Определите потери тепла $Q_{\text{п}}$ (кВт) от печей в помещении; количество приточного воздуха L ($\text{м}^3/\text{ч}$) с температурой $t_{\text{пр}}$ (°С), которое необходимо ввести в хлебохранилище в течение часа для удаления избытков тепла, и кратность обмена воздухом K . Принять плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.21.

Таблица 1.21

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{ м}^3$	1600	9600	12800	540	1800	3300	2200	4600	5200	4800
n	4	6	8	2	5	4	6	8	4	6
$t_{\text{пр}}, \text{ °С}$	20	24	26	22	24	26	25	24	22	20

Задание 19

Рассчитайте толщину теплоизоляции $\delta_{из}$ (мм) для цилиндрического аппарата, изготовленного из металла (М), толщина стенки аппарата $\delta_{ст.}$ (мм). Температура среды внутри аппарата $t_{вн}$ ($^{\circ}\text{C}$); температура воздуха в помещении $t_{в}$ ($^{\circ}\text{C}$); температура на поверхности изоляции 45°C . В качестве изоляции используется изоляционный материал (ИЗ). Коэффициент теплоотдачи от поверхности аппарата к воздуху $\alpha = 6 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$. Коэффициент теплопроводности стенок аппарата $\lambda_{ст}$ (Вт/м·град); коэффициент теплопроводности изоляционного материала $\lambda_{из}$ (Вт/м·град).

Указание: принять температуру внутренней стенки аппарата равной температуре среды в аппарате. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.22.

Таблица 1.22

Исходные данные

Номер варианта	Материал аппарата (М)	$\delta_{ст.}$, мм	$\lambda_{ст.}$, Вт/м град	Материал изоляции (ИЗ)	$\lambda_{из.}$, Вт/м град	$t_{вн.}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{в.}$, $^{\circ}\text{C}$
1	сталь	10	45,4	войлок шерстяной	0,05	118	23
2	латунь	5	85,5	асбест	0,12	180	26
3	чугун	15	63,0	кирпич	0,3	120	28
4	алюминий	5	204,0	асбест	0,12	240	28
5	сталь	8	45,0	картон	0,06	150	26
6	сталь	10	50,0	асбест	0,04	122	24
7	латунь	8	90,0	асбест	0,14	220	26
8	алюминий	6	200,0	асбест	0,16	200	26
9	чугун	12	50,0	кирпич	0,4	128	26
10	алюминий	8	208	асбест	0,14	220	28

Задание 20

На хлебозаводе установлены печи, суммарная производительность которых составляет 25 т хлебобулочных изделий в сутки. После выпечки хлеб остывает в хлебохранилище объемом V (м^3) от начальной температуры $t_{нач.} = 90^{\circ}\text{C}$ до $t_{кон.} = 30^{\circ}\text{C}$. Средняя теплоемкость остывающего хлеба $C = 1,47 \text{ кДж/кг·град}$. Температура воздуха в хлебохранилище 26°C . Определите среднее количество теплоты, выделяемой остывающим хлебом $Q_{хл}$ (кДж/ч); количество воздуха L ($\text{м}^3/\text{ч}$) с температурой $t_{пр}$ ($^{\circ}\text{C}$), которое необходимо ввести в хлебохранилище в течение часа для удаления избытков тепла, и кратность обмена воздухом K . Принять плотность воздуха $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.23.

Таблица 1.23

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{ м}^3$	3600	6600	8000	5400	2800	2300	3200	4200	2200	4600

$t_{пр}, ^\circ\text{C}$	22	20	24	24	26	24	22	20	20	24
--------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Задание 21

Определите количество тепла Q (кВт), поступающего в окружающую среду в единицу времени от котла, покрытого теплоизоляционным материалом толщиной $\delta_{из}$ и с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{из}$. Площадь котла F (м^2). Температура внутренней среды $t_{вн}$. Коэффициент теплоотдачи от поверхности котла в окружающую среду $\alpha_{нар} = 8 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$, а коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности котла $\alpha_{вн} = 20 \text{ Вт/м}^2 \text{ град}$. Температура окружающего котла воздуха $t_{возд}$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.24.

Таблица 1.24

Исходные данные

Номер варианта	Изоляционный материал	$\delta_{из}, \text{мм}$	$\lambda_{из}, \text{Вт/м град}$	$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	$t_{возд}, ^\circ\text{C}$	$F, \text{м}^2$
1	войлок технический	15	0,05	250	25	120
2	асбест	10	0,12	120	24	50
3	кирпич	250	0,14	110	28	60
4	картон	50	0,06	180	18	100
5	стекловолокно	25	0,04	150	17	80
6	войлок технический	10	0,04	240	24	160
7	стекловолокно	28	0,04	200	20	100
8	картон	66	0,06	200	26	100
9	кирпич	250	0,14	220	26	120
10	асбест	8	0,12	220	28	80

Задание 22

Определите температуру на поверхности аппарата $t_{пов}$ ($^\circ\text{C}$) при условии, что аппарат площадью F (м^2) выделяет тепловой поток Q (Вт). Аппарат теплоизолирован материалом толщиной $\delta_{из}$ и имеет коэффициент теплопроводности $\lambda_{из}$. Температура внутри аппарата $t_{вн}$, температура воздуха в помещении $t_{возд}$. Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности аппарата, омываемого горючим газом, $\alpha_1 = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.25.

Таблица 1.25

Исходные данные

Номер варианта	материал теплоизоляции	$Q, \text{Вт}$	$F, \text{м}^2$	$\lambda_{из}, \text{Вт/м град}$	$\delta_{из}, \text{мм}$	$t_{вн}, ^\circ\text{C}$
1	кирпич	240	60	0,14	250	250
2	пробка	48000	120	0,38	15	128
3	штукатурка	3600	100	0,78	40	110
4	гипс	6500	50	0,29	25	118

5	стекловата	10000	80	0,04	40	400
6	гипс	5800	60	0,32	34	110
7	пробка	46000	100	0,34	16	140
8	кирпич	360	100	0,16	250	200
9	штукатурка	3400	160	0,80	60	120
10	стекловата	9600	100	0,04	46	380

1.3.2. Расчет потерь тепла на нагревание наружного воздуха, материалов и транспорта, поступающих в помещение

Определяем дополнительное тепло для нагрева наружного воздуха, инфильтрующегося через щели притворов, по формуле

$$Q_{\text{доп.}} = 0,24G (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \text{ ккал/ч}, \quad (1.35)$$

где G – количество воздуха, инфильтрующегося через притворы, кг/ч; $t_{\text{н}}, t_{\text{в}}$ – расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха, °С.

Количество инфильтрующегося воздуха определяется только с наветренной стороны.

Количество тепла Q_{T} , расходуемого на нагрев поступающих извне полуфабрикатов, сырья, средств транспорта и т. д., определяем по формуле

$$Q_{\text{T}} = \sum G_{\text{м}} c B (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (1.36)$$

где $G_{\text{м}}$ – вес поступающего извне однородного материала, деталей транспорта и т. д., кг/ч; c – удельная теплоемкость материала, ккал/ (кг·град) (принимаем $c = 0,2$; $t_{\text{м}}$ – температура материала, °С (для металла и изделий из него $t_{\text{м}} = t_{\text{н}}$; для несыпучих материалов $t_{\text{м}} = t_{\text{н}} - 10^{\circ}$ С; для сыпучих материалов $t_{\text{м}} = t_{\text{н}} - 15^{\circ}$ С); B – коэффициент, учитывающий интенсивность поглощения тепла ($B=0,5$). Определяем общие потери.

Задание 23

Требуется определить общие потери тепла через внешние ограждения здания механического цеха размером $A \times B \times C$ (м). Стены кирпичные толщиной 380 мм. Количество воздуха, инфильтрующегося в цех через щели в окнах и фанаре G , кг/ч. Количество поступающего воздуха через ворота $G_{\text{м}}$, м³/ч. В цехе в течение часа находится одна автомашина с грузом металла 2 т. Исходные данные для расчета приведены в табл. 1.26.

Таблица 1.26

Исходные данные

Номер варианта	A, м	B, м	C, м	$t_{\text{н}}, ^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{в}}, ^{\circ}\text{C}$	G, кг/ч	$G_{\text{м}}, \text{м}^3/\text{ч}$
----------------	------	------	------	----------------------------------	----------------------------------	---------	-------------------------------------

1	100	24	20	-25	15	3000	80000
2	80	20	20	12	20	3600	60400
3	80	24	24	-24	18	2400	68000
4	100	30	20	5	18	2000	74000
5	80	24	20	10	16	1800	76000
6	100	24	20	-25	16	1600	82200
7	80	20	20	5	19	2600	80460
8	80	24	24	12	18	2800	72000
9	100	30	20	6	19	3200	80400
10	80	24	20	10	20	3400	78200

2. БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Большую часть времени активной жизнедеятельности человека занимает целенаправленная профессиональная работа, осуществляемая в условиях конкретной производственной среды, которая при несоблюдении принятых нормативных требований может неблагоприятно повлиять на его работоспособность и здоровье. Правильное решение вопросов безопасности позволяет свести к минимуму вероятность травмирования или заболевания работающих с одновременным обеспечением комфортных условий при максимальной производительности труда.

2.1. Производственная освещенность

Правильно спроектированное и рационально выполненное освещение производственных помещений оказывает положительное психофизиологическое воздействие на работающих, способствует повышению эффективности и безопасности труда, снижает утомление и травматизм, сохраняет высокую работоспособность. При организации производственного освещения необходимо обеспечить равномерное распределение яркости на рабочей поверхности и окружающих предметах. Производственное освещение должно обеспечивать отсутствие в поле зрения работающего резких теней. Наличие резких теней искажает размеры и формы объектов различения и тем самым повышает утомляемость, снижает производительность труда. Особенно вредны движущиеся тени, которые могут привести к травмам.

Яркость поверхности в канделах (кд) определяется по следующей формуле:

$$L = \frac{I}{S \cdot \cos \varphi}, \text{ кд/м}^2, \quad (2.1)$$

где I – сила света, кд; S – площадь поверхности, м²; φ – угол между направлением светового потока по отношению к поверхности, град.

Яркость пламени свечи составляет 5000 кд/м². Коэффициент отражения светового потока определяется отношением отраженного светового потока к падающему:

$$\rho = F_{\text{отр}} / F_{\text{пад}} \quad (2.2)$$

При значениях $\rho > 0,4$ фон считается светлым, при $0,2 < \rho < 0,4$ – средним и при $\rho < 0,2$ – темным.

Освещенность рабочей поверхности определяется отношением падающего светового потока F , люмен (лм), к площади поверхности S (м²):

$$E = F / S, \text{ лк.} \quad (2.3)$$

Контраст объекта с фоном определяется по формуле

$$K = \frac{|L_o - L_\phi|}{L_\phi}, \quad (2.4)$$

где L_o – яркость объекта различения, кд/м²; L_ϕ – яркость фона, кд/м².

Контраст считается большим при $K > 0,5$, средним при $0,2 < K < 0,5$ и малым при $K < 0,2$.

К качественным показателям относится коэффициент пульсации светового потока, который определяется по формуле

$$K = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{2E_{\text{cp}}} \cdot 100. \quad (2.5)$$

При боковом естественном освещении площадь световых проемов рассчитывается по следующей формуле:

$$S = \frac{S_{\text{п}} \cdot e \cdot K_3 \cdot \eta_0 \cdot K_{3д}}{\tau_0 \cdot r_1 \cdot 100}, \text{ м}^2, \quad (2.6)$$

где $S_{\text{п}}$ – площадь пола; e – КЕО; K_3 – коэффициент запаса, который как для естественного, так и для искусственного освещения принимается равным 1,3; $K_{3д}$ – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями, лежит в интервале от 1 до 1,7; η_0 – световая характеристика окон (принимается в зависимости от L/B и B/H) в среднем $\eta_0 = 10$; τ_0 – общий коэффициент светопропускания, в среднем равный 0,6; r_1 – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражаемому от поверхности помещения и подстилающего слоя на промплощадке = 1,2.

Расчет общего равномерного искусственного освещения методом светового потока состоит в определении необходимого числа светильников для создания требуемой освещенности. Задавшись типом светильника, по справочным данным определяют создаваемый им световой поток и коэффициент использования. Число светильников определяют по формуле

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{n \cdot F \cdot \eta}, \text{ шт.}, \quad (2.7)$$

где Z – коэффициент неравномерности освещения (отношение средней к минимальной освещенности), принимается 1,2; n – число ламп в светильнике; F – световой поток светильника, лм; η – коэффициент использования светового потока; K_3 – коэффициент запаса; E – нормируемая освещенность, лк; S – освещаемая поверхность, м².

Делением общего числа светильников N на количество рядов определяется число светильников в каждом ряду, а так как длина светильника известна, равна 1,2 м, то можно найти полную длину всех светильников ряда. Если полученная длина близка к длине помещения, ряд получается сплошным, если меньше длины помещения, ряд выполняют с разрывами, а если больше – увеличивают число рядов или каждый ряд выполняют из сдвоенных или строенных светильников.

Мощность осветительной установки по методу удельной мощности определяется по следующей формуле:

$$W = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{1000 \cdot E_{CP}}, \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

где E – нормируемая освещенность, лк; E_{CP} – средняя условная освещенность, лк, в контрольной точке, определяется по графикам пространственных изолюкс, при равномерном размещении осветительных приборов общего освещения, при расходе электроэнергии 1 Вт/м²; K_3 – коэффициент запаса; S – площадь освещаемой поверхности, м².

Необходимое число ламп выбранной мощности определяется по формуле

$$N_w = \frac{W}{W_l}, \text{ шт.}, \quad (2.9)$$

где W – мощность осветительной установки; W_l – мощность одной лампы.

Точечный метод применяют для расчета локализованного и комбинированного освещения, освещения наклонных и вертикальных плоскостей.

При расчете точечным методом значение освещенности в расчетной точке находят суммированием освещенностей, создаваемых в этой точке каждым из источников света:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \text{ причем } E_i = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{K_3 \cdot H^2}, \quad (2.10)$$

где I_{α} – сила света i -го источника в направлении на расчетную точку для данного типа светильника при установке в нем лампы со световым потоком $F = 1000$ лм, определяется по кривой силы света (КСС); H – высота подвеса светильника над рабочей поверхностью; α – угол между направлением на расчетную точку и нормалью к рабочей поверхности; K_3 – коэффициент запаса.

Если полученное значение освещенности в расчетной точке не соответствует требуемому, то пропорционально требуемой освещенности увеличивают или уменьшают значение F и по полученному значению светового потока подбирают соответствующую лампу. Если лампа найденной мощности не может быть установлена в светильнике, то необходимо либо изменить тип светильника, либо его расстановку и высоту подвеса.

Задание 1

Сила света, испускаемого элементом поверхности площадью S (м^2) под углом φ к нормали, составляет I (кд). Определите яркость L ($\text{кд}/\text{м}^2$) поверхности. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.1

Таблица 2.1

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, \text{см}^2$	0,5	1,5	1,0	2,5	2,0	1,0	1,5	2,0	1,0	0,5
$\varphi, \text{град}$	60	45	30	60	45	30	30	45	60	45
$I, \text{кд}$	0,25	1,0	0,5	0,75	0,25	0,5	1,0	0,75	1,0	0,5

Задание 2

Определите коэффициент отражения ρ и среднюю освещенность E (лк) стены площадью S (м^2); дайте оценку фона (светлый, средний, темный). Световой поток F (лм) отражается $F_{\text{отр.}}$ (лм). Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, \text{см}^2$	4	3	5	8	2	6	8	10	7	9
$F, \text{лм}$	600	900	250	650	500	600	1000	800	600	700
$F_{\text{отр.}}, \text{лм}$	150	40	75	100	300	250	150	100	90	300

Задание 3

Определите яркость объекта различения L_o ($\text{кд}/\text{м}^2$), если его контраст с более темным фоном равен K . Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_f, \text{кд}$	200	1000	400	500	800	600	400	300	700	900
K	0,4	0,2	0,1	0,8	0,6	0,4	0,5	0,2	0,6	0,4

Задание 4

Найдите минимальное и максимальное значение освещенности рабочей поверхности, если коэффициент пульсаций освещенности равен $K_{\text{п}}$ (%), а среднее значение освещенности $E_{\text{ср}}$ (лк). Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.4

Таблица 2.4

Исходные данные

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{\text{п}}, \%$	5	10	15	20	30	15	40	30	20	10
$E_{\text{ср}}, \text{лк}$	400	200	300	150	75	180	220	290	360	150

Задание 5

В производственном помещении площадью S (м^2) со средним выделением пыли минимальная освещенность по нормам составляет E (лк). Освещение осуществляется светильникам прямого света. Напряжение сети 220 (В).

Мощность применяемых ламп $W_{л}$ (Вт). Определите мощность осветительной установки W (Вт) и число ламп N , необходимое для создания общего равномерного освещения. Расчет произвести методом определения удельной мощности. $E_{ср}$ принять равным 4,15 лк, коэффициент запаса $K_з$ указан в таблице. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.5

Таблица 2.5

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, м^2$	84	120	240	200	400	440	360	260	180	340
$E, лк$	300	75	200	200	20	100	40	150	88	120
$N, Вт$	40	80	80	80	40	120	100	60	40	80
$K_з$	1,1	1,2	1,3	1,5	1,24	1,26	1,5	1,3	1,44	1,3

Задание 6

Рассчитайте площадь световых проемов S ($м^2$) и процент заполнения стен световыми проемами в производственном помещении размерами $B \times L \times H$, м. Выполняемая зрительная работа имеет нормируемое значение КЕО в соответствии со СНиП, равное $e, \%$. Соседние здания, затеняющие производственное помещение, отсутствуют ($K_{зд}=1$). Исходные данные для расчета приведены в табл.2.6

Таблица 2.6

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L, м$	100	12	24	120	5	12	24	34	22	42
$B, м$	30	7	12	18	6	14	12	18	14	20
$H, м$	4	4	4	5	3	3	4	4	4,2	4,2
$e, \%$	1,0	1,5	0,3	1,0	1,5	0,4	0,8	1,2	1,5	0,5

Задание 7

Рассчитайте общее искусственное освещение (определите количество светильников) для помещения, указанного в задаче №5, используя метод светового потока. Помещение характеризуется незначительными пылевыведениями. Норма освещенности для работ, выполняемых в помещении E (лк). Для освещения используются газоразрядные люминесцентные лампы ЛБ мощностью 40 Вт, в светильниках ПВЛМ-2 с двумя лампами, создающими световой поток $F=3980$ лм, с коэффициентом использования светового потока равным $\eta = 0,85$. Определите число светильников в каждом ряду и полную длину всех светильников ряда, приняв минимальное число рядов светильников.

Длина светильника $l = 1,2$ м. Расстояние между светильниками в ряду $0,3$ м. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
E , лк	200	300	50	75	200	100	150	220	240	280

Задание 8

Найдите освещенность E (лк) горизонтальной рабочей поверхности, которая создается двумя светильниками, подвешенными на высоте H (м) от уровня пола так, что свет от них падает на поверхность под углом α к нормали, если известно, что сила света, испускаемого каждым из светильников в этом направлении, I (кд). Коэффициент запаса $K_3 = 1,3$. Высота рабочей поверхности – $0,8$ м. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I , кд	800	600	500	750	650	650	700	550	500	640
H , м	2,8	3,0	3,5	4	3,2	2,8	4,2	4,0	3,2	3,0
α , град	60	30	20	15	45	60	30	20	15	45

2.2. Борьба с шумом и вибрацией

В различных отраслях промышленности имеются источники шума и вибрации. Это механическое производственное оборудование (перфораторы, пневмомолотки, электромоторы и т.д.), транспорт, двигатели внутреннего сгорания и многое другое. Их вредное воздействие может привести к серьезным профессиональным заболеваниям в сочетании с функциональными расстройствами центральной нервной, вегетативной, сердечнососудистой и других систем. Поэтому необходимо соблюдать параметры шума и вибрации с учетом нормативных документов.

Допустимый уровень звукового давления на постоянных рабочих местах на среднегеометрических частотах октавных полос представлен в табл. 2.9.

Таблица 2.9

Допустимый уровень звукового давления на постоянных рабочих местах

f (Гц)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
----------	------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

$L_{\text{доп}}$ (дБ)	107	95	87	82	78	75	73	71	69
-----------------------	-----	----	----	----	----	----	----	----	----

При одновременной работе агрегатов равной интенсивности общий уровень звукового давления в помещении определяется по формуле

$$L_{\text{общ}} = 10 \lg n + L, \text{ дБ}, \quad (2.11)$$

где n – число агрегатов; L – уровень силы звука одного источника, дБ.

При совместном действии нескольких источников с разными уровнями силы звука для определения общего уровня необходимо суммировать их попарно-последовательно и для каждой пары расчет вести по формуле

$$L_{\text{общ}} = L_{\text{больш}} + \Delta L, \quad (2.12)$$

где $L_{\text{больш}}$ – наибольший из суммируемых уровней силы звука, дБ; ΔL – поправка, определяемая по табл. 2.10, дБ.

Таблица 2.10

Сложения уровней звуковой мощности или звукового давления

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

Требуемый уровень снижения шума до нормативного составит

$$L_{\text{тр}} = L_{\text{общ}} - L_{\text{доп}}, \text{ дБ} . \quad (2.13)$$

Для локализации наиболее шумных машин и механизмов используют звукоизолирующие кожухи. Акустическая эффективность кожуха (дБ) определяется по формуле

$$\Delta L_{\text{к}} = R_{\text{к}} + 10 \lg \alpha_{\text{обл}}, \text{ дБ}, \quad (2.14)$$

где $R_{\text{к}}$ – звукоизоляция стенок кожуха; $\alpha_{\text{обл}}$ – коэффициент звукопоглощения материала кожуха. Для двухслойного кожуха

$$\alpha_{\text{обл}} = \alpha_1 + \alpha_2, \quad (2.15)$$

где α_1 и α_2 – коэффициенты звукопоглощения каждого слоя.

Если стенки кожуха не имеют звукопоглощающей облицовки, то эффективность кожуха определяют по формуле

$$\Delta L_k = R_k - 10 \lg \frac{S_k}{S_{ист}}, \quad (2.16)$$

где S_k – площадь поверхности кожуха, м²; $S_{ист}$ – площадь поверхности машины, создающей шум, м².

Звукоизоляцию R_k , дБ, ограждения однослойного или из нескольких, жестко связанных между собой слоев можно рассчитать по полуэмпирической формуле:

$$R_k = 20 \lg(m \cdot f) - 47,5, \text{ дБ, или } R_k = 20 \lg(\rho \cdot d \cdot f) - 47,5, \text{ дБ,} \quad (2.17)$$

где m – поверхностная масса ограждения, кг/м²; f – частота колебаний, Гц; ρ – плотность материала, кг/м³; d – толщина стенки материала, м.

Для снижения уровня аэродинамического шума на трубопроводах устанавливают глушители. Они должны обеспечивать свободный проход воздуха через сечение и необходимое снижение шума. Сечение глушителя квадратное со стороной A (мм).

Снижение уровня шума на 1 погонный метр глушителя L с наполнителем из супертонкого минерального волокна (СТВ) толщиной 100 мм находят из табл. 2.11:

Таблица 2.11

Снижение уровня шума с наполнителем из супертонкого минерального волокна (СТВ) толщиной 100 мм

Типоразмер глушителя	Величина снижения шума при частоте							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
А-160	4,0	6,5	20,0	27,0	29,0	25,0	16,0	7,5
А-200	4,0	5,5	18,0	22,0	21,0	16,0	10,0	5,0
А-250	3,0	4,5	14,5	17,5	17,0	13,0	8,0	4,0
А-400	2,5	3,5	7,0	7,5	12,0	8,0	5,0	3,0
А-500	2,0	3,0	5,5	6,0	10,0	6,5	4,0	2,5
	Предельно допустимые уровни звукового давления на рабочих местах СН 2.2.4/2.1.8.562-96							
	95	87	82	78	75	73	71	69

Снижение шума можно достичь путем установки виброизоляторов. Расчет резиновых виброизоляторов состоит в определении их размеров и определении эффективности виброизоляции.

Площадь резиновых виброизоляторов рассчитывается по формуле

$$S_0 = \frac{P}{\sigma}, \text{ см}^2, \quad (2.18)$$

где P – общая масса установки, кг; σ – допустимая удельная нагрузка для резины, кг/см².

Площадь одного резинового виброизолятора будет равна

$$S_i = \frac{S_0}{n}, \quad (2.19)$$

где n – число резиновых виброизоляторов.

Высоту виброизоляторов определяют из уравнения

$$H_{\text{из}} = \frac{E \cdot S_0}{K}, \text{ см}, \quad (2.20)$$

где E – динамический модуль упругости, кг/см²; K – необходимая суммарная жесткость виброизоляторов, определяемая по формуле

$$K = 4 \cdot \pi \cdot f_c \cdot \frac{P}{g}, \text{ кг/см}, \quad (2.21)$$

где f_c – необходимая частота собственных вертикальных колебаний, Гц;
 $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$f_c = \frac{f}{\alpha}, \text{ Гц}, \quad (2.22)$$

где f – основная расчетная частота вынуждающей силы, определяемая по формуле

$$f = n/60, \text{ Гц}, \quad (2.23)$$

где n – частота вращения вала электродвигателя, об/мин; α – коэффициент виброизоляции, рекомендуют принимать при динамической балансировке $\alpha \geq 3$.

Для устойчивой работы виброизоляторов при их выборе необходимо выполнить следующие условия:

- 1) для агрегатов с расчетной частотой вращения от 350 до 500 об/мин

$$f_{\max} \leq 0,43 f,$$

2) с частотой $500 < n \leq 1000$ об/мин

$$f_{\max} = 0,4 f,$$

3) для быстроходных агрегатов с частотой свыше 1000 об/мин

$$0,2 \leq f_{\max} \leq 0,33 f.$$

Эффективность виброизоляции (снижение ее уровня) на резиновых опорах рассчитывается по формуле

$$\Delta L = 20 \cdot \lg \left(\frac{f^2}{f_c^2} - 1 \right), \text{ дБ} . \quad (2.24)$$

Сопоставляя полученный результат с требуемым уровнем снижения вибрации $\Delta L \geq \Delta L_{\text{тр}}$, делаем вывод о возможности использования виброизоляции с помощью резиновых виброизоляторов.

Задание 9

Определите требуемый уровень снижения шума в цехе ΔL (дБ), в котором находится 4 агрегата, создающие шум со следующими уровнями: $L_1; L_2; L_3; L_4$. $L_{\text{доп}} = 80$ дБ. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.12

Таблица 2.12

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L_1 , дБ	90	90	90	85	86	84	85	85	90	80
L_2 , дБ	94	90	90	85	87	86	90	84	88	84
L_3 , дБ	91	90	90	85	88	90	90	88	86	90
L_4 , дБ	84	90	94	85	92	92	88	90	85	85

Задание 10

Определите ожидаемый уровень звукового давления L (дБ) установки при использовании звукоизолирующего устройства (металлического кожуха толщиной δ_1 (м) с внутренней облицовкой из войлока толщиной δ_2 (м). Коэффициент звукопоглощения технического войлока 0,4; коэффициент

звукопоглощения металлического кожуха 0,01. Плотность стали принять равной 7900 кг/м³, плотность технического войлока 330 кг/м³. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.13.

Таблица 2.13

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уровень звукового давления установленный, дБ	120	110	100	90	105	120	105	90	100	125
Частота шума, Гц	800	900	2000	3500	500	800	900	2500	1100	3600
Толщина δ , м: для стали	0,001	0,01	0,005	0,015	0,025	0,01	0,01	0,015	0,025	0,01
для войлока	0,01	0,01	0,05	0,025	0,015	0,01	0,01	0,02	0,05	0,015

Задание 11

Звукоизоляция кожуха на частоте f_1 (Гц) составляет $R_{к1}$ (дБ). Найдите эффективность кожуха $R_{к2}$ (дБ) на частоте f_2 (Гц). Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.14.

Таблица 2.14

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f_1 , Гц	1000	500	4000	125	63	3500	3200	2200	1500	500
$R_{к1}$, дБ	30	25	20	10	5	20	15	25	5	30
f_2 , дБ	100	125	500	2000	1000	550	145	110	250	2800

Задание 12

Рассчитайте, подберите типоразмер и количество секций глушителя аэродинамического шума трубчатого типа, установленного на выхлопе вентилятора высокого давления ЦВ-18, уровень шума которого на частоте f (Гц) равен L (дБ) при производительности Q (м³/ч). Секции глушителя длиной 500 мм соединяются между собой при помощи фланцев. Скорость воздуха в

проходном сечении глушителя для предотвращения оседания пыли должна находиться в пределах 15...20 м/с. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.15

Таблица 2.15

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
f (Гц)	2000	1000	500	250	125	280	320	420	180	460
L (дБ)	102	100	96	98	90	92	94	98	90	94
Q (м ³ /ч)	9000	1500	2500	10000	4000	3800	4500	5800	6400	7200

Задание 13

Рассчитайте площадь S (см²) и высоту $H_{из}$ (см) резиновых виброизоляторов в виде ребристых плит, устанавливаемых по углам опорной рамы, на которой расположен электродвигатель с частотой вращения n (об/мин). Масса установки с опорной рамой P (кг). Динамический модуль упругости резины $E = 40$ кг/см², допустимая нагрузка $F_{доп} = 1,0$ кг/см². Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.16

Таблица 2.16

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , об/мин	1000	1500	2000	1600	1800	1400	1200	1600	1650	1850
P , кг	300	400	500	500	600	450	340	380	560	580

2.3. Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества [1]. Факторами опасного и вредного воздействия на человека, связанными с использованием электрической энергии, являются:

- протекание электрического тока через организм человека;
- воздействие электрической дуги;
- воздействие биологически активного электрического поля;
- воздействие биологически активного магнитного поля;
- воздействие электростатического поля;
- воздействие электромагнитного излучения (ЭМИ).

Опасные и вредные последствия для человека от воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического и магнитного полей, электростатического поля и ЭМИ проявляются в виде электротравм, механических повреждений и профессиональных заболеваний. Степень

воздействия зависит от экспозиции фактора, в том числе: рода и величины напряжения и тока, частоты электрического тока, пути тока через тело человека, продолжительности воздействия электрического тока или электрического и магнитного полей на организм человека, условий внешней среды.

Электрическое сопротивление цепи человека определяют по формуле

$$R_{\text{ч}} = r_{\text{ч}} + r_{\text{об}} + r_{\text{оп}}, \quad (2.25)$$

где $r_{\text{ч}}$; $r_{\text{об}}$; $r_{\text{оп}}$ – соответственно сопротивление тела человека, обуви и опорной поверхности.

При однофазном включении человека в четырехпроводную сеть с заземленной нейтралью, проходящей через него, ток определяется следующим образом:

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R + r_0}, \text{ А} \quad (2.26)$$

где U_{ϕ} – фазное напряжение, В; r_0 – сопротивление рабочего заземления, Ом.

В случае двухфазного включения человека в сеть с глухозаземленной и изолированной нейтралью ток, проходящий через него, будет равен

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\text{л}}}{r_{\text{x}}}, \text{ А}, \quad (2.27)$$

где $U_{\text{л}}$ – линейное сопротивление сети, В.

При прикосновении к одной фазе в трехпроводной сети с изолированной нейтралью сила тока, протекающего через человека, определяется по формуле

$$I_{\text{ч}} = \frac{U_{\phi}}{R_{\text{x}} + \frac{r_{\text{из}}}{3}}, \quad (2.28)$$

где $r_{\text{из}}$ – сопротивление изоляции проводов, Ом.

При расчете искусственного заземления вначале определяется электрическое сопротивление одиночного вертикального электрода по формуле

$$R_{\text{в}} = \frac{0,16 \cdot \rho}{l} \cdot \left[\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot (h_0 + 0,5 \cdot l) + l}{4 \cdot (h_0 + 0,5 \cdot l) - l} \right], \text{ Ом}, \quad (2.29)$$

где ρ – удельное сопротивление грунта, Ом · м; l , d – соответственно длина, диаметр труб (м); h_0 – глубина заложения полосы, м.

Рассчитывается суммарная длина горизонтального электрода l_r , соединяющего вертикальные электроды в контурном заземляющем устройстве:

$$l_r = a \cdot (n - 1), \text{ м}, \quad (2.30)$$

где n – число вертикальных электродов, $n \geq 4$ шт; a – расстояние между электродами, м.

Оценивается электрическое сопротивление этого электрода:

$$R_r = \frac{0,16 \cdot \rho}{l_A} \cdot \ln \frac{l_A^2}{b \cdot h_0}, \text{ Ом}, \quad (2.31)$$

где b – ширина полосы, м.

Вычисляется расчетное электрическое сопротивление заземляющего устройства расстоянию тока:

$$R = \frac{R_B \cdot R_r}{R_B \cdot \eta_r + R_r \cdot \eta_B \cdot n}, \quad (2.32)$$

где η_B , η_r – соответственно коэффициенты экранирования стержней и полосы.

Затем сопоставляется расчетное сопротивление R с допустимым сопротивлением заземления. Если $R > R_{\text{доп}}$, то увеличивается число вертикальных электродов n и длина горизонтального электрода l_r . Операции по расчету повторяются по формулам до тех пор, пока не будет удовлетворено условие $R < R_{\text{доп}}$. Значения η_B и η_r определяются для заданных условий по табл. 2.17. Величина $R_{\text{доп}}$ принимается равной 4 Ом, а при мощности генераторов и трансформаторов 100 кВА и менее $R_{\text{доп}} = 10$ Ом.

Таблица 2.17

Зависимость величин η_B и η_r от числа электродов при $a = l$.

Число вертикальных электродов n , шт	4	6	10	20	40	60	100
Значения, η_r	0,45	0,4	0,34	0,27	0,22	0,2	0,19
Значения, η_B	0,69	0,61	0,56	0,47	0,41	0,39	0,36

При системе зануления электрооборудования пробой изоляции на корпус превращается в однофазное короткое замыкание. Сила тока короткого замыкания рассчитывается по формуле

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{U_{\delta}}{R_{\text{Т}\delta} + r_{\text{л}\delta} + R_{\text{л}}}, \text{ А}, \quad (2.33)$$

где $R_{\text{Т}\delta}$ – сопротивление трансформатора; $r_{\text{л}\delta}$ – сопротивление участка проводов; $R_{\text{л}}$ – сопротивление магистрали.

Номинальная сила тока плавкого предохранителя определяется по формуле

$$I_{\text{н.п.}} = \frac{I_{\hat{e}\zeta}}{K}, \text{ А}, \quad (2.34)$$

где K – коэффициент надежности.

Напряжение прикосновения

$$U_{\text{пр}} = I_{\text{к.з.}} \cdot R_0, \quad (2.35)$$

где R_0 – сопротивление нулевого привода.

При использовании железобетонных фундаментов промышленных зданий в качестве заземлителей сопротивление растеканию заземляющего устройства R (Ом) должно оцениваться по формуле

$$R = 0,5 \frac{\rho_{\text{э}}}{\sqrt{S}}, \quad (2.36)$$

где S – площадь, ограниченная периметром здания, м²; $\rho_{\text{э}}$ – удельное эквивалентное электрическое сопротивление земли, Ом·м.

Для расчета $\rho_{\text{э}}$ в Ом·м следует использовать формулу

$$\rho_{\text{э}} = \rho_1 \left[1 - \exp\left(-\alpha \frac{h_1}{\sqrt{S}}\right) \right] + \rho_2 \left[1 - \exp\left(-\beta \frac{\sqrt{S}}{h_1}\right) \right], \quad (2.37)$$

где ρ_1 – удельное электрическое сопротивление верхнего слоя земли, Ом·м; ρ_2 – удельное электрическое сопротивление нижнего слоя, Ом·м; h_1 – толщина верхнего слоя земли, м; α , β – безразмерные коэффициенты, зависящие от соотношения удельных электрических сопротивлений слоев земли.

Если $\rho_1 > \rho_2$, $\alpha = 3,6$, $\beta = 0,1$; если $\rho_1 < \rho_2$, $\alpha = 1,1 \cdot 10^2$, $\beta = 0,3 \cdot 10^{-2}$.

Напряжение шага – это напряжение между точками земли, обусловленное растеканием тока замыкания на землю при одновременном касании их ногами человека. Численно напряжение шага равно разности потенциалов точек, на которых находятся ноги человека.

При расположении одной ноги человека на расстоянии x от заземлителя и ширине шага $x_{ш}$ (обычно принимается $x_{ш} = 0,8$ м) шаговое напряжение определяется по формуле

$$U_{ш} = \frac{I_z \cdot \rho \cdot x_{ш}}{2\pi \cdot x(x + x_{ш})}, \text{ кВ.} \quad (2.38)$$

Ток, обусловленный напряжением шага человека:

$$I_{ч.ш.} = \frac{U_{ш}}{r_{ч}}, \text{ А.} \quad (2.39)$$

Задание 13

Определите величину тока $I_{ч}$ (мА), который пройдет через тело человека при следующих случаях его включения в 3-фазную электрическую сеть:

а) двухфазном; б) однофазном с заземленной нейтралью. Линейное напряжение сети $U_{л}$ (В), сопротивление тела человека $r_{ч}$ (Ом), сопротивление обуви $r_{об}$ (Ом); опорное сопротивление поверхности ног (сопротивление пола) $r_{оп}$ (Ом); сопротивление изоляции $r_{из}$ (МОм); сопротивление рабочего заземления r_o (Ом). Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.18.

Таблица 2.18

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{л}$, В	380	380	220	220	380	220	330	220	220	380
$r_{ч}$, Ом	1000	10000	800	200	8000	2000	1600	7600	6400	5600
$r_{об}$, Ом	0	500	100	1000	25	400	600	85	120	600
$r_{оп}$, Ом	1500	0	1500	800	2000	1500	0	1500	800	2000
$r_{из}$, МОм	5	0,5	10	1,1	0,1	0,4	0,9	1,1	0,5	6
r_o , Ом	1	2	4	10	50	40	8	16	22	30

Задание 14

Определите силу тока $I_{ч}$ (мА), проходящего через человека при неблагоприятной и благоприятной ситуациях, в случаях однофазного включения в трехпроводную трехфазную сеть напряжением $U = 380$ В с изолированной нейтралью и четырехпроводную с глухозаземленной нейтралью:

а) неблагоприятные условия: человек прикоснулся к одной фазе, стоит на токопроводящем полу (металлическом), обувь сырая. Сопротивление: тела

человека $r_{\text{ч}}$, обуви $r_{\text{об}} = 0$, опорной поверхности ног $r_{\text{оп}} = 0$ (Ом); r_0 рабочего заземления, $r_{\text{из}}$ изоляции проводов;

б) благоприятные условия: обувь сухая на резиновой подошве $r_{\text{об}} = 50$ (Ом); человек стоит на сухом деревянном полу $r_{\text{оп}} = 150$ (кОм). Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.19

Таблица 2.19

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$r_{\text{ч}}$, кОм	1,0	10	0,2	0,5	15	12	2,0	14	0,8	1,5
r_0 , Ом	4	10	4	10	10	6	8	6	4	10
$r_{\text{из}}$, МОм	0,5	0,1	10	0,9	1,0	0,8	0,5	1,4	8	1,2

Задание 15

Электропитание цеха осуществляется от силового трансформатора мощностью P (кВА), напряжением $U = 6,3/0,38$ кВ. Нейтраль высоковольтной и низковольтной сторон трансформатора нормально изолирована от земли. Нагрузка всех фаз равномерная. Грунт возле завода с удельным сопротивлением ρ , Ом.м.

Требуется рассчитать искусственное защитное заземление из стальных труб диаметром d , длиной l и соединенных стальной полосой шириной b , к которому присоединяются корпуса электромеханического оборудования. Расчетная глубина заложения соединительной контурной полосы h_0 (м), расстояние между вертикальными электродами a принять равным длине трубчатого электрода.

Определите сопротивление заземления R (Ом) и количество n вертикальных электродов. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.20. Принять следующие обозначения грунта: I - глина, II - суглинок, III - песок, IV - каменистый грунт, V - супесь, VI - чернозем, VII - торф.

Таблица 2.20

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , кВА	90	50	1000	2000	300	600	60	800	180	1600
грунт	I	II	III	IV	V	VI	VII	III	III	V
ρ , Ом · м	40	100	500	600	300	20	20	500	600	300
d , м	0,025	0,03	0,06	0,12	0,1	0,05	0,08	0,04	0,03	0,04
l , м	2,5	3,0	4,0	4,2	3,5	2,0	2,5	3,0	3,5	2,5
b , м	0,02	0,02	0,03	0,08	0,08	0,02	0,02	0,03	0,08	0,08
h_0 , м	0,5	0,6	0,75	1,0	0,7	0,8	0,8	0,6	1,0	1,0

Задача 16

Электропитание цеха напряжением 380 В осуществляется от трансформатора с глухозаземленной нейтралью. Сопротивление трансформатора $R_{тр}$ (Ом), сопротивление участков проводов длиной 100 м $r_{пр}$ (Ом), сопротивление магистрали R_m (Ом). Требуется определить ток короткого замыкания $I_{кз}$ (А) в случае пробоя изоляции на корпус электроустановки; номинальный ток плавких вставок предохранителей $I_{нп}$ (А); величину напряжения прикосновения $U_{пр}$ (В). Коэффициент надежности равен 3. Сопротивление нулевого провода R_0 (Ом). Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.21.

Таблица 2.21

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R_{тр}$, Ом	0,15	0,1	0,2	0,25	2,5	1,5	1,6	0,85	2,15	1,8
$r_{пр}$, Ом	2,5	1,84	3,5	2,0	0,1	0,2	1,64	2,25	2,0	0,18
R_m , Ом	0,85	2,8	1,0	0,75	0,5	0,85	2,8	1,0	0,75	0,5
R_0 , Ом	1,76	5,6	0,3	2,5	2,0	2,2	5,0	1,5	1,8	4,8

Задание 17

Является ли опасным шаговое напряжение $U_{ш}$ (В) и величина переменного тока $I_{ч.ш.}$ (мА) для человека, находящегося в зоне его растекания, от упавшего на грунт с удельным электрическим сопротивлением ρ (Ом·м) провода под напряжением и создавшего ток замыкания I_3 (А)? Размер шага человека при расчете принять равным $x_{ш}=0,8$ м, а сопротивление тела $r_ч$ (Ом). Он находится в зоне растекания тока на расстоянии x (м) от упавшего провода. Опасность напряжения оценить сравнением с пороговым значением безопасного напряжения $U_б = 50$ В, а силы тока – сравнением с пороговым отпускаящим $I_{п} = 10$ мА. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.22.

Таблица 2.22

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ , Ом·м	70	100	30	150	90	90	100	60	40	50
I_3 , А	80	50	40	60	30	80	50	40	60	30
$r_ч$, Ом	1000	1500	800	1000	1200	800	1000	1500	1200	800
x , м	3,0	1,0	5,0	4,0	2,0	2,5	1,5	3,5	4,5	1,0

Задание 18

Определите силу тока короткого замыкания $I_{к.з.}$ (А) фазы на корпус оборудования и соответствующее ему напряжение прикосновения $U_{пр}$ (В) к нему до срабатывания защиты для сети с фазным напряжением $U_{ф}$ (В), питаемой трансформатором с заземленной нейтралью, имеющим сопротивления обмоток, фазного и нулевого проводов соответственно $r_{тр}$, $r_{ф.пр}$, $r_{н}$, Ом. Величину напряжения прикосновения сопоставить с безопасным и равным $U_6 = 50$ В. Исходные данные для расчета приведены в табл.2. 23.

Таблица 2.23

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{ф}$, В	220	127	220	220	127	220	127	220	220	127
$r_{тр}$, Ом	0,9	0,8	1,0	1,2	1,1	0,6	0,4	0,9	0,8	1,0
$r_{ф.пр}$, Ом	4,0	2,0	3,0	1,0	2,0	2,0	3,0	1,0	5,0	4,0
$r_{н}$, Ом	0,3	0,2	0,5	0,4	0,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Задание 19

Установите, соответствует ли допустимому $R_{доп}$ (Ом) сопротивление растеканию тока $R_{з}$ (Ом) железобетонного фундамента, используемого в качестве естественного защитного заземления, площадью $S, м^2$, производственного здания, расположенного на грунте, верхний слой которого толщиной $h_1, м$, представлен грунтом с удельным электрическим сопротивлением $\rho_1, Ом \cdot м$, а нижний – грунтом с $\rho_2, Ом \cdot м$. Безразмерные коэффициенты α и β , зависящие от соотношения ρ_1 и ρ_2 . Допустимое сопротивление защитного заземления $R_{доп}$ не должно превышать 4 Ом. Исходные данные для расчета приведены в табл.2. 24.

Таблица 2.24

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S, м^2$	3000	5000	1500	2000	2500	2600	1800	2400	3600	3200
$h_1, м$	3,7	3,3	2,5	3,5	2,4	2,8	2,0	3,5	2,6	3,0
$\rho_1, Ом \cdot м$	500	300	400	70	100	70	120	360	420	140
$\rho_2, Ом \cdot м$	130	150	200	400	600	400	220	360	340	520
α	3,6	3,6	3,6	1,1	1,1	2,4	2,6	1,6	1,8	2,0
β	0,1	0,1	0,1	0,03	0,03	0,1	0,1	0,1	0,03	0,03

2.4. Производственное излучение

Под излучением понимают электромагнитные волны различной длины и частоты. Спектр излучения обладает большим диапазоном длины волн и частоты колебаний; в настоящее время он представляется в следующем виде.

В производственных условиях гигиеническое значение имеют:

- а) радиоволны (широко применяются для высокочастотного нагрева металлов, при индукционной плавке металлов, при изготовлении и эксплуатации генераторов высоких, ультравысоких и сверхвысоких частот);
- б) инфракрасные лучи (излучаемые нагретыми предметами);
- в) видимые лучи;
- г) ультрафиолетовые лучи (при электросварке, электроплавке металлов);
- д) рентгеновы лучи (в рентгеновских кабинетах, лабораториях, институтах и медицинских учреждениях);
- е) лучи радия (при добыче и использовании радия и радиоактивных веществ).

Характер биологического действия отдельных участков спектра излучения зависит от физических свойств волн этого участка, главным образом от длины волны.

В рабочей зоне, характеризующейся различными значениями напряженности электрического поля, пребывание персонала ограничивается предельным временем, $T_{\text{пред}}$:

$$T_{\text{пред}} = 8 \cdot \left(\frac{t_{E1}}{T_{E1}} + \frac{t_{E2}}{T_{E2}} + \dots + \frac{t_{En}}{T_{En}} \right), \quad (2.40)$$

где t_E и T_E – фактическое и допустимое время (в часах) пребывания персонала в конкретных зонах с напряженностью поля $E_1, E_2 \dots E_n$.

Допустимое время T_E (измеряемое в часах) пребывания персонала в различных зонах (А,В,С и т.д.) с напряженностью поля E (измеряемого в кВ/м) определяется по формуле

$$T_E = \frac{50}{E} - 2. \quad (2.41)$$

Общее время работы на всех трех участках определяем по формуле

$$t_{\text{общ}} = t_{E1} + t_{E2} + t_{E3}. \quad (2.42)$$

В промышленности применяются электротермические радиочастотные установки с машинными генераторами для нагрева и плавки металлов, в которых происходит преобразование частоты тока с 50 Гц на 2500 Гц или 8000 Гц, с выходной мощностью от 50 до 500 кВт, а также установки для индукционного и диэлектрического нагрева (табл. 2.25).

При работе электротермических радиочастотных установок вблизи них создаются электрические поля с напряженностью 10 -1000 В/м.

Длина волны излучения λ (м) определяется по формуле

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (2.43)$$

где c – скорость света, м/с ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с); f – рабочая частота установки, Гц.

Таблица 2.25

**Основные характеристики электротермических установок
для индукционного и диэлектрического нагрева**

Назначение установки	Рабочая частота, кГц	Мощность, кВт
Поверхностный нагрев металлов	66 - 700	8 - 200
Сквозной нагрев металлов	66-5400	8 - 160
Сушка и склеивание древесины	500	50
Нагрев диэлектриков	10000-40000	0,6 - 40

Размер ближней зоны излучателя (индуктора) $r_{\text{близ.}}$ (м) определяется по формуле

$$r_{\text{близ.}} = \frac{0,1 \cdot \lambda}{2 \cdot \pi}. \quad (2.44)$$

Минимальный диаметр диска, при котором рабочий, устанавливающий заготовку в гнездо на дальней от индуктора стороне диска, оказывается в электрическом поле с напряженностью не более предельно допустимой, определяется по формуле

$$r_{\text{доп.}} = r_1 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_{\text{доп.}}}}, \quad (2.45)$$

где E_1 – напряженность электрического поля, В/м.; r_1 – расстояние от рабочего индуктора электрической установки, м; $E_{\text{доп.}}$ – допустимое электрическое поле, В/м (табл. 2.26).

Таблица 2.26

**Предельно допустимые уровни электромагнитного поля непрерывного
излучения для населения**

Диапазон	ПДУ напряжённости электрической составляющей поля
5	25 В/м
6	15 В/м
7	10 В/м
8	3 В/м

Эффективность экранирования конденсатора прямоугольной полый трубой вычисляется по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{E_1}{E_{\text{доп}}}. \quad (2.46)$$

Расстояние L (м) от концов пластин конденсатора до концов трубы-экрана определяется по формуле:

$$L = \frac{A \cdot \ln \mathcal{E}}{\pi}, \quad (2.47)$$

где A – высота трубы-экрана, м, должна быть не менее тройной ширины конденсатора.

Находим общую длину D (м) трубы-экрана по формуле

$$D = 2 \cdot L + C, \quad (2.48)$$

где C – длина пластины, м.

Для защиты персонала от производственных излучений в помещении предусматривают ограждение с радионепроницаемым кожухом и с поглощающим покрытием облучаемых участков. Определяют минимальную толщину листа из алюминиевого сплава, при которой проникающее через кожух излучение по интенсивности не превышает допустимое значение.

Максимальная плотность потока мощности $W_{\text{макс}}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$) рассчитывается по формуле

$$W_{\text{макс}} = \frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot r^2}, \quad (2.49)$$

где P – средняя мощность излучения передатчика, Вт; G – коэффициент усиления антенны; r – расстояние от рабочих мест, м.

Необходимое ослабление радиоволн L_j (Дб) рассчитывается по формуле

$$L_j = 10 \lg \frac{W_{\text{макс}}}{W_{\text{доп}}}, \quad (2.50)$$

где $W_{\text{доп}}$ – предельно допустимая плотность потока энергии, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Толщина металлического листа, обеспечивающего данное ослабление, рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{L_j}{15,4 \cdot \sqrt{f \cdot \mu \cdot \sigma}}, \quad (2.51)$$

где f – частота электромагнитных волн, Гц; μ – магнитная проницаемость вакуума, Гн/м, (табл. 2.26); σ – проводимость экрана, См/м (табл. 2.27).

Таблица 2.27

Магнитная проницаемость и электропроводность некоторых элементов

Элемент	Магнитная проницаемость, Гн/м	Электропроводность, См/м
Железо	0,834200	$1,03 \cdot 10^7$
Медь	0,999912	$5,8 \cdot 10^7$
Алюминий	1,000023	$3,82 \cdot 10^7$
Никель	1,500036	$1,33 \cdot 10^7$

Для обеспечения лучшей эффективности экранирования электромагнитных волн необходимо предусмотреть конструкцию вентиляционного патрубка (для вентиляции во внутриэкранном пространстве). Его изготавливают в сотовой исполнении (рис. 2.1) с числом сот $n=16$.

Поперечные размеры «а» (см) предельных волноводов, обеспечивающих эффективное затухание электромагнитных волн, рассчитываются по формуле

$$a = \frac{\lambda}{3,5} . \quad (2.52)$$

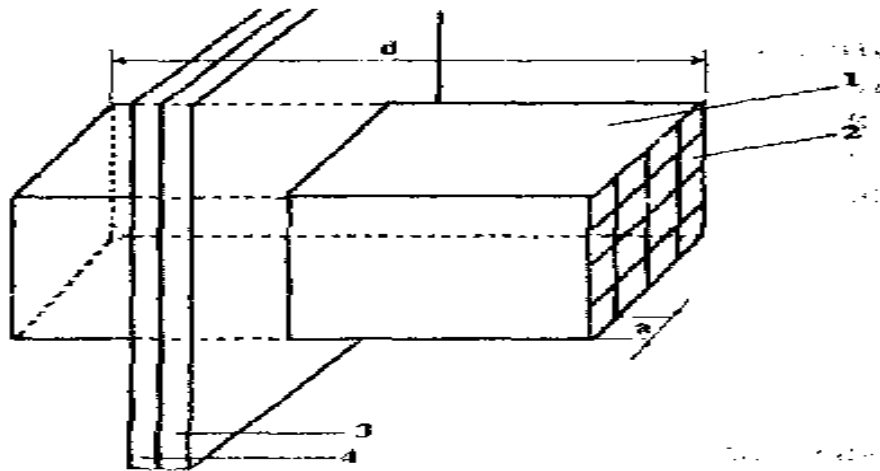


Рис. 2.1. Фрагмент конструкции защитного кожуха с вентиляционным патрубком и поглощающим покрытием:

- 1 - сотовая конструкция вентиляционного патрубка; 2 - одиночный патрубок;
- 3 - поглощающее покрытие ХВ-3 или В2Ф3; 4 - алюминиевый экранирующий лист

Дополнительное ослабление $L_{\text{доп}}$ (дБ), создаваемое сотовой конструкцией по сравнению с одиночной трубкой, можно рассчитать по формуле

$$L_{\text{доп}} = 20 \lg \sqrt{n} . \quad (2.53)$$

Основное ослабление $L_{\text{осн.}}$ (дБ), обеспечиваемое одиночным патрубком, должно быть не менее:

$$L_{\text{осн.}} = L_j - L_{\text{доп.}} \quad (2.54)$$

Величину удельного ослабления электромагнитных волн в одиночном патрубке определяют по формуле

$$\tau = \frac{21,5}{a} \quad (2.55)$$

Искомая длина патрубков квадратичного и прямоугольного сечения определяется по формуле

$$d = \frac{L_{\text{осн.}}}{\tau} \quad (2.56)$$

Минимальное расстояние, на котором не нужно прибегать к экранированию, определяют по формуле

$$r_{\text{мин}} = \sqrt{\frac{P \cdot G}{4 \cdot \pi \cdot W_{\text{макс.}}}} \quad (2.57)$$

Коэффициент усиления антенны находят по формуле

$$G = \frac{K \cdot S_{\text{эфф.ект.}}}{\lambda^2} \quad (2.58)$$

Задание 20

В открытом распределительном устройстве, где расположена аппаратура с напряжением $U = 500$ кВ, питающаяся переменным током промышленной частоты 50 Гц, предстоит плановая работа на ряде участков с повышенной напряженностью электрического поля. Работа будет проводиться без применения защитных средств - экранирующих костюмов, экранов в различных зонах (А,В,С и т.д.).

Определите предельное и фактическое время пребывания в зоне при электромагнитном излучении, если продолжительность работы составляет на участке А, где напряженность электрического поля E_a (кВ/м.), t_{Ea} (мин); на участке Б, где напряженность электрического поля E_b (кВ/м), t_{Eb} (мин); на участке С, где напряженность электрического поля E_c (кВ/м), t_{Ec} (мин.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.28.

Таблица 2.28

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$E_a, \text{кВ/м}$	10	12	8	14	14	16	12	12	10	10
$E_b, \text{кВ/м}$	8	8	6	12	10	10	10	14	10	12
$E_c, \text{кВ/м}$	6	10	4	8	8	12	8	12	8	12
$t_{Ea}, \text{мин}$	60	90	60	120	120	120	60	120	90	60
$t_{Eb}, \text{мин}$	90	30	30	60	120	120	90	90	60	60
$t_{Ec}, \text{мин}$	120	60	30	30	60	60	60	90	90	90

Задание 21

Согласно результатам измерений рабочая частота установки f (Гц), напряженность электрического поля на расстоянии r_j (м) от рабочего индуктора электротермической установки составляет E_1 (В/м). По условиям производства установку нужно оборудовать дисковым питателем для подачи заготовок в зону нагрева индуктора. Требуется определить длину волны излучения λ (м), размер ближней зоны излучателя (индуктора) $\Gamma_{\text{блз}}$, вычислить минимальный диаметр диска, при котором рабочий, устанавливающий заготовку в гнездо на дальней от индуктора стороне диска, оказывается в электрическом поле с напряженностью не более предельно допустимой. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.29.

Таблица 2.29

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$f, \text{Гц}$	250	50	100	300	150	180	160	220	240	80
	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$	$\cdot 10^3$
$r_1, \text{м}$	0,3	0,5	0,8	0,9	1,1	1,4	1,2	0,6	0,4	1,0
$E_1, \text{В/м}$	90	80	70	60	65	75	85	95	80	90
диапазон	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6

Задание 22

Рабочий конденсатор установки диэлектрического нагрева создает вокруг себя электрическое поле, напряжённость которого на рабочем месте на расстоянии от конденсатора $r = 0,3$ м равна E_1 (В/м). Размеры конденсатора: высота h (см), ширина b (см), длина C (см). Определите размеры трубчатого экрана (DxAxВ) для защиты от ЭМИ, при которых напряженность поля не превышает допустимой величины. Высота (А) и ширина (В) трубы-экрана должна быть не менее тройной высоты конденсатора. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.30.

Таблица 2.30

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h (см)	5	4	3	2	2,5	3,5	4,5	5	4	5
b(см)	15	16	14	16	15	16	18	15	14	12
C (см)	40	46	48	50	38	36	38	42	40	46
E _i , В/м.	90	80	70	60	65	75	85	95	80	90
диапазон	5	6	7	8	5	6	7	8	5	6

Задание 23

В лабораторном помещении предполагается смонтировать установку для определения частоты электромагнитных колебаний, которые генерируются проверяемыми передатчиками.

Средняя мощность излучения передатчика P (Вт) в диапазоне длин волн λ (см), частоты электромагнитных волн f (Гц), коэффициент усиления антенны G . В процессе проверки главный максимум излучения может быть длительно направлен на отдельные рабочие места, расположенные на расстоянии r (м) и более. Для защиты персонала в помещении должно быть оборудовано ограждение радионепроницаемым кожухом с поглощающим покрытием облучаемых участков. Необходимо определить минимальную толщину листа из i сплава, при которой проникающее через кожух излучение по интенсивности не превышает допустимое при полной рабочей смене. Вычислите длину квадратного патрубку с квадратными сотами для вентиляции во внутриэкранном пространстве. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.31. В ней приняты следующие обозначения: I – железо, II – медь, III – алюминий, IV – никель.

Таблица 2.31

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P, Вт	40	38	36	42	44	46	40	38	46	36
λ , см	3,0	2,5	3,5	2,6	2,8	3,4	4,0	4,2	1,8	2,2
f, Гц	20 $\cdot 10^3$	50 $\cdot 10^3$	10 $\cdot 10^3$	30 $\cdot 10^3$	15 $\cdot 10^3$	18 $\cdot 10^3$	16 $\cdot 10^3$	22 $\cdot 10^3$	24 $\cdot 10^3$	80 $\cdot 10^3$
G	1000	1100	1200	1150	1250	1000	1100	1200	1150	1250
Элемент	I	II	III	IV	I	II	III	IV	II	III
r (м)	2	3	4	2,5	3,5	4,5	3,8	2,8	4,2	3,6
$W_{\text{доп}}$, мкВт/см ²	25	30	32	28	36	34	35	40	26	28

Задание 24

Вблизи мощного радиопередающего устройства, работающего в непрерывном режиме, необходимо провести работы, связанные с прокладкой силового кабеля. Определите расстояние, на котором не требуется экранирования работающих людей от излучателя электромагнитного поля. В качестве излучателя используется антенна с эффективной площадью $S_{\text{эфф.ект.}}$ (м^2). Мощность передатчика P (Вт); рабочая частота f (Гц). Время выполнения работ принять равным 8 часам. Коэффициент направленного действия антенны $K = 6$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 2.32.

Таблица 2.32

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$S_{\text{эфф.ект.}}$ (м^2)	0,8	1,2	0,9	1,1	1,3	1,4	0,88	1,26	1,32	1,22
P , (Вт)	1500	1200	2200	1400	1350	1600	2000	1800	1950	2100
f (Гц).	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$	$2 \cdot 10^9$
$W_{\text{макс.}}$ (Вт/м)	0,25	0,30	0,32	0,28	0,36	0,34	0,35	0,40	0,26	0,28

3. БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ, РАБОТАЮЩЕГО ПОД ДАВЛЕНИЕМ

При осуществлении различных технологических процессов, проведении ремонтных работ, в быту и т.д. широко распространены различные системы повышенного давления, к которым относится следующее оборудование: трубопроводы, баллоны и емкости для хранения или перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов, паровые и водяные котлы, газгольдеры и др. Основной характеристикой этого оборудования является то, что давление газа или жидкости в нем превышает атмосферное. Это оборудование принято называть сосудами, работающими под давлением. На предприятиях широко используются системы с сосудами, работающими под давлением: газовые и водогрейные котлы, компрессорные установки, автоклавы, паро- и газопроводы, газовые баллоны, цистерны и бочки для транспортировки и хранения. Основное требование к этим сосудам - соблюдение их герметичности на протяжении всего периода эксплуатации. Герметичность – это непроницаемость жидкостями и газами стенок и соединений, ограничивающих внутренние объемы сосудов, работающих под давлением. Любые сосуды, работающие под давлением, всегда представляют собой потенциальную опасность, которая при определенных условиях может трансформироваться в явную форму и повлечь тяжелые последствия. Пропускная способность $G_{\text{н.п}}$ (кг/ч) предохранительного клапана, установленного на паровом котле с рабочим давлением насыщенного пара от 0,07 до 12 МПа, рассчитывается по формуле

$$G_{\text{н.п.}} = 0,5 \cdot \alpha \cdot F \cdot (10 P_1 + 1), \text{ кг/ч}, \quad (3.1)$$

где α – безразмерный коэффициент расхода пара через клапаны, принимаемый равным 0,9 величины, установленной заводом-изготовителем клапана; F – площадь проходного сечения клапана в проточной части, мм; P_1 – максимальное избыточное давление пара перед клапаном, МПа.

Изменение температуры газа при его сжатии рассчитывается по формуле

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}}, \text{ К}, \quad (3.2)$$

где T_1 , T_2 – абсолютная температура газа до и после сжатия, °К; P_1 , P_2 – абсолютное давление газа до и после сжатия, Па; m – показатель политропы, величина которого изменяется в пределах 1... 1,41.

Задание 1

Определите число предохранительных пружинных клапанов n с диаметром проходного отверстия d мм, которые необходимо установить на котле производительностью G (кг/ч) насыщенного пара, работающего с максимальным давлением P_1 (МПа). Коэффициент расхода пара для клапана равен α . Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
d , мм	20	25	30	35	40	20	25	30	35	40
P_1 , МПа	1,4	1,6	0,5	0,6	1,5	1,2	1,4	0,8	1,6	1,4
G , кг/ч	4200	5000	3500	7000	6000	4000	3800	5400	5200	4600
α	0,60	0,65	0,70	0,65	0,50	0,55	0,60	0,65	0,55	0,70

Задание 2

Определите, соответствует ли пропускная способность двух предохранительных клапанов производительности парового котла G (т/ч). Каждый клапан имеет диаметр проходного отверстия d (мм). Максимальное давление насыщенного пара в котле P_1 (МПа), коэффициент расхода пара клапана равен α . Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G , т/ч	7,3	4,0	3,0	4,1	4,5					
P_1 , МПа	0,8	0,6	1,4	1,0	1,2	1,6	1,45	1,25	0,85	1,2
d , мм	30	35	20	30	25	32	34	26	28	24
α	0,65	0,60	0,55	0,55	0,60	0,65	0,60	0,55	0,55	0,60

Задание 3

Рассчитайте, какую температуру (C°) будет иметь воздух при сжатии в компрессоре до давления P_2 (МПа), если его начальная температура t (C°), а начальное давление равно атмосферному (0,1 МПа). Показатель политропы принять равным m . Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_2 , МПа	1,0	2,2	3,2	4,0	5,2	2,4	2,0	3,0	4,4	4,6
t , C°	20	25	30	35	40	22	26	32	34	28
m	1,35	1,2	1,3	1,25	1,4	1,26	1,36	1,38	1,4	1,28

Задача 4

Рассчитайте, во сколько раз возрастает давление в заполненном сжатым воздухом баллоне, если под влиянием солнечной инсоляции его температура возрастает от t_1 до t_2 (C°). Показатель политропы принять равным 1,4. Исходные данные для расчета приведены в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_1 , C	+10	+15	0	+20	+18	+22	+24	+16	+14	+12
t_2 , C	+25	+35	+20	+50	+45	+40	+46	+38	+50	+44

4. ВОПРОСЫ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Охрана труда – система сохранения жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия. Эффективный и безопасный труд возможен только в том случае, если производственные условия на рабочем месте отвечают всем требованиям международных стандартов в области охраны труда. Создание здоровых и безопасных условий труда на предприятиях обуславливает необходимость достаточной подготовки в этой области инженерно-технических работников. Выпускник вуза должен быть хорошо подготовлен к решению разнообразных задач охраны труда на производстве, владеть методами организации безопасных условий труда, соответствующих условиям общества.

Нарушения правил техники безопасности и производственных инструкций обслуживающим персоналом могут быть причиной травм и профессиональных заболеваний.

4.1. Профилактика травматизма

Под производственным травматизмом следует понимать внезапное или медленное систематическое воздействия производственной среды на человека, вызвавшее нарушение нормального функционирования человеческого организма. Анализ причин несчастных случаев на производстве проводят с целью выработки мероприятий по их устранению и предупреждению.

Статистический метод анализа основан на изучении количественных показателей данных отчетов о несчастных случаях на предприятиях и в организациях [3]. Обычно рассчитываются коэффициенты частоты травматизма $K_{\text{ч}}$, тяжести травматизма $K_{\text{т}}$, производственных потерь $K_{\text{п.п.}}$, которые сравниваются за некоторые периоды времени.

Показатель частоты несчастных случаев, т.е. их число, приходящиеся на 1000 работающих на предприятии в течение года по среднесписочному составу, рассчитывается по формуле

$$K_{\text{ч}} = \frac{H \cdot 1000}{P}, \quad (4.1)$$

где H – число несчастных случаев с потерей трудоспособности на 1 день и более, произошедших в течение года; P – среднесписочный состав работающих на предприятии (бригаде, цехе и т.д.).

Показатель тяжести несчастных случаев, т.е. среднее число дней нетрудоспособности, приходящихся на один несчастный случай по предприятию (бригаде, цеху) в течение года, рассчитывается по формуле

$$K_T = \frac{D}{H}, \quad (4.2)$$

где D – суммарное число дней нетрудоспособности из-за несчастных случаев на предприятии в течение года.

Показатель производственных потерь (потери трудоспособности), обусловленной травматизмом, т.е. число дней нетрудоспособности из-за травматизма, приходящееся на 1000 работающих на предприятии в течение года, рассчитывается по формуле

$$K_{п.п.} = K_{ч.} \cdot K_T = \frac{D \cdot 1000}{P}. \quad (4.3)$$

Также важно определять численность работников служб охраны труда на предприятии, которая рассчитывается по формуле

$$M = 2,4 + \frac{P \cdot K_B}{\Phi}, \quad (4.4)$$

где Φ – эффективный годовой фонд рабочего времени специалиста по охране труда, который равен 1820 часам, что учитывает потери рабочего времени на возможные заболевания, отпуск и др.; K_B – коэффициент, учитывающий вредность и опасность производства:

$$K_B = 1 + \frac{P_B + P_a}{p}, \quad (4.5)$$

где P_B – численность работающих с вредными веществами, независимо от уровня их концентрации; P_a – численность работающих на работах повышенной опасности. Для оборудования кабинета охраны труда в соответствии со [2] должно быть выделено специальное помещение, площадь которого определяется по табл. 4.1 [3]

Таблица 4.1

Площадь помещений службы охраны труда

Списочная численность работников, чел	до 1000	1001 - 3000	3001 - 5000	5001 - 10000	10001 - 20000	Свыше 20000
Площадь помещений службы охраны труда, м ²	24	48	72	100	150	200

Расчёт численности работников службы охраны труда производим по формуле

$$M = 2,4 + \frac{P_{150} \cdot K_3}{\Phi}, \quad (4.6)$$

где M – численный состав службы охраны; P_{150} – количество предприятий в объединении, которые имеют более 150 работающих; K_3 – коэффициент, учитывающий количество предприятий, имеющих вредные и опасные производства.

Задание 1

Рассчитайте значения показателей частоты и тяжести несчастных случаев на предприятии (в цехе, бригаде), среднесписочный состав работающих на котором равен P человек, в течение года произошло H несчастных случаев с общим числом D дней нетрудоспособности. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , человек	8	35	188	306	820	520	460	380	56	120
H , случаев	1	2	2	3	5	5	6	4	2	2
D , дней	32	21	47	68	136	34	26	47	68	136

Задание 2

Рассчитайте показатели нетрудоспособности на предприятии (в цехе, бригаде), среднесписочный состав работающих на котором равен P человек, в течение года общее число дней нетрудоспособности составило D . Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , человек	12	41	210	406	1003	800	620	45	184	788
D , дней	26	45	52	98	185	26	45	52	98	185

Задание 3

Рассчитайте показатель нетрудоспособности на предприятии (в производственном объединении), если показатель частоты несчастных случаев

$K_{ч}$, в течение года произошло H несчастных случаев с общим количеством D дней нетрудоспособности. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{ч}$	12,3	5,3	10,1	28,2	32,1	11,8	10,4	30,2	26,1	22,6
H , случаев	6	16	18	8	21	10	20	34	12	14
D , дней	189	853	1020	287	524	300	460	220	348	510

Задание 4

Рассчитайте показатель тяжести случаев для предприятия (производственного объединения) со среднесписочным числом работающих P человек, на котором в течение года произошло H несчастных случаев, а показатель нетрудоспособности равен $K_{н}$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , человек	312	589	860	1560	3283	1248	2346	2680	3146	2854
H , случаев	7	12	28	41	86	24	32	14	18	32
$K_{н}$	890	1100	690	756	126	860	1100	640	726	226

Задание 5

Определите, на каком производственном объединении работа по профилактике травматизма за последние 5 лет была организована лучше. В первом объединении среднесписочный состав в течение пятилетки был равен P_1 человек, произошло H_1 несчастных случаев с общим числом D_1 дней нетрудоспособности, а для второго объединения эти показатели соответственно равны P_2 , H_2 и D_2 . Оценку провести на основе сопоставления среднегодового значения показателя несчастных случаев за пятилетку. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_1 , человек	1302	1618	1863	2876	3267	1420	1580	3104	2534	3004
H_1 , случаев	80	60	50	40	75	60	42	34	68	72
D_1 , дней	1760	1590	1460	920	2300	1236	1580	1362	840	704

P_2 , человек	2606	1180	3400	2822	5631	3345	1289	1665	2231	1458
H_2 , случаев	80	35	60	40	160	28	34	26	29	18
D_2 , дней	3520	1225	2280	880	4160	4090	2534	2789	1309	4365

Задание 6

В результате несчастных случаев на предприятии на больничном листе в течение года было 3 человека, один из которых проболел D_1 рабочих дней, другой – D_2 , а третий – D_3 . Найдите коэффициент частоты $K_{\text{ч}}$ и тяжести $K_{\text{т}}$ несчастных случаев, если на предприятии занято P человек? Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.7.

Таблица 4.7

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , человек	100	300	150	120	180	120	268	312	170	256
D_1 , дней	7	5	14	12	10	5	15	21	20	8
D_2 , дней	20	10	30	21	45	22	12	18	16	24
D_3 , дней	10	15	20	15	7	6	8	13	10	9

Задание 7

Средний за 5 лет коэффициент частоты несчастных случаев на предприятии равен $K_{\text{ч}}$, а коэффициент тяжести – $K_{\text{т}}$. Сколько человеко-дней D вероятнее всего будет потеряно по этой причине в текущем году, если на предприятии работает P человек? Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.8.

Таблица 4.8

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$K_{\text{ч}}$	16	5	10	28	32	14	21	25	30	22
$K_{\text{т}}$	5	8	3	10	6	2	4	3	4	6
P , человек	400	100	250	500	300	25	360	440	280	344

Задание 8

Оцените количественный уровень травматизма за год на предприятии со среднесписочным количеством человек p . Число несчастных случаев за год составляет n . Число дней нетрудоспособности по закрытым больничным листам учтённых несчастных случаев составляет D дней. Рассчитайте коэффициент производственных потерь, численность работников служб охраны труда на предприятии, площадь помещений службы охраны труда на предприятии (организации) и численность работников службы охраны труда объединения предприятий. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.9.

Таблица 4.9

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P	1200	1800	2400	120	380	880	900	560	680	740
n	15	10	14	8	12	18	12	16	8	14
D	120	140	148	152	158	148	166	162	40	88
P _в	300	380	400	10	22	36	48	26	28	32
P _а	200	254	34	4	12	14	16	10	14	18
P ₁₅₀	12	16	18	22	34	16	14	19	20	24
K _з	7	7	6	8	10	5	6	6	7	8

4.2. Ассигнования на охрану труда

Динамика общих ассигнований D_0 на охрану труда рассчитывается по формуле

$$D_0 = \frac{O_2}{O_1} \cdot 100\% . \quad (4.7)$$

Динамика запланированных и фактических расходов D определяется как частные от деления соответствующих расходов по годам на среднесписочную численность работающих и выражается в % к базовому году.

$$D_1 = \frac{O_1}{P_1} \cdot 100\% ; \quad (4.8)$$

$$D_2 = \frac{O_2}{P_2} \cdot 100\% ; \quad (4.9)$$

$$D = \frac{D_2}{D_1} \cdot 100\% . \quad (4.10)$$

Сокращение численности работающих в условиях, не соответствующих требованиям охраны труда, рассчитывается по формуле

$$P_{нв} = \frac{P_{HV1} - P_{HV2}}{0,01P} , \quad (4.11)$$

где P_{HV_1}, P_{HV_2} – соответственно число работающих в условиях, не соответствующих требованиям охраны труда до и после реализации ассигнований на охрану труда, чел.; P – среднесписочная численность работающих.

Приведенные затраты на охрану труда в базовом и планируемом периоде рассчитываются по формуле

$$Z_{пр} = \mathcal{E} + E \cdot K, \text{ руб.}, \quad (4.12)$$

где \mathcal{E} – годовые эксплуатационные расходы на охрану труда; E – коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (величина обратная сроку окупаемости). Для решения задач срок окупаемости – 5 лет, E соответственно равен 0,2.

Задание 9

Оцените: 1) динамику D_o (%) общих ассигнований O (руб.) на охрану труда на предприятии; 2) динамику D запланированных и фактических расходов по годам; 3) сокращение численности работающих в условиях, не соответствующих требованиям охраны труда $P_{ну}$ (чел.). Рассчитайте приведенные затраты $Z_{пр}$ на охрану труда в базовом и планируемом периодах (за базовый принимать предыдущий год). Капитальные вложения – K (руб.), среднесписочная численность работающих – P (чел.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.10.

Таблица 4.10

Исходные данные

Показатели	Варианты									
	1		2		3		4		5	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012	2011	2012
O (руб.)	1685	1792,6	24 70	2490	1620	1680	1760	1820	2540	2574
K (руб.)	1482	1644,5	1294	1273	1400	1430	2300	2250	2160	2160
P (чел.)	480	500	595	600	100	104	275	272	235	232
$P_{ну}$ (чел.)	122	118	180	162	117	112	177	160	125	108

4.3. Оценка ущерба и затрат предприятия

Ущерб от травматизма Y_T для предприятия рассчитывается по формуле

$$Y_T = D_T \cdot (K_{доп} \cdot 3 + B), \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

где $K_{\text{доп}}$ – коэффициент, учитывающий влияние на общий фонд зарплаты выплат по листкам нетрудоспособности, пенсий, доплат к ним и т.п.

Ущерб от заболеваемости рассчитывается по формулам

производственно-обусловленной:

$$Y_{\text{поз}} = D_3 \cdot \beta \cdot (З + В), \text{ руб.}; \quad (4.14)$$

профессиональной:

$$Y_{\text{пз}} = \Sigma P_{\text{пз}} \cdot Y_{\text{э}}, \text{ руб.}, \quad (4.15)$$

где $P_{\text{пз}}$ – число выявленных с профессиональным заболеванием определенного нозологического вида, чел.; $Y_{\text{э}}$ – удельный экономический ущерб, наносимый соответствующим видом заболевания, руб.

Затраты вследствие выплат по повышенной тарифной ставке по условиям труда рассчитываются следующим образом.

Определяется средневзвешенное превышение тарифной ставки на предприятии, обусловленное доплатами за условия труда:

$$T_T = \frac{P + P_T \cdot (1 - 0,01 T_T)}{P}. \quad (4.16)$$

Затраты вследствие выплат по повышенной тарифной ставке рассчитываются по формуле

$$P_{\text{ТС}} = \frac{\Phi \cdot (T_T - 1)}{T_T}, \text{ руб.}, \quad (4.17)$$

где P_T – число работающих с оплатой труда по повышенной тарифной ставке, чел.; T_T – среднее значение превышения тарифной ставки для работающих в неблагоприятных условиях, %.

Годовые экономические потери предприятия вследствие указанных выше причин рассчитываются по формуле

$$P_T = \Sigma (Y + З), \text{ руб.} \quad (4.18)$$

Сопоставление годовых экономических потерь предприятия из-за неблагоприятных условий труда осуществляется с помощью формул

со стоимостью выпускаемой продукции:

$$\Pi_c = \Pi_r / 0,01C_{\text{гп}}, \% ; \quad (4.19)$$

с ассигнованиями на охрану труда:

$$\Pi_a = \Pi_r / 0,01 A_o, \% . \quad (4.20)$$

Задание 10

Определите ущерб Y_T (руб.) из-за выплат по листкам нетрудоспособности и невыработки продукции вследствие травматизма предприятиями №1 и №2. Для предприятия №1 потери рабочих дней составили D_T , среднедневная зарплата одного работника Z (руб.), среднедневная выработка B (руб.), а для предприятия №2 – соответственно D_{T1} (дней), Z_1 и B_1 (руб.). При расчетах принять величину коэффициента, учитывающего влияние выплат по листкам нетрудоспособности, пенсий, доплат к ним и т.п., на общий фонд зарплаты $K_{\text{доп}} = 1,5$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.11.

Таблица 4.11

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
D_T , человеко-дней	66	54	77	62	56
Z , руб.	945	956	971	856	949
B , руб	4526	4613	4720	4682	4578
D_{T1} , человеко-дней	89	86	87	84	76
Z_1 , руб.	1100	1200	1505	1536	1518
B_1 , руб.	5284	5891	5760	6082	5993

Задание 11

Определите ущерб, понесенный предприятием: а) из-за выплат по листкам нетрудоспособности и невыработки продукции вследствие производственно-обусловленной заболеваемости $Y_{\text{поз}}$ (руб.); б) из-за профессиональной заболеваемости $Y_{\text{пз}}$ (руб.). Для предприятия потери рабочего времени из-за общей заболеваемости при среднесписочной численности работающих Π (чел.) составили D_3 (дн.). Коэффициент потерь рабочего времени вследствие заболеваемости, обусловленной производственными условиями, равен β . Среднедневная зарплата Z (руб.) и среднесменная выработка одного рабочего B (руб.). На предприятии в течение года было выявлено $\Pi_{\text{пз}} = 3$ чел., имеющих профзаболевания, из которых двое с заболеванием опорно-двигательного аппарата и один с пылевым бронхитом. Удельный экономический ущерб Y_3 (руб.) каждого случая указанных профзаболеваний

соответственно равен 30 и 40 тыс руб. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.12.

Таблица 4.12

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
П, человек	3550	3490	3540	3520	3536
Дз, человеко-дней	58880	61624	60720	59 580	60040
β	0,11	0,12	0,10	0,13	0,09
З, руб.	958	1564	983	990	1120
В, руб.	6502	6381	6905	5990	6103

Задание 12

Определите потери $\Pi_{тс}$ (руб.) предприятия, связанные с оплатой труда по повышенной тарифной ставке работающим в тяжелых и вредных условиях. В этих условиях работает P_t человек, при общей численности работающих P человек. Среднее значение повышения тарифной ставки для работающих в неблагоприятных условиях T_t , а годовой фонд зарплаты фабрики Φ (руб.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.13.

Таблица 4.13

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
P_t , человек	468	474	480	392	581
T_t , %	7,9	10,1	8,2	6,3	12,0
Φ , тыс.руб.	111560000	111390000	111400000	1113 65000	1114 67000
P , человек	1280	1310	1600	1840	1292

Задание 13

Определите годовые экономические потери Π_g (руб.) предприятия с годовым выпуском продукции стоимостью $C_{гп}$ (руб.) из-за недостаточной эффективности внедренных мер охраны труда, следствием чего в себестоимость продукции включаются выплаты по листкам нетрудоспособности и ущерб от невыработки продукции из-за травматизма $У_t$ (руб.), производственно-обусловленной заболеваемости $У_{поз}$ (руб.) и профзаболеваемости $У_{пз}$ (руб.), выплаты по повышенной тарифной ставке работающим в тяжелых и опасных условиях труда $З_{тс}$ (руб.), затраты на лечение заболевших работников $З_l$ (руб.) и на санаторно-курортное лечение $З_{ск}$ (руб.). Годовые экономические потери сопоставить со стоимостью выпускаемой

продукции и с ассигнованиями на охрану труда A_0 . Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.14.

Таблица 4.14

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Y_T , руб.	59200	52380	64532	45680	62490
$Y_{\text{поз}}$, руб.	490200	410200	430500	566020	580400
$Y_{\text{пз}}$, руб.	36900	44400	50000	51600	48960
$Z_{\text{тс}}$, руб.	37000	41000	40000	41800	42100
$Z_{\text{л}}$, руб.	42400	44600	56000	48200	52100
$Z_{\text{ск}}$, руб.	102000	108400	110000	116000	112100
A_0 , руб.	116000	118600	120000	121900	122000
$C_{\text{тп}}$, тыс.руб.	22241300	33342400	34345200	23444500	21446600

4.4. Расчет экономического эффекта улучшения условий труда на предприятии

Экономические последствия изменения уровня травматизма рассчитываются по формуле

$$Y_T = D_1 \cdot (pZ_2 + \gamma B_2) \cdot (1 - K_{H2}/K_{H1}), \text{ руб.}, \quad (4.21)$$

где D_1 – число дней нетрудоспособности в течение года, предшествующего определяемому; Z_2 , B_2 – соответственно среднедневная зарплата и выработка одного работающего в определяемом году; p, γ – коэффициенты, учитывающие соответственно прочие потери от несчастных случаев и потери предприятия за один день нетрудоспособности в зависимости от **сменной** выработки; K_{H1} , K_{H2} – коэффициенты потери нетрудоспособности из-за травматизма соответственно в предшествующем и определяемом году.

$$K_H = 1000 \cdot D/P, \text{ дн.} \quad (4.22)$$

Положительное значение Y_T свидетельствует о снижении ущерба от травматизма в рассматриваемом году по сравнению с предшествующим годом, а отрицательное – о возрастании этого ущерба.

Экономические последствия изменения уровня производственно обусловленной заболеваемости рассчитываются по формуле

$$E_{\text{поз}} = D_3 \cdot \beta \cdot (Z_2 + B_2) \cdot (1 - K_{32}/K_{31}), \text{ руб.}, \quad (4.23)$$

где D_3 – число дней нетрудоспособности из-за общей заболеваемости в течение года, предшествующего определяемому; B – коэффициент потерь рабочего времени из-за заболеваемости по условиям труда; K_{31} , K_{32} – коэффициенты нетрудоспособности по общей заболеваемости соответственно в предшествующем и определяемом году.

$$K_3 = 100D/P, \text{ дн.} \quad (4.24)$$

Годовую экономию от снижения заболеваемости рассчитывают по формулам

производственно-обусловленной

$$\mathcal{E}_{\text{поз}} = \beta \cdot (D_{31} - D_{32}) \cdot \Phi_2 / T_2, \text{ руб. ;} \quad (4.25)$$

профессиональной

$$\mathcal{E}_{\text{пз}} = \Sigma P_{\text{пз}} \cdot Y_3, \text{ руб.,} \quad (4.26)$$

где D_{31} , D_{32} – число дней нетрудоспособности из-за общей заболеваемости в определяемом и предшествующем году; Φ_2 – годовой фонд зарплаты в определяемом году, руб.; T_2 – число отработанных дней в определяемом году, человеко-дней; $P_{\text{пз}}$ – число выявленных с профессиональными заболеваниями определенного нозологического вида, чел.; Y_3 – удельный экономический ущерб, наносимый соответствующим видом заболевания, руб.

Удельное значение годовой экономии от снижения производственно-обусловленной заболеваемости $\mathcal{E}_{\text{поз}}$ в годовом фонде зарплаты рассчитывается по формуле

$$n_{3\text{п}} = \frac{100 \cdot \mathcal{E}_{\text{поз}}}{\Phi_2}, \text{ \%} . \quad (4.27)$$

Удельное сокращение численности работающих P_y в неблагоприятных условиях при внедрении мер профилактики профессиональных заболеваний рассчитывается по формуле

$$P_y = \frac{100 \cdot \Sigma P_{\text{пз}}}{P_H}, \text{ \%}, \quad (4.28)$$

где P_H – численность работающих в неблагоприятных условиях, чел.;

$P_{\text{пз}}$ – число предупрежденных случаев профессиональных заболеваний.

Годовая экономия фонда зарплаты рассчитывается по формуле
при частичной отмене сокращенного рабочего дня

$$\mathcal{E}_{\text{д}} = \mathcal{Z}_{\text{сч}} \cdot (T_{\text{д}} / P) \cdot (P_{\text{см1}} - P_{\text{см2}}), \text{ руб.}, \quad (4.29)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{сч}}$ – среднечасовая зарплата одного работающего, руб.; $T_{\text{д}}$ – число дней, отработанных в течение года, человеко-дней; $P_{\text{см1}}, P_{\text{см2}}$ – число работающих с сокращенной рабочей сменой соответственно в предшествующем и определяемом году, чел.; $\mathcal{Z}_{\text{сч}} = \Phi / T_{\text{ч}}$, руб., где $T_{\text{ч}}$ – число отработанных в течение года часов, человеко-часы.

Годовая экономия $\mathcal{E}_{\text{тк}}$ от снижения текучести кадров по условиям труда рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{тк}} = P_{\text{с1}} \cdot p_2 \cdot V \cdot (1 - K_{\text{к2}} / K_{\text{к1}}), \text{ руб.}, \quad (4.30)$$

где $P_{\text{с1}}$ – число уволившихся по собственному желанию до внедрения мер охраны труда, чел.; p_2 – коэффициент текучести кадров по условиям труда после внедрения мер; V – годовая выработка одного работающего после внедрения мер, руб.; $K_{\text{к1}}, K_{\text{к2}}$ – коэффициенты текучести кадров до и после внедрения мер, %.

Экономия фонда зарплаты за счет отмены выплат по повышенной тарифной ставке рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{тс}} = P_{\text{тс}} - \frac{\Phi \cdot (T_{\text{ст}} - 1)}{T_{\text{тс}}}, \text{ руб.}, \quad (4.31)$$

где $P_{\text{тс}}$ – выплаты по повышенной тарифной ставке до сокращения числа работающих в тяжелых и вредных условиях, руб.; Φ – фонд заработной платы, руб.; $T_{\text{тс}}$ – средневзвешенное значение повышенной тарифной ставки, (рассчитывается по формуле).

Годовой прирост продукции за счет увеличения производительности труда при внедрении мер охраны труда рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{п}} = 0,01 \cdot V_2 \cdot \Sigma (P \cdot \Pi), \text{ руб.}, \quad (4.32)$$

где V_2 – среднегодовая выработка одного работающего после внедрения мер охраны труда, руб; P – число работающих с улучшенными условиями труда по рассматриваемому производственному вредному фактору, чел.; Π – повышение производительности по соответствующему фактору после внедрения мер охраны труда, %.

Общая годовая экономия на предприятии от внедрения комплекса мер охраны труда рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_o = \Sigma \mathcal{E}, \text{ руб.}, \quad (4.33)$$

где \mathcal{E} – годовая экономия от каждой из рассмотренных выше мер, руб.

Годовой экономический эффект от внедрения комплекса мер охраны труда рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{г}} = \mathcal{E}_o - P_{\text{т}} - E_{\text{н}} \cdot K, \text{ руб.}, \quad (4.34)$$

где \mathcal{E}_o – общая годовая экономия на предприятии от внедрения комплекса мер охраны труда, руб.; $P_{\text{т}}$ – годовые текущие (эксплуатационные) расходы на охрану труда, руб.; $E_{\text{н}}$ – коэффициент экономической эффективности капиталовложений в охрану труда; K – капитальные вложения в охрану труда, руб.

Задание 14

Оцените годовую экономию $\mathcal{E}_{\text{пз}}$ (руб.) за счет снижения профессиональной заболеваемости в результате внедрения на заводе железобетонных изделий в предшествующие годы автоматизации, ликвидировавшей ежегодно выявляемые $P_{\text{од}}$ случаев заболевания опорно-двигательного аппарата, а также дистанционного управления, устранившего $P_{\text{вб}}$ случаев заболевания виброболезнью и $P_{\text{пб}}$ случаев заболевания пылевым бронхитом. Удельный экономический ущерб $Y_{\text{с}}$ (руб.) от указанных профессиональных заболеваний соответственно $Y_{\text{эод}}$, $Y_{\text{эвб}}$ и $Y_{\text{эпб}}$ (тыс руб.). Среднесписочная численность работающих P человек, из которых $P_{\text{н}}$ человек работают в условиях, не соответствующих требованиям охраны труда. Определите удельное сокращение численности работающих $P_{\text{у}}$ (%) в неблагоприятных условиях за счет указанных профилактических мер. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.15.

Таблица 4.15

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
$P_{\text{од}}$, случаев	2	4	3	1	5
$P_{\text{вб}}$, случаев	1	2	2	1	2
$P_{\text{пб}}$, случаев	4	6	5	4	3
$Y_{\text{эод}}$, тыс.руб	9	8	10	9	11
$Y_{\text{эвб}}$, тыс.руб	10	11	10,5	12	10
$Y_{\text{эпб}}$, тыс.руб	28	29	30	28	31
P , человек	520	430	460	420	480
$P_{\text{н}}$, человек	210	220	240	230	225

Задание 15

Определите годовую экономию за счет уменьшения выплат по листкам нетрудоспособности и объема недовыработанной продукции от снижения производственно-обусловленной заболеваемости $\mathcal{E}_{\text{поз}}$ (руб) в результате внедрения комплекса профилактических мероприятий. До внедрения из-за общей заболеваемости было потеряно $D_{3.1}$ человеко-дней при среднесписочном составе работающих P_1 человек и коэффициента потерь рабочего времени из-за заболеваемости по условиям труда β . После реализации профилактического комплекса эти показатели соответственно были $D_{3.2}$ (человеко-дней), P_2 человек. Среднедневная зарплата одного работающего Z (руб.), а среднесменная выработка – B (руб.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
$D_{3.1}$, чел.-дней	960	10 10	1000	1020	890
P_1 , чел.	64	76	72	70	68
β	0,20	0,22	0,25	0,26	0,23
$D_{3.2}$, чел.-дней	285	296	330	316	311
P_2 , чел.	69	79	75	73	71
Z , руб.	1300	1318	1325	1280	1299
B , руб.	15960	16190	16980	16300	16540

Задание 16

Для предприятия со среднесписочным составом работающих P человек определите: а) годовую экономию $\mathcal{E}_{\text{поз}}$ (руб.) от уменьшения затрат по листкам временной нетрудоспособности вследствие снижения производственно-обусловленной заболеваемости; б) какую часть n (%) годового фонда зарплаты составляет полученная экономия. Потери рабочего времени по общей заболеваемости D_1 и D_2 человеко-дней при числе отработанных T_d человеко-дней и годовом фонде зарплаты Φ (руб.). Коэффициент потерь рабочего времени из-за заболеваемости по условиям труда β . Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.17.

Таблица 4.17

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
P , человек	2080	2110	2150	2238	2010
D_1 , чел.-дней	28900	30600	31000	32100	29950
D_2 , чел.-дней	27860	29580	30000	31090	27995
T_d , чел.-дней	321060	319000	395000	336100	338600
Φ , руб.	416900000	317300000	417500000	318100000	317950000
β	0,22	0,23	0,25	0,24	0,25

Задание 17

Определите изменение ущерба $У_T$ (руб.) от травматизма на предприятии в 2012 году с числом работающих P_2 человек по сравнению с 2011 годом, когда число работающих было P_1 человек. На предприятии в указанные годы из-за несчастных случаев потеряно соответственно D_1 и D_2 рабочих дней. Среднедневная зарплата в 2012 г одного рабочего Z (руб.), среднесменная выработка B (руб.), коэффициент, учитывающий сопутствующие несчастным случаям прочие материальные потери, $p=1$, а учитывающий потери за один день нетрудоспособности в зависимости от выработки γ . Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.18.

Таблица 4.18

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
P_1 , чел.	260	265	270	280	275
P_2 , чел.	242	246	250	259	252
D_1 , чел.-дней	122	128	136	134	127
D_2 , чел.-дней	46	42	50	54	43
Z , руб.	1120,8	1290	1350	1330	1310
B ,руб	14 200	15206	15000	15200	15500
γ	0,5	0,4	0,5	0,4	0,3

Задание 18

Рассчитайте экономию $\mathcal{E}_{сд}$ (руб.) годового фонда зарплаты Φ (руб.) на заводе железобетонных изделий в связи с частичной отменой сокращенного рабочего дня по условиям труда. Вследствие внедрения мер охраны труда число работающих с сокращенной на 1 час рабочей сменой $P_{см1}$ человек уменьшилось до $P_{см2}$ человек при среднесписочном составе работающих P человек. В течение года было отработано T_d человеко-дней, что составило $T_ч$ человеко-часов. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.19.

Таблица 4.19

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Φ , тыс.руб	370050000	3950450456	388566908	406046285	412090807
$P_{см1}$, человек	12	14	16	14	12
$P_{см2}$, человек	1	3	2	1	3
T_d , чел.-дней	62900	65200	66800	64400	66100
$T_ч$, чел.-часов	440300	456400	534480	450800	462700
P , человек	280	290	310	300	295

Задание 19

Какая годовая экономия $\mathcal{E}_{\text{тк}}$ (руб.) получена на предприятии за счет снижения текучести кадров из-за неблагоприятных условий труда. До внедрения мер охраны труда по собственному желанию уволилось Пс_1 человек, чему соответствовал коэффициент текучести кадров по условиям труда K_1 (%), а коэффициент текучести кадров по условиям труда p_1 . После внедрения мер каких? величины этих коэффициентов соответственно составили K_2 и p_2 . Годовая выработка одного работающего V (руб.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.20.

Таблица 4.20

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Пс_1 человек	320	340	350	336	328
K_1 %	26,7	25,6	26,1	24,8	26,4
p_1	0,055	0,06	0,055	0,06	0,055
K_2 %	21	22	21	24	20
p_2	0,040	0,035	0,040	0,030	0,035
V руб.	182400	190000	186000	187300	192000

Задание 20

Оцените экономию $\mathcal{E}_{\text{тс}}$ (руб.) фонда зарплаты Φ (руб.), которую могло бы получить предприятие при внедрении комплекса мер охраны труда, сопровождающегося частичной отменой выплат по повышенной тарифной ставке работающим в тяжелых и вредных условиях труда. В результате этого при среднесписочной численности P (чел.) число работающих в указанных условиях сократилось бы до $P_{\text{т1}}$ человек при сохранении прежнего среднего уровня значения превышения тарифной ставки $T_{\text{т}}$ (%) за работу в неблагоприятных условиях. При числе работающих $P_{\text{т}}$, пользующихся указанной компенсацией по условиям труда, выплаты по повышенной тарифной ставке равны $\text{П}_{\text{тс}}$ (руб.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.21.

Таблица 4.21

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
Φ , тыс.руб.	11986	12300	13800	13100	12300
P , человек	1100	1260	1300	1380	1500
$P_{\text{т}}$, человек	96	104	110	100	156
$T_{\text{т}}$, %	8,2	8,4	8,0	7,8	5,9

П _{тс} , руб	365000	386400	400000	408600	398100
-----------------------	--------	--------	--------	--------	--------

Задание 21

Определите годовой прирост $\mathcal{E}_п$ (руб.) продукции, обусловленный повышением производительности труда на мелькомбинате за счет внедрения мероприятий по борьбе с шумом и рационального освещения. Меры по борьбе с шумом улучшили условия труда $P_{ш}$ (чел.) с повышением его производительности в среднем на $\Pi_{ш}$ (чел.) и Π_0 (%). Средняя годовая выработка одного работающего V (руб.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.22.

Таблица 4.22

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
$P_{ш}$, человек	68	73	75	78	65
$\Pi_{ш}$, %	5	7	6	8	4
P_0 , человек	48	72	50	54	41
Π_0 , %	10	15	12	13	11
V , руб.	468000	499100	500000	560000	521500

Задание 22

Определите общую годовую экономию предприятия \mathcal{E}_0 (руб.) за счет внедрения комплекса мер охраны труда, сопровождающегося экономией от снижения травматизма $\mathcal{E}_т$ (руб.), производственно обусловленной заболеваемости $\mathcal{E}_{поз}$ (руб.), профессиональной заболеваемости $\mathcal{E}_{пз}$ (руб.), сокращение расходов на льготы и компенсации по условиям труда, в том числе за счет экономии на выплату за сокращенный рабочий день $\mathcal{E}_{сд}$ (руб.), представление дополнительного отпуска $\mathcal{E}_{до}$ (руб.), от снижения текучести кадров $\mathcal{E}_{тк}$ (руб.), частичной отмены выплат по повышенной тарифной ставке по условиям труда $\mathcal{E}_{тс}$ (руб.), а также повышения производительности труда $\mathcal{E}_п$ (руб.). Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.23.

Таблица 4.23

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
$\mathcal{E}_т$, руб.	16000	17200	18000	18600	19100
$\mathcal{E}_{поз}$, руб.	98500	96400	100000	101800	110000
$\mathcal{E}_{сд}$, руб.	116400	118600	120000	117100	115400
$\mathcal{E}_{до}$, руб.	68200	61900	65000	64750	66090
$\mathcal{E}_{тк}$, руб.	152900	148700	150000	144300	149100
$\mathcal{E}_{тс}$, руб.	251700	247900	250000	245100	248300
$\mathcal{E}_п$, руб.	308400	299200	305000	311100	306700

Задание 23

Рассчитайте годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{г}}$ (руб.) от внедрения комплекса мер по улучшению условий труда, обеспечившего на предприятии общую годовую экономию \mathcal{E}_0 (руб.) при общих капитальных затратах на его реализацию K (руб.), годовых эксплуатационных (текущих) расходах $P_{\text{т}}$ (руб.) и нормативном коэффициенте экономической эффективности капитальных вложений в охрану труда $E_{\text{н}}$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 4.24.

Таблица 4.24

Исходные данные

Показатели	Варианты				
	1	2	3	4	5
\mathcal{E}_0 , тыс.руб.	1070	1210	1150	1324	1190
K , тыс.руб.	8304	7621	7250	7018	6901
$P_{\text{т}}$, тыс. руб	118	121	127	130	123
$E_{\text{н}}$	0,2	0,14	0,2	0,16	0,15

5. ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ НА ПРОИЗВОДСТВЕ И ПОЖАРНАЯ ПРОФИЛАКТИКА

Противопожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий по предупреждению, локализации и ликвидации пожаров, а также по обеспечению безопасной эвакуации людей и материальных ценностей в случае пожаров.

Пожарная безопасность – это такое состояние промышленного объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предупреждается влияние на людей опасных факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита обеспечивается: выбором класса огнестойкости объекта и пределов огнестойкости строительных конструкций; ограничением распространения огня в случае возникновения очага пожара; применением систем противодымной защиты; обеспечением безопасной эвакуации людей; применением средств пожарной сигнализации, извещения и пожаротушения; организацией пожарной охраны предприятия.

Взрывы и пожары на производстве являются особо опасными авариями, приводящими не только к большим разрушениям и повреждениям оборудования и производственных объектов, но и часто к поражению и гибели производственного персонала.

Взрывопожароопасность производств обусловлена наличием различных горючих материалов, жидкостей, газов, взрывоопасных смесей; а также возникновением при работе оборудования тепловых импульсов и источников поджигания, способных их воспламенить.

Нижний концентрационный предел распространения пламени газообразных органических веществ в воздухе рассчитывается по приближенной формуле

$$C_{\text{НКПР}} = C_{\text{см}}/2, \quad (5.1)$$

причем

$$C_{\text{см}} = \frac{100}{1 + 4,84\beta}, \quad (5.2)$$

$$\beta = n_c + \frac{n_n - n_x}{4} - \frac{n_o}{2}, \quad (5.3)$$

где β – стехиометрический коэффициент кислорода в реакции сгорания горючего вещества; n_c, n_n, n_o, n_x – число атомов С, Н, О и галоидов в молекуле горючего.

Объем взрывоопасной смеси горючего вещества с воздухом с концентрацией, равной нижнему пределу распространения пламени, определяется по формуле

$$V_{\text{вз}} = \frac{100 \cdot V_{\Gamma}}{C_{\text{НКПР}}}, \text{ м}^3, \quad (5.4)$$

где V_{Γ} – объем выделившихся в помещении взрывоопасных газов, м^3 .

Процент заполнения свободного объема производственного помещения взрывоопасной смесью рассчитывается по формуле

$$\psi = \frac{100 \cdot V_{\text{вз}}}{V_{\text{св}}}, \%, \quad (5.5)$$

где $V_{\text{св}}$ – свободный от технологического оборудования объем производственного помещения, м^3 .

Утечки взрывоопасных паров и газов через неплотности соединений технологического оборудования, работающего под давлением, рассчитываются по формуле (эмпирической)

$$Q_{\Gamma} = \frac{K_3 \cdot \alpha \cdot V_{об}}{\rho} \cdot \sqrt{\frac{M}{T}}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (5.6)$$

где K_3 – безразмерный коэффициент запаса, учитывающий степень износа и состояние оборудования (принимается $K=1\dots 2$); α – безразмерный коэффициент, величина которого зависит от давления в оборудовании (при ориентировочных расчетах может приниматься: при давлении $P \leq 0,4$ МПа $\alpha=0,15$; $P \leq 1,7$ МПа $\alpha=0,18$; $P \leq 40$ МПа $\alpha=0,28$); $V_{об}$ – внутренний объем оборудования и присоединенных к нему трубопроводов (до закрытых заглушающих устройств), м³; ρ – плотность паров или газов, истекающих через неплотности соединений, кг/м³; M – молекулярная масса паров или газов; T – температура внутри оборудования, К.

Количество взрывоопасного газа (паров), поступившее в помещение при аварии (разгерметизации) оборудования, работающего под давлением, рассчитывается по формуле

$$V_{\Gamma} = 10 P \cdot V_{об}, \text{ м}^3, \quad (5.7)$$

где P – давление газа (паров) внутри оборудования до аварии, МПа.

Концентрация вещества в воздухе производственного помещения при условии равномерного распределения по объему помещения и без учета работы вентиляции рассчитывается по следующим формулам

в % по объему для газа (пара)

$$C = \frac{V_z}{V} \cdot 100, \% \quad (5.8)$$

в мг/м³ соответственно для газа (пара) и пыли

$$C = \frac{10^6 \cdot V_z \cdot \rho}{V}; \quad C = \frac{10^6 \cdot m_n}{V_n}; \quad (5.9)$$

где V – объем производственного помещения, м³; ρ – плотность газа (пара), кг/м³; m_n – масса поступившей в помещение пыли, кг; V_n – запыленный объем помещения, м³.

Суммарная площадь ЛСК зависит от свободного объема помещения. 1 м³ $V_{св}$ защищают минимально 0,03 м² площади ЛСК. Для стекла толщиной 4 мм площадь одного листа минимум 1 м².

Запас воды для трехчасового внутреннего и внешнего тушения пожара рассчитывается по формуле

$$Q = 11 \cdot n_{\text{в}}, \text{ м}^3, \quad (5.10)$$

где $n_{\text{в}}$ – нормативный расход воды для внутреннего (n_1) и внешнего (n_2) тушения пожара, $\text{дм}^3/\text{с}$.

Нормативный расход воды $n_1 = 5 \text{ дм}^3/\text{с}$, а n_2 принимается по табл. 5.1 в зависимости от степени огнестойкости здания и категории производства по пожарной опасности.

Таблица 5.1

Нормативный расход воды n_1

Степень огнестойкости	Категория производства по пожарной опасности	Расход воды ($\text{дм}^3/\text{с}$) на 1 пожар при объеме здания, тыс.м ³				
		до 3	3...5	5...20	20...50	50...200
I, II	Г, Д	10	10	10	10	15
I, II	А, Б, В	10	10	15	20	30
III	Г, Д	10	10	15	25	
III	В	10	15	20	30	
IV, V	Г, Д	10	15	20	30	
IV, V	В	15	20	25		

Глубина емкости для пожарного водоснабжения определяется по формуле

$$H_{\text{ф}} = 1,2 \cdot H_{\text{р}}, \text{ м}, \quad (5.11)$$

где $H_{\text{р}}$ – рассчитанная глубина, м; 1,2 – коэффициент запаса емкости.

Технологические процессы пищевых производств, связанные с дроблением, измельчением и просеиванием продукта, с очисткой и переработкой зерна, транспортированием твердых и жидких продуктов с помощью конвейеров и по трубам, сопровождаются электризацией и накоплением зарядов статического электричества. Величина электростатического заряда зависит от электропроводности материалов, их относительной диэлектрической проницаемости, скорости движения, характера контакта между соприкасающимися материалами, электрических свойств окружающей среды, относительной влажности и температуры воздуха.

Степень электризации жидкости в основном зависит от ее диэлектрических свойств и кинематической вязкости, скорости потока, диаметра и длины трубопровода, материала трубопровода, состояния его внутренних стенок и температуры жидкости.

Величину электростатического потенциала U можно определить по формуле

$$U = \frac{q}{C}, \quad (5.12)$$

где q – величина накопленного на поверхности оборудования заряда, Кл;
 C – электрическая емкость оборудования, Ф.

Если напряженность электростатического поля над поверхностью диэлектрика достигает критической (пробивной) величины, то возникает электрический разряд. Для воздуха пробивное напряжение примерно равно 30 кВ/см.

Энергия разряда (искры) диэлектрика W (Дж) определяется по формуле

$$W = 0,5C \cdot U^2, \quad (5.13)$$

где C – электрическая емкость, разряжаемая искрой, Ф; U – разность потенциалов относительно земли, В.

Разность потенциалов на оборудовании может достигать нескольких десятков тысяч вольт. Искра, возникающая при напряженности электростатического поля 3 кВ, способна воспламенить любую газоздушную смесь, а при 5 кВ – пылевоздушную смесь органических веществ (пыль муки, сахара, декстрина, крахмала и т. п.).

Основным способом предупреждения возникновения электростатического заряда является постоянный отвод статического электричества от технологического оборудования с помощью заземления. Каждую систему аппаратов и трубопровода заземляют не менее чем в 2-х местах. Резиновые шланги обвивают заземленной медной проволокой с шагом 10 см. Предельно допустимое сопротивление заземляющего устройства, используемого только для отвода электростатического заряда, не должно превышать 100 Ом.

Расчётное время эвакуации людей из помещений и зданий устанавливается по расчёту времени движения одного или нескольких людских потоков через эвакуационные выходы от наиболее удаленных мест размещения людей.

При расчёте весь путь движения людского потока подразделяется на участки (проход, коридор, дверной проем, лестничный марш, тамбур) длиной 1 м и шириной 5 м. Начальными участками являются проходы между рабочими местами, оборудованием, рядами кресел и т. п.

При определении расчётного времени длина и ширина каждого участка пути эвакуации принимаются по проекту. Длина пути по лестничным маршам, а также по пандусам измеряется по длине марша. Длина пути в дверном проёме принимается равной нулю.

Средняя плотность людского потока (D_{cp}) находится по формуле

$$D_{cp} = \frac{N_{p.f}}{S_3 - S_{06}}, \quad (5.14)$$

где N_p – расчётное число людей в торговом зале, чел.; f – средняя площадь горизонтальной проекции человека, принимаемая по табл. 5.2, m^2 ; S_3 – площадь зала, m^3 ; $S_{об}$ – площадь, занимаемая оборудованием, m^3 .

Таблица 5.2

Средняя площадь горизонтальной проекции человека

Категория людей	Взрослый в домашней одежде	Взрослый в зимней одежде	Подросток
Средняя площадь горизонтальной проекции, m^2	0,1	0,125	0,07

По табл. 5.2 принимаем наихудший вариант: эвакуация происходит в зимнее время и $f = 1,25 m^2$.

Расчётное время эвакуации людей (t_p) следует определять как сумму времени движения людского потока по отдельным участкам пути t :

$$t_p = \sum t_i, \quad (5.15)$$

где t_i – время прохождения каждого участка пути.

Время прохождения для каждого участка определяется по формуле

$$t_i = \frac{L_i}{V_i} \cdot g_i, \quad (5.16)$$

где L_i – длина прохода, м; V_i – скорость движения людского потока на различных участках, м/мин.

Интенсивность движения людского потока на прямых участках пути определяется по формуле

$$g_i = \frac{g_{i-1} \cdot L_i}{\delta_i}, \quad (5.17)$$

где g_{i-1} – значения интенсивности движения людского потока по предшествующему участку пути, м/мин; δ_i – ширина прохода, м.

При слиянии вначале участка двух и более людских потоков интенсивность движения ($g_{слиян.}$), м/мин, вычисляют по формуле

$$g_{слиян.} = \frac{\sum (g_{i-1} \cdot L_{i-1})}{\delta_i} \cdot D_{ср}. \quad (5.18)$$

Задание 1

При вытекании легко воспламеняющейся жидкости (ЛВЖ) из лопнувшей магистрали в производственное помещение вследствие испарения образовалось $V_{вз}$ (m^3) его паров. Технологическое оборудование занимает $V_{тех}$ (%) помещения, объем которого равен V (m^3). Рассчитайте приближенное значение нижнего концентрационного предела распространения пламени $C_{НКПР}$ (%) паров ЛВЖ и определите долю в процентах объема помещения, занятого взрывоопасной смесью. Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.3. В ней примем следующие обозначения: I – этиловый спирт (C_2H_5OH); II – ацетон (C_3H_6O).

Таблица 5.3

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{вз}, m^3$	72	40	44	34	56	50	46	48	66	32
ЛВЖ	I	II	I	II	I	I	II	II	I	II
$V_{тех}, \%$	60	50	65	55	70	60	56	74	62	58
V, m^3	3000	1600	2200	1800	2800	3400	1860	2400	2600	2120

Задание 2

Определите время τ (мин), достаточное при неблагоприятных условиях (отсутствие вентиляции) для заполнения $\psi = 5\%$ свободного объема производственного помещения взрывоопасной смесью аммиака с нижним концентрационным пределом распространения пламени $C_{НКПР}$ (%), после начала утечки газа через неплотности соединений в технологическом оборудовании. Количество выделяющегося через неплотности соединений газа равно Q_r ($m^3/ч$). Оборудование занимает $V_{тех}$ (%) помещения, объем которого равен V (m^3). Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.4. В ней приняты следующие обозначения: I – аммиак; II – ацетилен.

Таблица 5.4

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V, m^3	800	600	1000	900	1200	900	680	1100	940	780
$V_{тех}, \%$	50	55	60	65	70	50	55	60	65	70
Газ	I	I	I	II	II	I	II	I	II	II
$C_{НКПР}, \%$	15	25	15	25	15	12	22	14	16	18
$Q_r, m^3/ч$	3,5	4,2	2,5	4,8	4	2,8	3,0	3,4	4,0	4,6

Задание 3

Рассчитайте величину утечки аммиака Q_r ($\text{м}^3/\text{ч}$) из системы средней изношенности ($K_3 = 1,5$; $\alpha = 0,18$) объемом $V_{об}$ (м^3), находящейся под давлением P (МПа) при температуре t ($^{\circ}\text{C}$), и время τ (мин), в течение которого будет заполнено $\psi = 5\%$ свободного объема помещения $V_{св}$ (м^3) с концентрацией взрывоопасной смеси, равной $0,2$ нижнего предела распространения пламени аммиака ($C_{НКПР} = 15\%$ по объему). Молекулярная масса аммиака $M = 17,03$ кг/моль, а плотность $\rho = 0,77$ кг/ м^3 . Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{об}, \text{м}^3$	1	4	5	4	5	2	3	5	4	3
$P, \text{МПа}$	0,6	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4	0,5	0,3	0,2	0,6
$V_{св}, \text{м}^3$	200	180	300	260	320	220	156	268	340	168
$t, ^{\circ}\text{C}$	40	50	60	70	80					

Задание 4

Вследствие разгерметизации системы объемом $V_{об}$ (м^3) при аварии холодильной установки в производственное помещение поступил аммиак под давлением P (МПа). Рассчитайте среднюю концентрацию аммиака $C_{ср}$ ($\text{мг}/\text{м}^3$) в воздухе при условии равномерного заполнения им всего помещения объемом V (м^3) и кратность превышения n предельно допустимой концентрации аммиака в воздухе рабочей зоны. Плотность аммиака $\rho = 0,77$ кг/ м^3 , $C_{пдк} = 20$ мг/ м^3 . Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{об}, \text{м}^3$	0,5	0,6	0,4	0,3	0,8	0,7	0,65	0,75	0,55	0,45
$V, \text{м}^3$	1000	4000	2000	2500	4000	3600	4590	2780	3612	2580
$P, \text{МПа}$	0,2	0,6	0,8	1,0	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7	0,8

Задание 5

Вследствие нарушения сроков уборки мучной пыли она накопилась на поверхности технологического оборудования и конструкциях производственного помещения объемом V (м^3), относящегося к категории "Б"

по взрывопожарной опасности. При открывании ворот за счет сдувания в помещении образовалось облако, содержащее $m_{п}$ (кг) пыли, которое заняло $\psi = 5\%$ свободного объема помещения. Определите среднюю концентрацию мучной пыли $C_{ср}$ (мг/м³) в этом облаке при условии, что объем технологического оборудования составляет $V_{тех}$ (%) объема помещения. Сравните рассчитанную концентрацию с нижним концентрационным пределом распространения пламени пыли пшеничной муки высшего сорта $C_{НКПР} = 28,8$ г/м³. Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{ м}^3$	1000	1500	800	12000	3000	10200	6800	7460	5890	1468
$V_{тех}, \%$	60	70	65	55	60	60	70	65	55	60
$m_{п}, \text{ кг}$	0,42	0,70	0,66	0,88	0,75	0,98	0,66	0,74	0,39	0,84

Задание 6

Рассчитайте минимальную площадь легкобрасываемых ограждающих конструкций (ЛСК) S (м²) и количество остекленных оконных проемов N для помещения вальцовых станков мельницы. Габариты помещения $L \times B \times H$ (м), в нем n станков с внешними габаритами $2,5 \times 1,7 \times 1,8$ (м). Площадь одного оконного проема 4 м^2 . Остекление по длине помещения: при ширине 12 м – двустороннее с симметричным расположением оконных проемов, при ширине 6 м – одностороннее, толщина стекла 4 мм . Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L, \text{ м}$	18	12	6	12	24	28	30	26	20	16
$B, \text{ м}$	12	12	6	6	12	12	6	6	6	12
$H, \text{ м}$	4,5	3,5	4,0	4,5	4,5	4,5	3,5	4,0	4,5	4,5
$n, \text{ шт}$	16	10	4	6	24	6	8	4	4	6

Задание 7

Рассчитайте глубину емкости H диаметром D (м) для противопожарного водоснабжения предприятия, относящегося к категории "В" пожароопасности,

III степени огнестойкости и с объемом производственных помещений V (м^3) на 3-часовое тушение пожара. Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{м}^3$	2800	15000	4500	40000	3000	36800	3400	3800	16000	38800
$D, \text{м}$	6	8	9	10	6	8	6	6	8	10

Задание 8

Определите расчетное время эвакуации людей из зала магазина, расположенного на втором этаже. Торговое оборудование расположено рядами, площадь зала S_3 (м^2), площадь, занимаемая оборудованием, $S_{об}$ (м^2), интенсивность движения людского потока на первом участке g_1 принимаем равной 1,71 (м/мин), скорость движения людского потока на различных участках V_i (м/мин). Здание II степени огнестойкости. Расчетное число людей в торговом зале составляет N_3 (чел). Допустимое время эвакуации $t_{доп}=1,5$ мин.

Путь эвакуации от наиболее удаленной от выхода точки до выхода наружу состоит из четырех участков (проходов). Людские потоки из проходов №1, №2, №3 сливаются с потоком №4,двигающимся по сборному проходу, и направляются через лестничную клетку наружу. Ширина каждого из четырех проходов δ равна 4 м, длина их составляет L_1 (м). Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.10

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_1, \text{м/мин}$	95,21	94,30	95,80	95,14	96,20	94,80	95,46	95,70	94,88	95,60
$V_2, \text{м/мин}$	84,25	88,90	89,60	90,25	92,40	92,20	89,64	88,88	88,70	86,50
$V_3, \text{м/мин}$	96,40	89,90	88,60	8,56	88,48	86,68	87,67	87,90	90,10	90,40
$V_4, \text{м/мин}$	67,50	72,14	78,84	78,68	82,56	84,68	86,56	84,89	88,66	80,78
$S_3, \text{м}^2$	782	800	720	768	790	800	810	794	798	764
$S_{об}, \text{м}^2$	200	220	260	246	248	240	262	268	222	218
$N_3, \text{чел}$	300	400	450	380	280	340	420	410	440	430
$L_1, \text{м}$	2,4	2,2	2,6	2,4	2,2	2,6	2,4	2,2	2,6	2,4
$L_2, \text{м}$	3,2	3,0	2,8	3,2	3,0	2,8	3,2	3,0	2,8	3,0
$L_3, \text{м}$	5,8	4,0	4,4	4,2	3,8	5,6	5,8	5,4	5,6	4,6
$L_4, \text{м}$	4	3,6	3,2	3,8	4	3,6	3,2	3,8	3,6	3,2

Задание 9

Определите потенциал статического электричества U (В), возникающий на поверхности цистерны объемом $V_{ц}$ (дм³) в случае нарушения сети защитного заземления при ее заполнении этиловым спиртом со скоростью Q_3 дм³/мин. При этой скорости 1 дм³ электризованного спирта передает цистерне заряд 10^{-8} Кл. Электрическая емкость цистерны C (пФ). Установите, является ли энергия искрового разряда статического электричества W (мДж) достаточной для воспламенения паров этилового спирта, для чего необходима минимальная энергия искры $W_{мин}=0,95$ мДж. Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.11.

Таблица 5.11

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{ц}, \text{дм}^3$	1000	200	5000	2000	800	600	1200	5400	2200	3460
$C, \text{пФ}$	2000	4000	10000	2500	5000	1000	4600	1200	4880	1400
$Q_3, \text{дм}^3/\text{мин}$	100	200	50	300	250	70	150	60	220	260

Задание 10

Оцените, может ли энергия искры W (Дж) статического электричества, образовавшегося при разряде потенциала U (В), накопившегося на человеке, тело которого имеет электрическую емкость C (пФ), вызвать взрыв паров горючего вещества. Минимальная энергия, необходимая для воспламенения паров горючего вещества, $W_{мин}$ (мДж). Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.12. В ней приняты следующие обозначения: I – сероводород; II – спирт этиловый; III – бензол; IV – метан; V – этилен.

Таблица 5.12

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U, \text{В}$	5000	5000	15000	10000	5000	14000	6000	12000	8000	14200
$C, \text{пФ}$	200	100	150	250	300	180	240	160	260	280
Вещество	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
$W_{мин}, \text{мДж}$	0,009	0,95	0,2	0,28	0,12	0,009	0,95	0,2	0,28	0,12

Задание 11

Рассчитайте диаметр пожарного водопровода D (мм) при допустимой скорости движения воды в нем $w_в$ (м/с) для предприятия категории "В" по пожароопасности, III степени огнестойкости и с объемом производственных помещений V (м³). Исходные данные для расчета приведены в табл. 5.13.

Таблица 5.13

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V, \text{ м}^3$	15000	1800	2000	25000	3000	14000	4600	22600	8400	4250
$w_B, \text{ м/с}$	2,5	2,7	2,8	3,0	2,6	2,5	2,7	2,8	3,0	2,6

6. НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК

Критерием надежности называется признак (мера), по которому (которой) оценивается надежность различных объектов (изделий). Критерии представляются в виде показателей надежности, свойств безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости и др.

К числу наиболее широко применяемых критериев надежности относятся *показатели безотказности*:

- вероятность безотказной работы в течение определенного времени $P(t)$;
- гамма-процентная наработка до отказа t_γ ;
- средняя наработка до отказа T_1 (для статистических задач \bar{T}_1);
- средняя наработка на отказ T (для статистических задач \bar{T});
- частота отказов $f(t)$;
- интенсивность отказов $\lambda(t)$;
- параметр потока отказов $\mu(t)$ и др.

Характеристикой надежности будем называть количественное значение критерия надежности конкретного изделия.

Выбор количественных характеристик надежности зависит от вида изделия.

Вероятностью безотказной работы (ВБР) называется **количественная мера** того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени или в пределах заданной наработки не произойдет ни одного отказа.

Функция P – относительная продолжительность непрерывной исправной работы объекта до первого отказа, а *аргумент t* – время, за которое нужно определить ВБР.

Вероятность безотказной работы $P(t)$ определяется по формуле

$$P(t) = \frac{N - n(t)}{N}, \quad (6.1)$$

где N – число объектов в начале работы (серии испытаний); $n(t)$ – число отказавших элементов за время t .

Вероятностью отказа $Q(t)$ называется *количественная мера* того, что при определенных условиях эксплуатации в заданном интервале времени возникает хотя бы один отказ. Она определяется по формуле

$$Q(t) = 1 - P(t). \quad (6.2)$$

Частотой отказов $f(\Delta t)$ по статистическим данным называется отношение числа отказавших элементов в единицу времени к первоначальному числу работающих (испытываемых) при условии, что все вышедшие из строя изделия не восстанавливаются. Она определяется по формуле

$$f(\Delta t_2) = \frac{n}{N \cdot \Delta t_2}. \quad (6.3)$$

Интенсивностью отказов $\lambda(t)$ по статистическим данным называется отношение числа отказавших изделий в единицу времени к среднему числу изделий, исправно работающих в данный отрезок времени. Она определяется по формуле

$$\lambda(\Delta t_2) = \frac{n}{N_{cp} \cdot \Delta t_2}, \quad (6.4)$$

где $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$ – среднее число исправно работающих изделий в интервале Δt ; N_i – число изделий, исправно работающих в начале интервала Δt ; N_{i+1} – число изделий, исправно работающих в конце интервала Δt .

Средней наработкой на отказ называется отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Наработка за указанный период определяется по формуле

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (6.5)$$

где t_1 – время до начала наблюдений объекта, ч; t_2 – время к концу наблюдения, ч.

Средняя наработка на отказ по статистическим данным определяется по формуле

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (6.6)$$

т.е.

$$t_{cp.} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{n_1 + n_2 + n_3}, \quad (6.7)$$

где t_i – время исправной работы между $(i - 1)$ и i отказами; n – число отказов за некоторое время t .

Средняя наработка системы в целом определяется по формуле

$$t_{\text{ср/сист.}} = \frac{1}{\lambda_c}, \quad (6.8)$$

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (6.9)$$

$$\lambda_i = \frac{n_i}{t_i}. \quad (6.10)$$

Коэффициентом готовности K_r называется вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусматривается.

$$K_r = \frac{t_p}{t_p + t_n}, \quad (6.11)$$

где t_p – суммарное время работоспособного состояния объекта; t_n – суммарное время, в течение которого объект не использовался по назначению. Значения времени t_p и t_n вычисляются по формулам

$$t_p = \sum_{i=1}^n t_{pi}, \quad (6.12)$$

$$t_n = \sum_{i=1}^n t_{ni}, \quad (6.13)$$

где t_{pi} – время работы изделия между $(i - 1)$ -м и i -м отказом; t_{ni} – время вынужденного простоя после i -го отказа; n – число отказов (ремонтов) изделия.

Выражение (6.11) является статистическим определением коэффициента готовности. Для перехода к вероятностной трактовке величины t_p и t_n заменяются математическими ожиданиями времени между соседними отказами и времени восстановления соответственно. Тогда

$$K_r = \frac{t_p}{t_p + t_v}, \quad (6.14)$$

где t_p – наработка на отказ; t_v – среднее время восстановления.

Функция готовности изделия определяется по формуле

$$P_{\Gamma}(t) = K_{\Gamma} + (1 - K_{\Gamma})e^{-t/K_{\Gamma}t_{\text{в}}} . \quad (6.15)$$

Задание 1

На испытание поставлено N (шт.) однотипных электронных ламп. За Δt (ч) отказало n (шт.) ламп, требуется определить вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $Q(t)$ в течение заданного времени (ч). Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.1

Таблица 6.1

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N, шт	1000	1500	2500	2200	2000	1600	1400	800	2200	1800
Δt , ч	3000	2800	1600	2600	2400	3200	3400	2000	1000	1200
n, шт	80	60	100	86	110	116	84	70	90	140

Задание 2

На испытание поставлено N (шт.) однотипных электронных ламп. За первые Δt_1 (ч) отказало n_1 ламп, а за интервал времени Δt_2 (ч) отказало еще n_2 , шт. ламп. Требуется определить частоту $f(\Delta t)$ и интенсивность $\lambda(\Delta t)$ отказов электронных ламп в промежутке времени Δt (ч). Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N, шт.	1000	2000	2600	2400	2680	1860	1468	1246	1226	2560
Δt_1 , ч	3000	2000	2600	3200	1000	2000	1600	2040	2600	2000
n_1 , шт.	80	60	40	48	52	44	38	46	50	40
Δt_2 , ч	3000- 4000	2000- 3000	2600- 4000	3200- 4400	1000- 2400	2000- 4400	1600- 2800	2040- 3800	2600- 3880	2000- 3600
n_2 , шт.	50	80	60	70	66	84	64	68	58	66

Задание 3

На испытание поставлено N_0 изделий. За время t (ч) отказало $n(t)$ изделий, за интервал Δt (ч) отказало $n(\Delta t)$ изделий. Требуется определить вероятность безотказной работы за t (ч), вероятность безотказной работы за $t+\Delta t$ (ч), вероятность безотказной работы за 3050 ч, частоту отказов $f(3050)$, интенсивность отказов $\lambda(3050)$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_0 , шт.	400	500	600	460	360	580	480	550	450	380
t , ч	3000	2800	2000	2600	2800	3100	2200	2400	2600	3000
$n(t)$, шт.	200	220	320	300	280	210	290	320	200	250
Δt , ч	100	50	50	80	40	60	65	45	80	90
$n(\Delta t)$, шт.	100	110	90	80	70	85	68	60	80	86

Задание 4

В течение некоторого периода времени производилось наблюдение за работой одного объекта. За весь период зарегистрировано n отказов. До начала наблюдений объект проработал t_1 (ч), к концу наблюдения наработка составила t_2 (ч). Определите среднюю наработку на отказ t_{cp} . Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , шт.	15	18	22	20	24	16	18	26	25	19
t_1 , ч	258	268	356	348	369	422	410	288	298	310
t_2 , ч	1233	1344	1366	1388	1390	1424	1246	1265	1250	1268

Задание 5

Производилось наблюдение за работой N (шт.) однотипных объектов. За период наблюдения было зафиксировано по первому объекту n_1 отказов, по второму n_2 отказов, третьему n_3 отказов. Нарботка первого объекта t_1 (ч), второго t_2 (ч), третьего t_3 (ч). Определите наработку объектов на отказ (t_{cp}). Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N , шт.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
n_1 , шт.	6	8	6	11	23	20	12	15	16	18
n_2 , шт.	11	10	12	16	15	14	18	26	12	11
n_3 , шт.	8	6	9	16	26	24	20	8	18	10
t_1 , ч	6181	2347	2437	2538	3241	2325	2020	2044	2065	2088
t_2 , ч	328	344	366	386	388	390	368	389	400	306
t_3 , ч	245	248	240	266	246	238	278	290	310	322

Задание 6

Система состоит из N приборов, причем отказ любого одного из них ведет к отказу системы. Известно, что первый отказал n_1 раза в течение t_1 (ч) работы, второй – n_2 раза в течение t_2 (ч) работы, а остальные приборы в течение t_{3-5} (ч) работы отказали n_4 n_5 n_6 раз соответственно. Требуется определить наработку на отказ системы в целом $t_{cp/сист.}$, если справедлив экспоненциальный закон надежности для каждого из пяти приборов. Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.6.

Таблица 6.6

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N , шт.	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
n_1 , шт.	34	36	38	30	42	44	40	35	39	43
n_2 , шт.	24	22	25	27	26	28	29	32	24	20
n_3 , шт.	4	5	6	9	8	7	4	3	2	4
n_4 , шт.	6	4	3	5	3	5	3	6	7	5
n_5 , шт.	5	8	7	9	2	7	6	5	4	8
t_1 , ч	952	988	956	890	870	996	965	948	968	900
t_2 , ч	360	368	364	360	436	456	469	490	422	448
t_{3-5} , ч	210	220	230	238	240	248	290	257	245	210

Задание 7

Аппаратура имела среднюю наработку на отказ t_{cp} (ч) и среднее время восстановления $t_в$ (ч). Требуется определить коэффициент готовности K_2 . Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t_{cp} , ч	65	78	92	86	88	82	90	60	54	62
$t_в$, ч	1,25	1,20	1,15	1,18	1,32	1,46	1,24	1,26	1,16	1,33

Задание 8

Известно, что интенсивность отказов λ , $ч^{-1}$, а среднее время восстановления $t_в$, ч. Требуется вычислить коэффициент готовности и функцию готовности изделия. Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t_B, \text{ч}$	10	12	22	15	16	18	14	20	22	17
$\lambda, \text{ч}^{-1}$	0,02	0,015	0,022	0,024	0,028	0,018	0,019	0,03	0,024	0,026

Задание 9

Система состоит из N блоков, средняя наработка до первого отказа которых равна $T_1, \text{ч}$, $T_2, \text{ч}$, $T_3, \text{ч}$. Для блоков справедлив экспоненциальный закон надежности.

Требуется определить среднюю наработку до первого отказа системы. Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.9.

Таблица 6.9

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N, \text{шт.}$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
$T_1, \text{ч}$	160	150	140	168	172	178	170	148	166	150
$T_2, \text{ч}$	320	320	328	326	346	348	340	324	360	355
$T_3, \text{ч}$	600	660	668	680	700	780	720	760	748	650

Задание 10

В системе $N_c = 2500$ элементов, вероятность безотказной работы ее в течение одного часа $P_c(t) = 98 \%$. Предполагается, что все элементы равнонадежны и интенсивность отказов элементов $\lambda, \text{ч}^{-1}$. Требуется определить среднюю наработку до первого отказа системы $t_{cp.c}$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 6.10.

Таблица 6.10

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N_c, \text{шт.}$	2500	2200	1800	2010	2400	2210	2600	2560	2580	2260
$\lambda, \text{ч}^{-1}$	$2,4 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$6,4 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^{-6}$	$8,8 \cdot 10^{-6}$	$8,6 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-6}$	$8,4 \cdot 10^{-6}$

7. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АТМОСФЕРЫ ОТ ВЫБРОСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ

Наличие в промышленных газах взвешенных частиц является результатом механических (дробление, измельчение, перемешивание,

погрузочно-разгрузочные операции) и химических процессов. Пыли, образующиеся при конденсации паров, называют возгонами. В большинстве случаев взвеси, появившиеся в механических процессах, состоят из частиц размером 5 мкм и более, а пыли химических процессов представлены частицами диаметром менее 1 мкм.

Частицы пыли представлены, как правило, аэрозолями или близкими к ним по размерам системами с твердой и жидкой дисперсионной фазой (дымами, пылями, туманами). В технической литературе обычно не делают различий между дымами и пылями, применяя к процессам очистки газов от взвешенных в них твердых частиц общий термин “пылеулавливание”.

Борьба с аэрозольными загрязнителями начинается еще до того, как они выбрасываются из технологического агрегата. В этом плане стремятся провести ряд мероприятий по сокращению самого пылевыделения, снизить число и мощность его источников.

В практике производств нередко приходится подвергать разделению неоднородные газовые системы (пыли и туманы). Газы можно очищать от взвешенных в них твердых или жидких частиц под действием сил тяжести, центробежных и электростатических сил, а также промывкой и фильтрацией газов. Промышленное осуществление каждого из этих способов связано с применением соответствующей аппаратуры: газовых отстойников, центробежных пылеосадителей, электрических фильтров, гидравлических пылеуловителей газовых фильтров и многого другого.

7.1. Расчет пылеосадительной камеры

Схема пылеосадительной камеры с горизонтальными полками представлена на рис. 7.1.

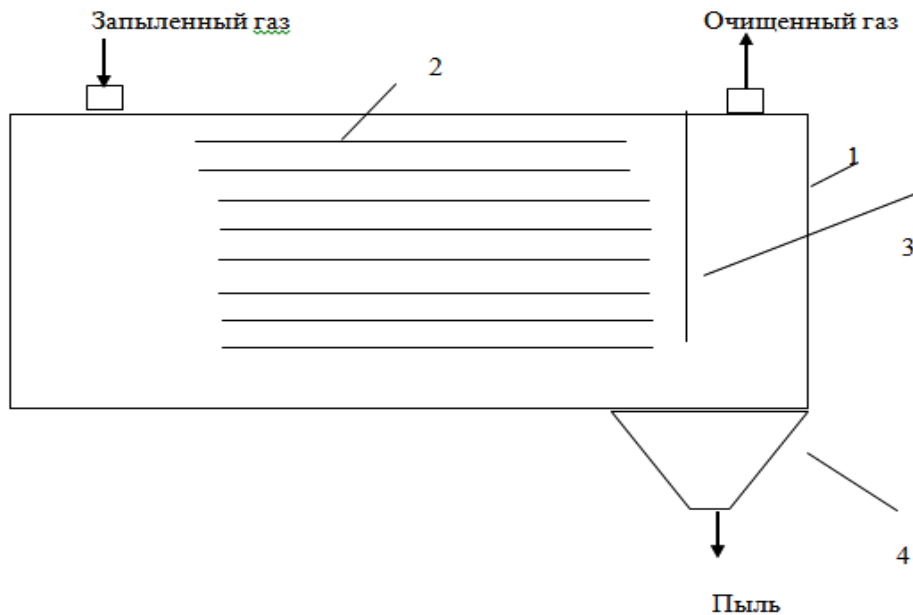


Рис. 7.1. Схема пылесадительной камеры:
1 – корпус; 2 – полки; 3 – отрагательная перегородка; 4 – бункер

Скорость осаждения шарообразной частицы ω_{oc} , м/с, определяется по формуле

$$\omega_{in} = \frac{R_e \mu}{d \rho}, \quad (7.1)$$

где R_e – критерий Рейнольдса; μ – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с; d – диаметр шарообразной частицы, м; ρ – плотность среды, кг/м³.

Критерий Рейнольдса R_e находится по уравнению Годеса:

$$R_e = \frac{\dot{A}r}{18 + 0,61\sqrt{Ar}}, \quad (7.2)$$

где Ar – критерий Архимеда.

$$Ar = \frac{gd^3(\rho_c - \rho)\rho}{\mu^2}, \quad (7.3)$$

где ρ_c – плотность материала частицы, кг/м³.

Необходимая площадь осаждения F_{oc} , м², пылесадительной камеры определяется по формуле

$$F_{oc} = \frac{Q}{\omega_{oc}}, \quad (7.4)$$

где Q – объемный расход газа, м³/с; ω'_{oc} – действительная скорость осаждения, м/с. Для приближенных расчетов принимают $\omega'_{oc} \approx 0,5\omega_{oc}$.

Расстояние между полками h , м, пылеосадительной камеры определяется следующим образом:

$$h = \omega'_{oc} \tau, \quad (7.5)$$

где τ – время пребывания газа в камере, с.

$$\tau = \frac{L}{\omega_{\Gamma}}, \quad (7.6)$$

где L – длина пылеосадительной камеры, м; ω_{Γ} – линейная скорость газа между полками, м/с.

Длину камеры L , м, определяем, исходя из площади осаждения F_{oc} , задаваясь шириной камеры B , м:

$$L = \frac{F_{oc}}{B}. \quad (7.7)$$

Линейную скорость газа между полками можно найти по формуле

$$\omega_{\Gamma} = \frac{Q}{BH}. \quad (7.8)$$

Задание 1

Подберите оборудование и рассчитайте его основные рабочие характеристики для улавливания вредного вещества: скорость осаждения шарообразной частицы ω'_{in} , м/с; площадь осаждения F_{oc} , м²; расстояние между полками h , м, пылеосадительной камеры; время пребывания газа в камере τ , с; длину пылеосадительной камеры L , м. Исходные данные для расчета приведены в табл. 7.1. В ней: ρ_{ν} – плотность материала частицы, кг/м³; D – диаметр частиц, м; Q – расход газа, м³/с; B – ширина камеры, м; H – высота камеры, м. Для всех вариантов: 1) газовая среда – воздух; 2) плотность воздуха $\rho = 1,293$ кг/м³; 3) динамическая вязкость воздуха $\mu = 0,0185 \times 10^{-3}$ Па·с.

Таблица 7.1

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Материал	зола	зола	мел	мел	песок	песок	цемент	цемент	уголь	уголь

$\rho_{\text{ч}}, \text{кг/м}^3$	2200	2400	2450	2600	1500	1600	2900	2800	1350	1450
$d, \text{м}$	50×10^{-6}	50×10^{-6}	60×10^{-6}	60×10^{-6}	100×10^{-6}	100×10^{-6}	100×10^{-6}	100×10^{-6}	90×10^{-6}	90×10^{-6}
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,2	0,4	0,3	0,35	0,25	0,44	0,28	0,34	0,36	0,42
$B, \text{м}$	2,0	4,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2	3,4	3,0	3,6
$H, \text{м}$	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

7.2. Расчет Циклона

На предприятиях применяют циклоны различных типов. Наибольшее распространение получили цилиндрические и конические циклоны НИИОГАЗ.

К цилиндрическим циклонам НИИОГАЗ относятся аппараты типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24. Отличительной особенностью этих аппаратов является удлиненная цилиндрическая часть корпуса. Входной патрубок расположен под углом 11, 15 и 24° к горизонтали.

К коническим циклонам НИИОГАЗ относятся аппараты типов СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34 и СК-ЦН-34М. Они отличаются от циклонов типа ЦН длиной конической части и наличием спирального входного патрубка.

Цилиндрические циклоны относятся к высокопроизводительным, а конические – к высокоэффективным аппаратам.

Диаметр цилиндрических циклонов обычно не превышает 2000 мм, а диаметр цилиндрической части конических – 3000 мм.

Цилиндрические циклоны НИИОГАЗ характеризуются следующими особенностями:

- ЦН-24 (входной патрубок расположен под углом $\alpha = 24^\circ$); этот тип обеспечивает повышенную производительность при наименьшем гидравлическом сопротивлении; предназначен для улавливания крупной пыли;
- ЦН-15 ($\alpha=15^\circ$); этот тип обеспечивает хорошую степень улавливания при сравнительно небольшом гидравлическом сопротивлении;
- ЦН-11 ($\alpha=11^\circ$); этот тип обеспечивает повышенную эффективность и рекомендуется в качестве унифицированного пылеуловителя.

Схема цилиндрического циклона представлена на рис. 7.2.

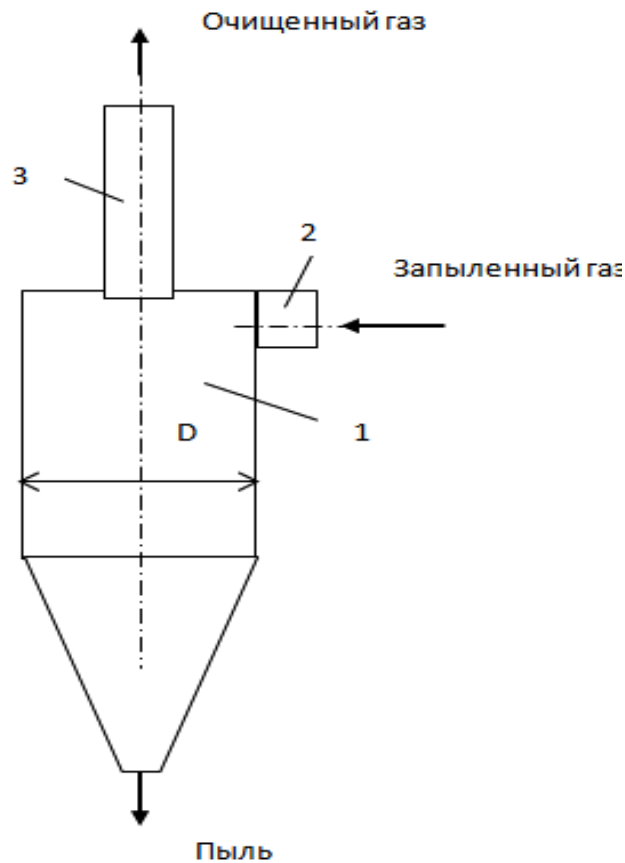


Рис. 7.2. Схема цилиндрического циклона:
1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выхлопная труба

Запыленный газ вводится в цилиндрическую часть корпуса 1 через входной патрубок 2 тангенциально со скоростью 20-30 м/с. Благодаря тангенциальному вводу он приобретает вращательное движение вокруг выхлопной трубы 3. Частицы пыли под действием центробежной силы отбрасываются к стенкам корпуса и под действием гравитационных сил спиралеобразно опускаются в сборник пыли (на схеме не показан). Очищенный газ выбрасывается из циклона через выхлопную трубу 3 и направляется в трубопровод для отвода очищенного газа.

Диаметр D , м, циклона определяют по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\omega_{\text{опт}}}}, \quad (7.9)$$

где Q – объемный расход очищаемого газа, м³/с; $\omega_{\text{опт}}$ – оптимальная скорость газа в сечении циклона, м/с.

Таблица 7.2

Параметры, определяющие эффективность циклонов [6]

Параметр	Тип циклона		
	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11
d_{50}^m , мм	8,50	6,00	3,65
$lg \sigma_{\eta}$	0,308	0,352	0,352
ω_{opt} , м/с	4,5	3,5	3,5

Полученный диаметр циклона округляют до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона из ряда: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм.

Действительная скорость газа в циклоне ω , м/с определяется по формуле

$$\omega = \frac{4Q}{\pi \cdot D^2 \cdot n}, \quad (7.10)$$

где n – число циклонов.

Действительная скорость газа в циклоне не должна отклоняться более чем на 15 % от оптимальной скорости ω_{opt} .

Коэффициент гидравлического сопротивления ξ циклона или группы циклонов находится по формуле

$$\xi = k_1 k_2 \xi_{500} + k_3, \quad (7.11)$$

где k_1 – поправочный коэффициент, зависящий от диаметра циклона (табл. 7.3); k_2 – поправочный коэффициент, учитывающий запыленность газа (табл. 7.4); k_3 – коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу (для одиночных циклонов $k_3 = 0$); ξ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм (табл. 7.5); направление выхлопа принимается исходя из требований охраны окружающей среды, безопасности, технологии и др.

Таблица 7.3

Значения поправочного коэффициента k_1 [6]

Тип циклона	Значения поправочного коэффициента при диаметре циклона D , мм				
	150	200	300	450	500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0

Таблица 7.4

Значения поправочного коэффициента k_2 [5]

Тип циклона	Значения поправочного коэффициента при концентрации пыли на входе циклона $c_{вх}$, г/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	-
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86

Таблица 7.5

Значения коэффициентов сопротивления циклонов ξ_{500} (D = 500 мм)

Тип циклона	Коэффициент сопротивления ξ_{500}	
	при выхлопе в атмосферу	при выхлопе в гидравлическую сеть
ЦН-11	245	250
ЦН-15	155	163
ЦН-24	75	80

Потери давления в циклоне Δp , н/м², определяют по формуле

$$\Delta p = \xi \frac{\rho \omega^2}{2}, \quad (7.12)$$

где ρ – плотность газа, проходящего через циклон, кг/м³.

Диаметр частиц, улавливаемых на 50 %, d_{50} определяют по формуле

$$d_{50} = d_{50}^0 \sqrt{\frac{D}{D_T} \frac{\rho_{\dot{}}}{\rho_{\dot{}}} \frac{\mu}{\mu_0} \frac{\omega_0}{\omega}}, \quad (7.13)$$

где индекс “Т” означает стандартные условия работы типового циклона:

- d_{50}^T находится по табл. 7.2;
- диаметр циклона $D_T = 0,6$ м;
- средняя скорость газа в циклоне $\omega_T = 3,5$ м/с;
- плотность частиц $\rho_{\dot{}}^T = 1930$ кг/м³;
- динамическая вязкость газа $\mu_T = 0,022 \times 10^{-3}$ Па·с.

Эффективность очистки газа в циклоне η определяют по формуле

$$\eta = 0,5 [1 + \Phi(x)], \quad (7.14)$$

где $\Phi(x)$ – табличная функция от параметра x (табл.7.6).

Таблица 7.6

Значения нормальной функции распределения $\Phi(x)$ [5]

x	$\Phi(x)$
-----	-----------

- 2,6	0,0047
- 2,4	0,0082
- 2,2	0,0139
- 2,0	0,0228
- 1,8	0,0359
- 1,6	0,0548
- 1,4	0,0808
- 1,2	0,1151
- 1,0	0,1587
- 0,8	0,2119
- 0,6	0,2743
- 0,4	0,3446
- 0,2	0,4207
0	0,5000
0,2	0,5793
0,4	0,6554
0,6	0,7257
0,8	0,7881
1,0	0,8413
1,2	0,8849
1,4	0,9192
1,6	0,9452
1,8	0,9641
2,0	0,9772
2,2	0,9861
2,4	0,9918
2,6	0,9953

Параметр x можно найти следующим образом:

$$x = \frac{\lg(d_{50} / d_{50}^T)}{\sqrt{\lg^2 \sigma_\eta + \lg^2 \sigma_\ddagger}}, \quad (7.15)$$

где $\lg^2 \sigma_\eta$ – дисперсия функции фракционной степени очистки $\eta(d)$ (табл. 7.2); $\lg^2 \sigma_\ddagger$ – степень полидисперсности пыли.

В зависимости от значения x находят функцию распределения $\Phi(x)$ по табл. 7.6.

Задание 2

Подберите оборудование и рассчитайте его основные рабочие характеристики для улавливания вредного вещества: диаметр циклона D , м; действительную скорость газа в циклоне ω , м/с; коэффициент гидравлического сопротивления ζ . Определите потери давления в циклоне Δp , н/м²; диаметр частиц, улавливаемых на 50 %, d_{50} ; эффективность очистки газа в циклоне η . Исходные данные для расчета приведены в табл. 7.7. В ней приняты обозначения: $\lg \sigma_\ddagger$ – степень полидисперсности пыли; $C_{\text{вх}}$, г/м³ – концентрация пыли на входе циклона. Для всех вариантов: 1) газовая среда – воздух;

2) плотность газа $\rho = 1,293 \text{ кг/м}^3$; 3) динамическая вязкость газа $\mu = 0,0173 \times 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Таблица 7.7

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Материал	зола	зола	мел	мел	песок	песок	цемент	цемент	уголь	уголь
$\rho, \text{кг/м}^3$	2200	2400	2450	2600	1500	1600	2900	2800	1350	1450
$\lg \sigma_{\text{ч}}$	0,527	0,527	0,422	0,422	0,405	0,405	0,468	0,468	0,334	0,334
$Q, \text{м}^3/\text{с}$	0,4	0,6	0,8	1,0	0,45	0,64	0,88	0,84	1,0	0,48
$C_{\text{вх}}, \text{г/м}^3$	11,23	11,23	23,26	23,26	1,830	1,830	16,230	16,230	5,240	5,240
ЦН	24	15	11	24	15	11	24	15	11	24

7.3. Расчет пенного пылеуловителя

Удаление пыли в аппаратах мокрой очистки происходит благодаря смачиванию частичек пыли жидкостью. Процесс протекает тем эффективнее, чем больше поверхность контакта фаз между газом и жидкостью, что достигается, например, диспергированием жидкости на капли или газа на множество пузырей, формирующих пену.

К мокрым пылеуловителям относят барботажно-пенные пылеуловители с провальной и переливной решетками (тарелками). В таких аппаратах газ на очистку поступает под решетку, проходит через отверстия в решетке и, барботируя через слой жидкости и пены, очищается от пыли за счет осаждения частиц на поверхности газовых пузырей.

Тарелки с переливом имеют отверстия диаметром 3-8 мм и свободное сечение $0,15-0,25 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Провальные тарелки могут быть дырчатыми, щелевыми, трубчатыми и колосниковыми. Дырчатые тарелки имеют отверстия $d_o = 4-8 \text{ мм}$. Ширина щелей у остальных конструкций тарелок равна 4-5 мм. Свободное сечение всех тарелок составляет $0,2-0,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Режим работы аппаратов зависит от скорости подачи газа под решетку. При скорости до 1 м/с наблюдается барботажный режим работы. Дальнейший рост скорости газа до 2-2,5 м/с сопровождается возникновением пенного слоя над жидкостью, что приводит к повышению эффективности очистки газа и брызгоуноса из аппарата. Современные барботажно-пенные аппараты обеспечивают эффективность очистки газа от мелкодисперсной пыли 0,95-0,96 при удельных расходах воды $0,4-0,5 \text{ л/м}^3$ [3, 4].

Среди аппаратов мокрой очистки газов широкое распространение получили пенные газоочистители ЛТИ. Они могут быть с провальной и переливной решетками. Аппараты с переливной решеткой и сливным устройством позволяют работать при больших колебаниях нагрузки по газу и жидкости.

Корпус пылеуловителя может быть круглого или прямоугольного сечения. В первом случае обеспечивается более равномерное распределение газа, во втором – жидкости.

На рис. 7.3 показана схема пенного пылеуловителя с переливной решеткой для очистки газов с отводом воды через сливное устройство.

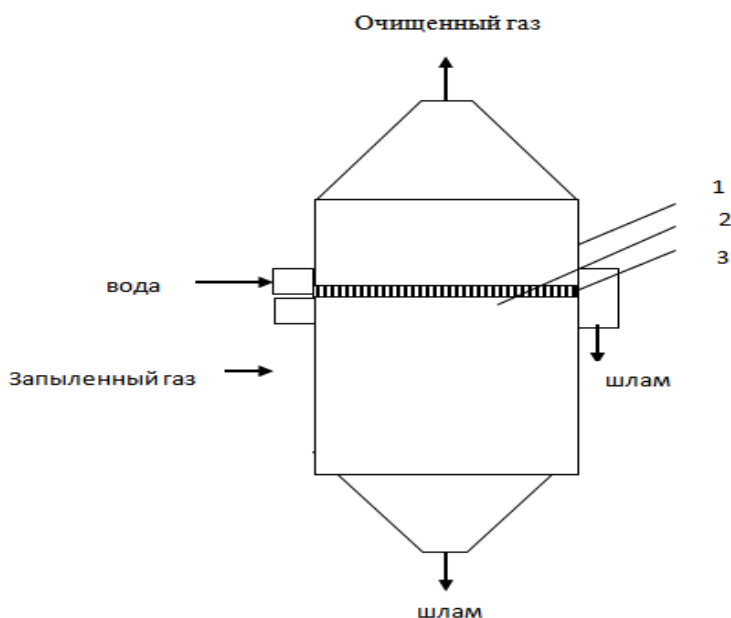


Рис. 7.3. Схема пенного пылеуловителя:
1 – корпус; 2 – решетка; 3 – сливной порог

Площадь поперечного сечения аппарата S , м^2 , определяют по формуле

$$S = \frac{Q_n}{\omega}, \quad (7.16)$$

где Q_n – расход газа, поступающего в аппарат при рабочих условиях, $\text{м}^3/\text{с}$.

Расход поступающей воды L , $\text{кг}/\text{с}$, рассчитывают исходя из материального баланса пылеулавливания:

$$L = L_y + L_{сл}, \quad (7.17)$$

где L_y – расход воды, стекающей через отверстия в решетке (утечка), $\text{кг}/\text{с}$;

$L_{сл}$ – расход воды, стекающей через сливной порог, $\text{кг}/\text{с}$.

Величина L_y определяется массовым расходом уловленной пыли G_n , $\text{кг}/\text{с}$; концентрацией пыли в утечке x_y , кг пыли/ кг воды; коэффициентом распределения пыли между утечкой и сливной водой K_p , выраженным отношением расхода пыли, попадающей в утечку, к общему расходу уловленной пыли:

$$L_y = \frac{G_n K_p}{x_y}. \quad (7.18)$$

Расход уловленной пыли G_n , кг/с, может быть определен из выражения

$$G_n = Q_n c_n \eta, \quad (7.19)$$

где c_n – начальная концентрация пыли в газе, кг/м³; η – заданная эффективность пылеулавливания, доли единицы.

Коэффициент распределения K_p находится в диапазоне 0,6-0,8; в расчетах обычно принимают $K_p = 0,7$.

Поскольку в утечку попадает больше пыли, чем в воду, стекающую через сливной порог, то для уменьшения общего расхода воды целесообразно уменьшать величину $L_{сл}$. Однако слишком сильная утечка создает неравномерность высоты слоя воды на решетке. Поэтому в расчетах рекомендуется принимать $L_{сл} = L_y$. Исходя из этого, выражение (7.17) приводится к виду

$$L = \frac{2G_n K_p}{x_y}. \quad (7.20)$$

Доля свободного сечения решетки S_o , отвечающей выбранной скорости определяют по формуле

$$S_o = \frac{\omega}{\omega_o \varphi}, \quad (7.21)$$

где φ – отношение перфорированной площади решетки к площади сечения аппарата ($\varphi = 0,9 - 0,95$).

Исходя из величины S_o , определяют шаг t , м, между отверстиями в зависимости от способа разбивки отверстий на решетке. При разбивке по равнобедренному треугольнику

$$t = d_o \sqrt{\frac{0,91}{S_o}}. \quad (7.22)$$

Толщину решетки δ выбирают по конструктивным соображениям. Минимальному гидравлическому сопротивлению отвечает $\delta = 5$ мм.

Высоту слоя пены определяют по формуле

$$H = K_n - 1,95\omega + 0,09, \quad (7.23)$$

где K_n – коэффициент скорости пылеулавливания;

$$\hat{E}_n = \frac{2\eta \cdot \omega}{2 - \eta}, \quad (7.24)$$

где η – заданная степень очистки газа от пыли.

Высоту сливного порога h_n , м, рассчитывают по эмпирической формуле

$$h_n = 2,5 h_o - 0,0176 \sqrt[3]{i^2}, \quad (7.25)$$

где h_o – высота исходного слоя воды на решетке, м:

$$h_o = 1,43 H^{1,67} \omega^{-0,83}, \quad (7.26)$$

i – интенсивность потока на сливе с решетки, кг/(м·с):

$$i = \frac{L_{сл}}{b_c}, \quad (7.27)$$

где b_c – ширина сливного отверстия.

Задание 3

Необходимо рассчитать основные рабочие характеристики пенного аппарата, имеющего круглое поперечное сечение, для очистки газа от гидрофильной, не склонной к слипанию, пыли водой. При расчете пенных пылеуловителей определяют площадь поперечного сечения аппарата S , м²; расход воды L , кг/с, который требуется для очистки газа; долю свободного сечения решетки S_o ; высоту слоя пены H и сливного порога h_n , обеспечивающих нормальную работу аппарата. Исходные данные для расчета приведены в табл. 7.8. В ней приняты обозначения: ω – расчетная скорость газа, м/с; Q – расход газа, м³/ч; C_H – начальная концентрация пыли в газе, кг/м³; X_y – концентрация пыли в утечке, кг/кг; η – эффективность очистки, d_o – диаметр отверстия решетки, мм; d_c – ширина сливного отверстия, мм. Для всех вариантов: температура газа 60 °С.

Таблица 7.8

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_y , кг/кг	0,10	0,12	0,20	0,16	0,14	0,15	0,12	0,11	0,16	0,18

η	0,98	0,96	0,95	0,99	0,97	0,96	0,98	0,96	0,95	0,95
$C_H, \text{кг/м}^3$	0,0040	0,0048	0,0072	0,0064	0,0068	0,0055	0,0048	0,0037	0,0084	0,0056
$Q, \text{м}^3/\text{ч}$	10000	10500	11000	11500	12000	1250	17000	16500	13000	14000
$\omega, \text{м/с}$	0,5	3,5	1,0	2,0	2,5	2,8	3,0	3,2	1,2	3,4
$d_o, \text{мм}$	6,0	5,4	3,6	2,6	2,0	4,8	4,4	4,6	5,4	5,8
$d_c, \text{мм}$	2,0	2,2	2,4	2,0	2,2	2,4	2,0	2,2	2,4	2,0

7.4. Расчет скруббера Вентури

Работа скруббера Вентури основана на дроблении воды турбулентным газовым потоком, захвате каплями воды частиц пыли, последующей их коагуляции и осаждении в каплеуловителе инерционного типа.

Скруббер Вентури включает в себя трубу Вентури и прямоточный циклон-каплеуловитель (рис. 7.4).

Труба Вентури состоит из конфузора 1, служащего для увеличения скорости газа, оросительного устройства 4, горловины 2, в которой происходит осаждение частиц пыли на каплях воды, и диффузора 3, в котором протекают процессы коагуляции. В каплеуловителе 5 благодаря тангенциальному вводу газа создается вращение газового потока, вследствие чего смоченные и укрупненные частицы пыли отбрасываются на стенки и непрерывно удаляются из каплеуловителя в виде шлама.

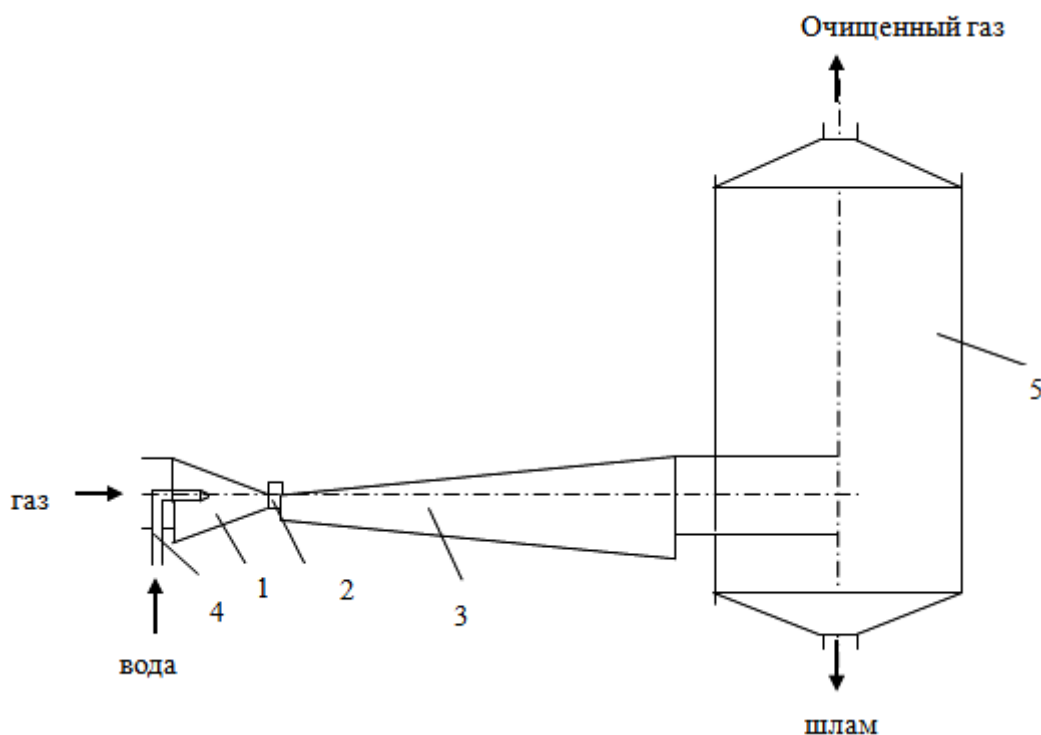


Рис. 7.4. Схема скруббера Вентури:
 1 – конфузор; 2 – горловина; 3 – диффузор;
 4 – оросительное устройство; 5 – каплеуловитель

Скрубберы Вентури могут работать с высокой эффективностью $\eta = 96-98$ % на **пыли** со средним размером частиц 1-2 мкм и улавливать высокодисперсные частицы пыли (до 0,01 мкм) в широком диапазоне начальной концентрации пыли в газе – от 0,05 до 100 г/м³.

При работе в режиме тонкой очистки скорость газов в горловине должна поддерживаться в пределах 100-150 м/с.

Расчет эффективности очистки мокрых пылеуловителей наиболее часто проводят на основе энергетического метода.

Необходимая эффективность η работы аппарата определяем по формуле

$$\eta = \frac{C_n - C_k}{C_n}, \quad (7.28)$$

где C_n – начальная концентрация пыли в газе, мг/м³; C_k – конечная концентрация пыли в газе, мг/м³.

Число единиц переноса определяют по формуле

$$N_x = \ln \frac{1}{1 - \eta}. \quad (7.29)$$

Удельная энергия K_T , затрачиваемая на пылеулавливание, определяется по формуле

$$K_T = \frac{N_q}{B \cdot \varepsilon}. \quad (7.30)$$

Общее гидравлическое сопротивление Δp скруббера Вентури определяют по формуле

$$\Delta \delta = \hat{E}_o - \delta_a m, \quad (7.31)$$

где m – удельный расход на орошение, принимаем $m = 0,0012$ м³/м³;
 $p_{ж}$ – давление воды, поступающей на орошение, кПа.

Плотность газа на входе в трубу Вентури при рабочих условиях ρ_1 , кг/м³, определяют по формуле

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{273(101,3 - \Delta p)}{(273 + t_1)101,3} \quad (7.32)$$

Объемный расход газа, поступающего в трубу Вентури при рабочих условиях V_1 , м³/с, определяют по формуле

$$V_1 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_1}. \quad (7.33)$$

Расход орошающей воды $M_{жс}$, кг/с, определяют по формуле

$$M_{жс} = V_1 m. \quad (7.34)$$

Температура газов на выходе из скруббера Вентури t_2 , °С, определяют по следующей эмпирической формуле:

$$t_2 = (0,133 - 0,041m) t_1 + 35. \quad (7.35)$$

Плотность газов на выходе из скруббера Вентури ρ_2 , кг/м³, определяют по формуле

$$\rho_2 = \rho_0 \frac{273(101,3 - p_1 - \Delta p)}{(273 + t_2)101,3}. \quad (7.36)$$

Объемный расход газа на выходе из трубы Вентури V_2 , м³/с, определяют по формуле

$$V_2 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_2}. \quad (7.37)$$

Диаметр циклона-каплеуловителя D_u , м, определяют по формуле

$$D_u = 1,13 \sqrt{\frac{V_2}{\omega_u}}, \quad (7.38)$$

где ω_u – скорость газа в циклоне-каплеуловителе (принимается равной 2,5 м/с).

Высота циклона-каплеуловителя H , м, определяют по формуле

$$H = 2,5D_u. \quad (7.39)$$

Гидравлическое сопротивление циклона-каплеуловителя Δp_u , Па, определяют по формуле

$$\Delta p_{\delta} = \xi_{\delta} \frac{\omega_{\delta}^2 \cdot \rho_2}{2}, \quad (7.40)$$

где ξ_{δ} – коэффициент сопротивления циклона-каплеуловителя (для прямого циклона $\xi_{\delta} = 30 - 33$).

Гидравлическое сопротивление трубы Вентури Δp_T , Па, определяют по формуле

$$\Delta p_T = \Delta p - \Delta p_{\delta}. \quad (7.41)$$

Коэффициент сопротивления, обусловленный вводом орошающей жидкости, для нормализованной трубы Вентури $\xi_{ж}$:

$$\xi_{ж} = 0,63 \xi_{н} \left(\frac{\dot{I}_{\alpha} \rho_{\bar{A}}}{\dot{I}_{\bar{A}} \rho_{\alpha}} \right)^{-0,3} \quad (7.42)$$

где ξ_c – коэффициент сопротивления сухой трубы ($\xi_c = 0,12 - 0,15$); M_T – массовый расход газа, кг/с.

Необходимая скорость газов в горловине трубы Вентури ω_2 , м/с, определяют по формуле

$$\omega_2 = \sqrt{\frac{2\Delta p_{\delta}}{\xi_{н} \cdot \rho_2 + \xi_{ж} \cdot \rho_{\alpha} \cdot m}}. \quad (7.43)$$

Диаметр горловины трубы Вентури d , м, определяют по формуле

$$d = 1,13 \sqrt{\frac{V_2}{\omega_2}}. \quad (7.44)$$

Задание 4

Рассчитайте скруббер Вентури для очистки газов, содержащих известковую пыль. При расчете необходимо определить: расход орошающей воды $M_{ж}$, кг/с; высоту циклона-каплеуловителя H , м; гидравлическое сопротивление трубы Вентури Δp_T , Па; диаметр горловины трубы Вентури d , м. Исходные данные для расчета приведены в табл. 7.9. В ней приняты обозначения: V_o – расход газа, м³/ч; p_1 – разрежение перед газоочисткой, кПа; C_n – концентрация пыли в газе, г/м³; t_1 – температура газа, °С. Для всех вариантов: 1) плотность газа $\rho_o = 1,26$ кг/м³; 2) давление воды, поступающей на

орошение, $p_{жс}=300$ кПа; 3) требуемая концентрация пыли в газе на выходе из аппарата $C_k = 20$ мг/м³; 4) константы: $B = 6,9 \times 10^{-3}$, $\varepsilon = 0,67$.

Таблица 7.9

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_o, \text{ м}^3/\text{ч}$	1200	1800	2000	440	1680	1486	1680	2240	1268	1580
$p_1, \text{ кПа}$	1,4	1,6	1,2	1,8	2,0	1,4	1,6	1,2	1,8	2,0
$C_n, \text{ г/м}^3$	1,0	1,4	1,2	1,6	1,5	1,9	1,8	1,4	1,3	1,7
$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	40	60	70	40	70	80	50	48	66	80

7.5. Расчет абсорбера

Наибольшее распространение для очистки отходящих газов от токсичных примесей получили абсорбционные методы.

Абсорбер (от лат. absorbeo - поглощаю) – аппарат для поглощения газов, паров, для разделения газовой смеси на составные части растворением одного или нескольких компонентов этой смеси в жидкости, называемой абсорбентом (поглотителем). Абсорбер обычно представляет собой колонку с насадкой или тарелками, в нижнюю часть которой подается газ, а в верхнюю – жидкость; газ удаляется из абсорбера сверху, а жидкость – снизу.

Процессы абсорбции проводят в поверхностных, пленочных, насадочных, тарельчатых и распыливающих абсорберах.

Насадочный абсорбер (рис.7.5, а) представляет собой металлическую или керамическую колонну, внутри которой имеется несколько горизонтальных решёток 1 с расположенными на них слоями насадки 2 (кокс, металлические или керамические кольца, деревянные решётки, камни и др.), предназначенной для увеличения поверхности соприкосновения газа с жидкостью. Смесь газов поступает в нижнюю часть колонны по трубопроводу, а абсорбент, подаваемый по трубе 4, стекает вниз по насадке навстречу поднимающейся смеси газов. В результате противоточного контактирования газа и жидкости происходит наиболее полное растворение поглощаемых компонентов газовой смеси в абсорбенте. Непоглощённые компоненты газовой смеси удаляются из аппарата по трубопроводу 5, а насыщенный абсорбент вытекает снизу по трубопроводу 6. Конусы 7 между секциями насадки 2 направляют абсорбент, вытесняемый газом к центру для более равномерного орошения.

а

б

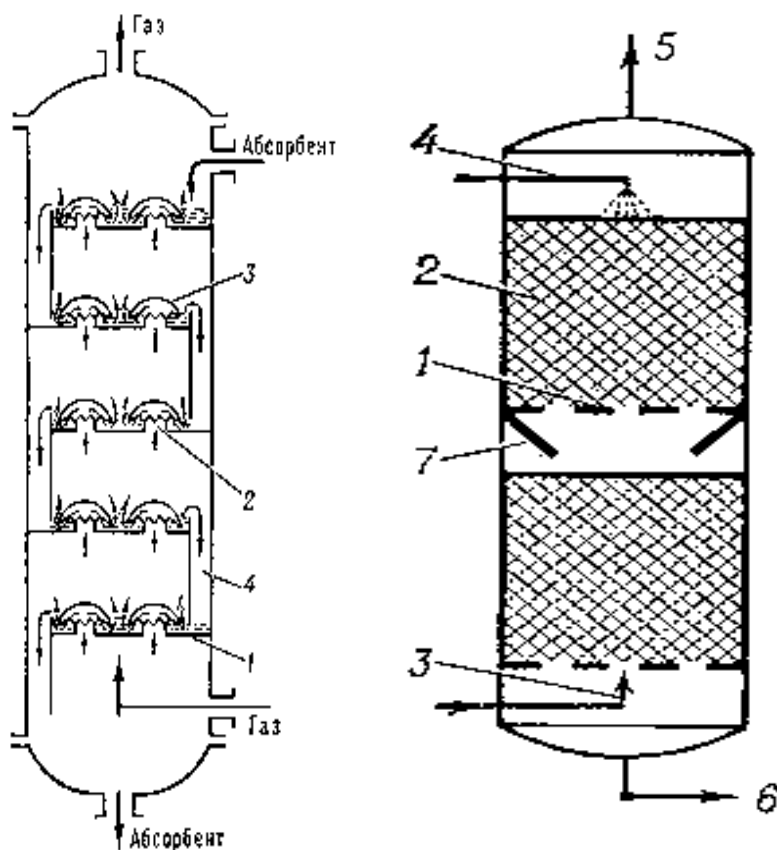


Рис. 7.5. Схема абсорберов:
а) насадочного; б) тарельчатого

Более сложен тарельчатый абсорбер, представляющий собой колонну (рис. 7.5, б), в которой вместо решёток и насадки установлены тарелки 1, снабженные патрубками 2, колпачками 3 с зубчатыми краями и переливными трубками 4. Абсорбент стекает с тарелки на тарелку по переливным трубкам, а смесь газов движется снизу вверх, барботируя через слой жидкости. При прохождении между зубьями колпачков газовый поток разбивается на множество мелких пузырьков, что обеспечивает большую поверхность соприкосновения газа и жидкости. В ряде случаев вместо тарелок с колпачками устанавливаются тарелки, в которых просверлено большое число отверстий - ситчатые тарелки.

Расчет диаметра и высоты насадочного абсорбера проводится в следующей последовательности [6].

Количество поглощаемого ацетона M , кмоль/ч, определяют по формуле

$$M = \frac{Q y_n c_n}{(1 - y_n) 22,4}, \quad (7.45)$$

где Q – расход воздуха, м³/ч ; y_n – начальная концентрация ацетона в воздухе, доли ед.; c_n – степень поглощения, доли ед.

Начальная концентрация ацетона в воде, подаваемой на верх абсорбера, $X_0 = 0$.

Конечная концентрация ацетона в воде, вытекающей внизу из абсорбера X_n , кмоль ацетона/кмоль воды, определяют по формуле

$$X_n = \frac{M}{L / M_B} , \quad (7.46)$$

где M_B – мольная масса воды, $M_B = 18$; L – расход воды, кг/ч.

Начальная концентрация ацетона в воздухе внизу при входе в абсорбер Y_n , кмоль ацетона/кмоль воздуха, определяют по формуле

$$Y_n = \frac{y_n}{1 - y_n} . \quad (7.47)$$

Конечная концентрация ацетона в воздухе, выходящем из абсорбера Y_0 , кмоль ацетона/кмоль воздуха, определяют по формуле

$$Y_0 = \frac{y_n(1 - c_n)}{1 - y_n} . \quad (7.48)$$

Находят движущую силу абсорбции в низу абсорбера ΔY_n , кмоль ацетона/кмоль воздуха, по формуле

$$\Delta Y_n = Y_n - Y_n^* . \quad (7.49)$$

Значение Y_n^* находим по уравнению равновесной линии для X_n , соответствующего низу абсорбера:

$$Y_n^* = 1,68 X_n . \quad (7.50)$$

Находят движущую силу абсорбции на верху абсорбера ΔY_0 , кмоль ацетона/кмоль воздуха, по формуле

$$\Delta Y_0 = Y_0 - Y_0^* . \quad (7.51)$$

Среднюю движущую силу ΔY_{cp} , кмоль ацетона/кмоль воздуха, определяют по формуле

$$\Delta Y_{cp} = \frac{\Delta Y_n - \Delta Y_e}{2,3 \lg \frac{\Delta Y_n}{\Delta Y_e}}. \quad (7.52)$$

Требуемую поверхность массопередачи F , m^2 , находят по уравнению

$$F = \frac{M}{K_y \Delta Y_{cp}}, \quad (7.53)$$

где K_y – коэффициент массопередачи.

Объем V , m^3 , слоя керамических колец, необходимый для создания найденной поверхности, при коэффициенте смоченности насадки $\psi = 1$ равен:

$$V = \frac{F}{\sigma}, \quad (7.54)$$

где σ – удельная поверхность насадки, $\sigma = 204 \text{ м}^2/\text{м}^3$ [8].

Фиктивную скорость газа ω_3 в точке захлебывания (инверсии) определяют по формуле

$$\omega_3 = \lg \left(\frac{\sigma \cdot \rho_g \cdot \mu_{ж}}{g \cdot V_{св}^3 \cdot \rho_{ж}} \right), \quad (7.55)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$; $V_{св}$ – свободный объем насадки, $V_{св} = 0,74 \text{ м}^3/\text{м}^3$ [6]; ρ_g и $\rho_{ж}$ – плотности газа и жидкости, кг/м^3 ; $\rho_{ж} = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\mu_{ж}$ – динамический коэффициент вязкости жидкости, $\mu_{ж} = 1 \text{ мПа}\cdot\text{с}$.

Плотность газа ρ_g равна:

$$\rho_g = \rho_o \frac{T_o}{T}, \quad (7.56)$$

где ρ_o – плотность воздуха при нормальных условиях, $\rho_o = 1,293 \text{ кг/м}^3$; T – средняя температура в абсорбере, $T = 293 \text{ К}$; $T_o = 273 \text{ К}$.

Массовый расход газа G определяют по формуле

$$G = Q \cdot \rho_o, \quad (7.57)$$

где Q – расход воздуха, м³/ч.

Рабочую (фиктивную) скорость газа ω для абсорберов, работающих в пленочном режиме, определяют по формуле

$$\omega = 0,75 \omega_3 . \quad (7.58)$$

Площадь поперечного сечения абсорбера S , м²:

$$S = \frac{G}{3600 \omega \rho_2} . \quad (7.59)$$

Диаметр корпуса абсорбера D , м², определяют по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4S}{\pi}} . \quad (7.60)$$

Требуемая высота насадки H_n :

$$H_n = \frac{V}{S} . \quad (7.61)$$

Задание 5

Найдите диаметр и высоту насадочного абсорбера, заполненного керамическими кольцами размером 25×25×3 мм, для очистки воздуха от паров ацетона водой. Исходные данные для расчета приведены в табл. 7.10. В ней приняты следующие обозначения: L – расход воды, кг/ч; Q – расход воздуха, м³/ч; Y_n – начальная концентрация ацетона в воздухе, % (об.); c_{II} – степень поглощения. Для всех вариантов: 1) средняя температура в абсорбере $T = 293$ К; 2) коэффициент массопередачи $K_y = 0,4$ кмоль ацетона / (м²·ч × кмоль ацетона / кмоль воздуха); 3) коэффициент смоченности насадки $\psi = 1$. Уравнение линии равновесия: $Y^* = 1,68 X$.

Таблица 7.10

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
L , кг/ч	2800	3200	3040	3690	3562	2357	2020	3234	2840	2422
Q , м ³ /ч	1200	1340	1210	1236	1280	1380	1326	1324	1386	1348
Y_n , % (об.)	4	5	6	4	5	6	4	5	6	5
c_{II}	0,96	0,87	0,86	0,97	0,96	0,97	0,96	0,97	0,96	0,97

8. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ГИДРОСФЕРЫ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

Одним из направлений работы специалистов по охране окружающей среды является проектирование станций очистки бытовых, производственных и поверхностных сточных вод, а также станций подготовки питьевой и технической воды. При реконструкции и модернизации очистных сооружений специалистам по их эксплуатации необходимо знать и уметь рассчитывать как параметры технологического процесса очистки, так и основные характеристики технологического оборудования.

8.1. Расчет оборотной системы водоснабжения

В промышленном водоснабжении основную роль играют системы оборотного водоснабжения. Нагретая в теплообменных аппаратах оборотная вода охлаждается в градирнях, брызгальных бассейнах, водохранилищах (прудах) – охладителях или других устройствах и циркуляционными насосами снова подается в цикл. При этом она многократно и последовательно подвергается различным физико-химическим воздействиям - изменяет температуру, аэрируется, в некоторых случаях загрязняется и частично теряется вследствие испарения и капельного уноса в атмосферу. Испарение части воды вызывает постепенное повышение ее минерализации. Вода становится коррозионно-активной, способной к отложению минеральных солей, постепенно в ней накапливаются пыль и продукты коррозии. Поэтому для восполнения потерь оборотной воды и восстановления ее качества системы получают подпиточную воду.

Оборотное водоснабжение можно осуществить в виде единой системы для всего промышленного предприятия либо в виде отдельных циклов для отдельного цеха или группы цехов.

В обычных системах оборотного водоснабжения, где циркулирующая вода не загрязняется технологическими продуктами, повышение минерализации предотвращается продувкой (сбросом части оборотной воды) и пополнением системы подпиточной свежей водой из природных источников, которая проходит необходимую очистку и корректировку состава.

В зависимости от качества оборотной воды и требований, предъявляемых к качеству потребляемой воды, часть общего расхода оборотной воды может подвергаться обработке (умягчению, обессоливанию, удалению взвесей и т.п.) с последующим возвращением ее в систему.

Вместо свежей воды для подпитки можно использовать дочищенную до норм качества технической воды смесь промышленных и бытовых сточных вод, предварительно прошедших биологическую очистку, либо промышленные стоки после достаточно глубокой локальной физико-химической очистки.

Подпитка замкнутых систем свежей водой допускается в случае, если недостаточно очищенных сточных вод для восполнения потерь воды.

Схема оборотной системы водоснабжения с охлаждением воды и подпиткой свежей водой из водоема представлена на рис. 8.1.

Потери воды на испарение при охлаждении Q_1 , м³/ч, определяются по формуле

$$Q_1 = K_{исп} \Delta t Q, \quad (8.1)$$

где $K_{исп}$ – коэффициент, учитывающий долю теплоотдачи испарением в общей теплоотдаче, принимаемый для брызгальных бассейнов и градирен в зависимости от температуры воздуха (по сухому термометру) (табл. 8.1), а для водохранилищ (прудов)-охладителей – в зависимости от естественной температуры в водотоке; Δt – перепад температур воды, °С; Q – расход оборотной воды, м³/ч.

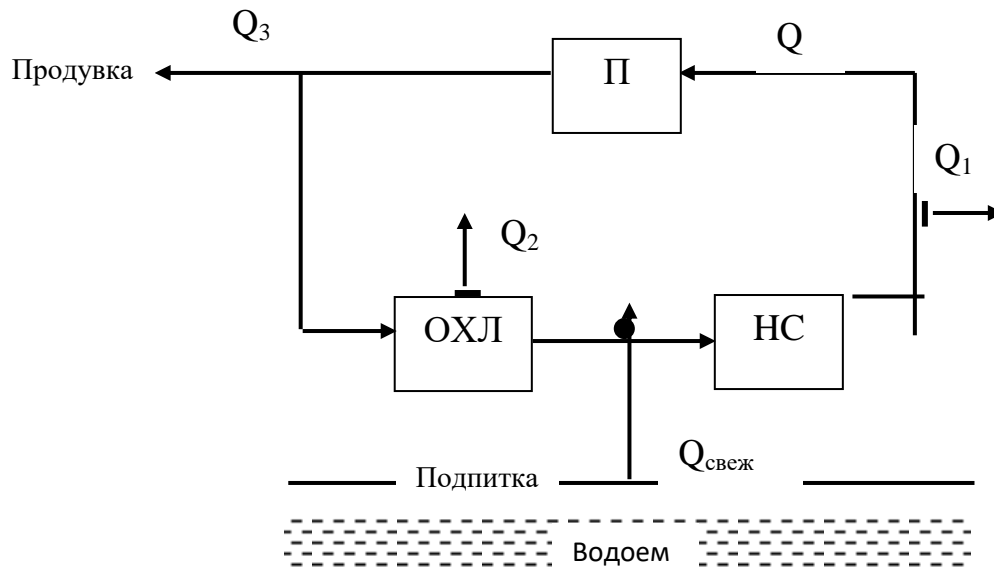


Рис. 8.1. Схема оборотной системы водоснабжения:
П – производство; **ОХЛ** – система охлаждения воды; **НС** – насосная станция;
 Q – расход оборотной воды; Q_1 – потери воды при испарении;
 Q_2 – потери воды при разбрызгивании; Q_3 – потери воды при продувке

Таблица 8.1

Температура воздуха $t_{возд}$, °С	0	10	20	30	40
Значения коэффициента $K_{исп}$ для градирен и брызгальных бассейнов	0,001	0,0012	0,0014	0,0015	0,0016

Перепад температур воды равен

$$\Delta t = t_1 - t_2, \quad (8.2)$$

где t_1 – температура воды, поступающей на охладитель (пруд, брызгальный бассейн, градирню); t_2 – температура охлажденной воды.

Потери воды p_2 в брызгальных бассейнах и градирнях вследствие уноса ветром принимаются по табл. 8.2 [4].

Таблица 8.2

Потери воды p_2 в брызгальных бассейнах и градирнях вследствие уноса ветром

Охладитель	Потери воды p_2 вследствие уноса ветром, % расхода охлаждаемой воды
Вентиляторные градирни с водоуловительными устройствами: при отсутствии в оборотной воде токсичных веществ; при наличии токсичных веществ	0,1 – 0,2 0,05
Башенные градирни без водоуловительных устройств	0,5 – 1
Башенные градирни с водоуловительными устройствами	0,01 – 0,05
Открытые и брызгальные градирни	1 – 1,5
Брызгальные бассейны производительностью, м ³ /ч:	
до 500	2 – 3
св. 500 до 5000	1,5 – 2
св. 5000	0,75 - 1

Требования к качеству оборотной воды и воды для подпитки теплообменных систем оборотного водоснабжения в химической промышленности приведены в табл.8.3.

Таблица 8.3

Требования к качеству оборотной воды и воды для подпитки теплообменных систем оборотного водоснабжения в химической промышленности

Показатель	Оборотная вода	Подпитывающая вода	
		при работе со сбросом (продувкой) p_3	при работе без сброса (замкнутый цикл)
Жесткость, экв/м ³ :			
карбонатная	2,5	2	0,9
постоянная	5	4	1,9
Общее солесодержание, г/м ³	1200	900	445
Окисляемость перманганатная (на O ₂), г/м ³	8 – 15	11,8 – 12,8	3 – 5,7
ХПК (на O ₂), г/м ³	70	55	26
Содержание, г/м ³ :			
хлоридов	300	237	112
сульфатов	350 – 500	277 – 395	119 – 187
фосфора и азота (сумма)	3	2,4	1,1
взвешенных частиц	30	23,6	11,2
масла и смолообразующих веществ	0,3	0,25	0,10

Относительные величины потерь воды в результате разбрызгивания p_2 и продувки p_3 (в долях) определяются следующим образом:

$$p_2 = \frac{Q_2}{Q}; \quad p_3 = \frac{Q_3}{Q}, \quad (8.3)$$

где Q_2, Q_3 – абсолютные величины потерь воды при разбрызгивании и продувке соответственно, м³/ч.

Величина расхода добавляемой в оборотную систему свежей воды $Q_{свеж.}$, м³/ч, из водоема для компенсации потерь воды равна:

$$Q_{свеж.} = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (8.4)$$

Задание 1

Определите величину продувки Q_3 (сброса части оборотной воды из системы) и расхода добавляемой в систему свежей воды $Q_{свеж.}$ из водоема для компенсации потерь воды. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.4.

В ней приняты следующие обозначения: Q – расход оборотной воды, м³/ч;

t_1 – температура воды, поступающей на охладитель, °С; охладитель:

а) вентиляторная градирня с каплеуловителем; б) башенная градирня без каплеуловителя; в) башенная градирня с каплеуловителем; г) брызгальный бассейн до 500 м³/ч. Для всех вариантов: 1) температура охлажденной воды

$t_2 = 28 \text{ }^\circ\text{C}$; 2) температура воздуха $t_{\text{возд}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; 3) лимитирующий загрязнитель – общее солесодержание, г/м^3 .

Таблица 8.4

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q, \text{ м}^3/\text{ч}$	7800	8000	9080	9060	8070	9680	9540	8580	9220	9560
$t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	40	42	44	46	48	46	42	40	48	56
Охладитель	а	б	в	г	а	б	в	г	а	б

8.2. Расчет замкнутой системы водоиспользования

Наиболее перспективный путь уменьшения потребления свежей воды – это создание оборотных и замкнутых систем водоиспользования.

В замкнутых беспродувочных системах стабилизацию оборотной воды производят путем вывода части оборотной воды для корректировки ее минерального состава и последующего возврата в цикл отдельно или совместно со свежей подпиточной водой (рис. 8.2).

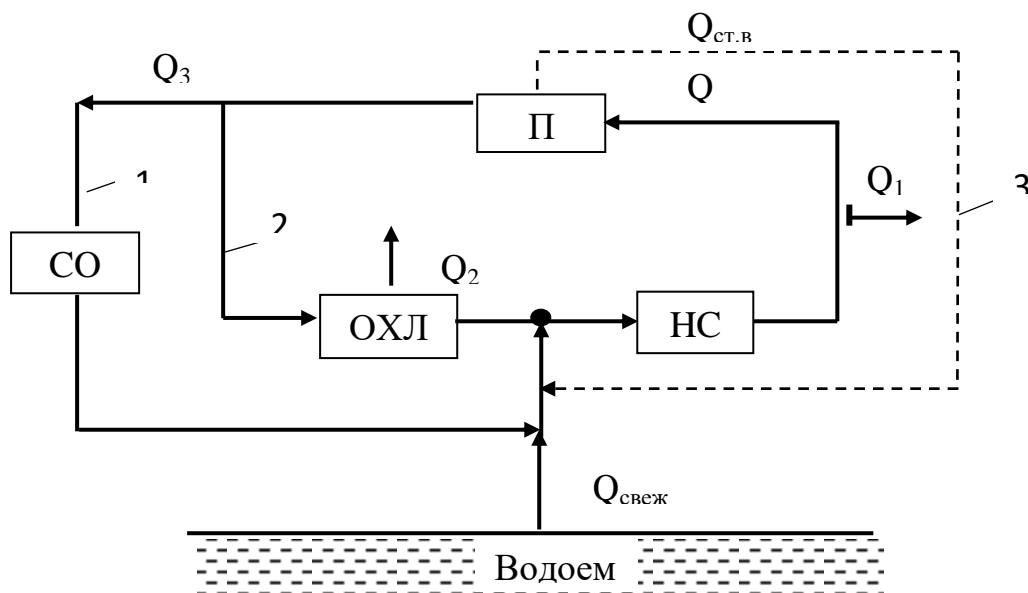


Рис. 8.2. Схема замкнутой системы водоиспользования:

- 1 – основной цикл водооборота; 2 – цикл очистки и возврата воды продувки;
- 3 – возможный цикл возврата сточной воды производства;
- П – производство; ОХЛ – система охлаждения воды; НС – насосная станция;
- СО – система обработки (очистки) части воды

Вместо свежей воды для подпитки можно использовать дочищенную до норм качества технической воды смесь промышленных и бытовых сточных вод, предварительно прошедших биологическую очистку, либо промышленные стоки после достаточно глубокой локальной физико-химической очистки.

Подпитка замкнутых систем свежей водой допускается в случае, если очищенных сточных вод недостаточно для восполнения потерь воды.

Нагретая в теплообменных аппаратах оборотная вода охлаждается в градирнях, брызгальных бассейнах, водохранилищах-охладителях или других устройствах.

Расчетная предельная концентрация C_{np} солей или другого лимитирующего загрязнителя в оборотной системе определяется уравнением

$$C_{np} = \frac{p_1 + p_2 + p_3}{p_2 + p_3} C_o. \quad (8.5)$$

Величина расхода добавляемой в оборотную систему свежей воды $Q_{свеж.}$, м³/ч, из водоема для компенсации потерь воды равна:

$$Q_{свеж.} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_{ст.в.} + C_{ст.в.} \quad (8.6)$$

Задание 2

Определите допустимую концентрацию солей C_o в добавляемой в систему **водоиспользования** воде и расход добавляемой в систему свежей воды $Q_{свеж.}$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.5. В ней приняты следующие обозначения: Q – расход оборотной воды, м³/ч; $Q_{ст.в.}$ – расход сточной воды, м³/ч; $C_{ст.в.}$ – солесодержание сточной воды, мг/л. Для всех вариантов: 1) предельная концентрация солей в системе $c_{np} = 800$ мг/л;

2) потери воды в результате испарения $p_1 = 1,5$ %; 3) потери воды в результате разбрызгивания $p_2 = 0,5$ %; 4) величина продувки $p_3 = 0,5$ %.

Таблица 8.5

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /ч	7800	8000	9080	9060	8070	9680	9540	8580	9220	9560
$Q_{ст.в.}$, м ³ /ч	7,8	8,0	9,08	9,06	8,07	9,68	9,54	8,58	9,22	9,56
$C_{ст.в.}$, мг/л	1780	2080	2080	1820	2020	2040	2160	2080	2260	2148

8.3. Расчет отстойников

Отстаивание является самым простым, наименее трудоемким и дешевым методом выделения из сточной воды грубодиспергированных

примесей, плотность которых отличается от плотности воды. Под действием силы тяжести загрязнения оседают на дно или всплывают на поверхность.

В зависимости от направления движения очищаемой воды различают три основных вида отстойников: вертикальные, горизонтальные, и радиальные. В отстойнике любого вида различают две зоны: зону осаждения взвешенных веществ и зону накопления и уплотнения осадка

8.3.1. Расчет вертикального отстойника

При очистке сточных вод широко распространены процессы разделения гетерогенных систем на отдельные фазы путем осаждения частиц дисперсной фазы в дисперсионной среде под действием различных внешних сил. Так, для выделения твердых частиц из жидких сред широко применяются отстойники, основанные на осаждении частиц под действием силы тяжести (рис. 8.3).

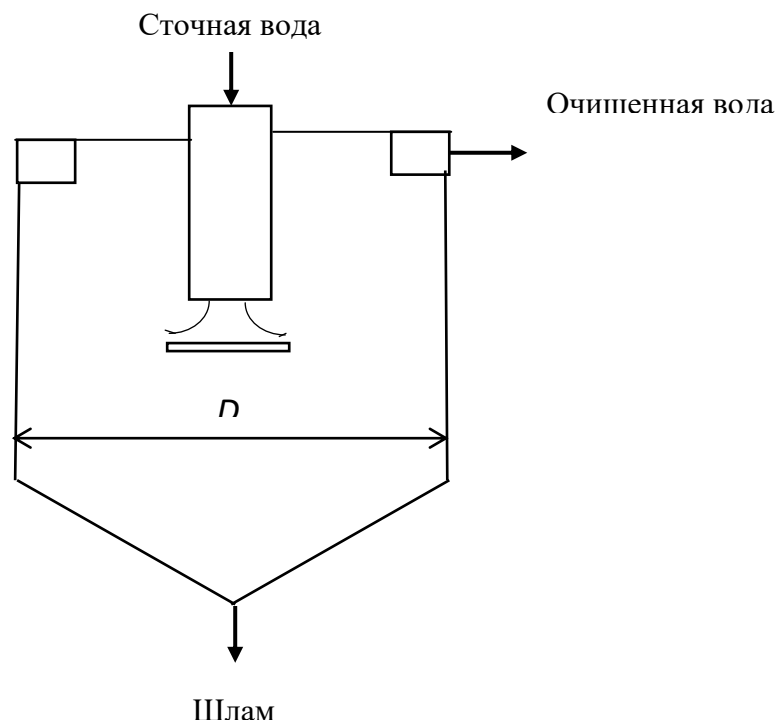


Рис. 8.3. Схема вертикального отстойника

При движении частицы в жидкости возникает сопротивление, величина которого зависит главным образом от режима движения, формы и поверхности движущейся частицы.

Ламинарный режим движения имеет место при малых размерах частиц и высокой вязкости среды, что обуславливает небольшие скорости движения частицы.

Турбулентный режим движения частицы в жидкости наблюдается при больших размерах частиц и малой вязкости среды, то есть при высоких скоростях движения частиц, когда все большую роль начинают играть силы инерции.

Переход от ламинарного к турбулентному движению характеризуется критическими значениями чисел Рейнольдса Re и Архимеда Ar .

Рассмотрим процесс осаждения твердой частицы в неподвижной жидкой среде под действием силы тяжести.

Если частица массой m начинает опускаться под действием силы тяжести, через некоторый промежуток времени наступит динамическое равновесие: сила тяжести станет равна силе сопротивления среды и частица станет двигаться равномерно. Скорость такого равномерного движения частицы в среде называют скоростью осаждения w_{oc} . Скорость осаждения w_{oc} можно рассчитать по формуле Стокса, соответствующей ламинарному режиму осаждения шарообразных частиц в неподвижной газообразной или жидкой среде под действием силы тяжести

Диаметр отстойника D , м, равен

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (8.7)$$

где F – поверхность осаждения, m^2 , можно найти по формуле

$$F = \frac{Q}{w'_{oc}}, \quad (8.8)$$

где Q – объемный расход сточных вод, m^3/c ; w'_{oc} – средняя расчетная скорость осаждения, м/с, определяемая по формуле

$$w'_{oc} = 0,5w_{oc}, \quad (8.9)$$

где w_{oc} – скорость осаждения, м/с, при которой осаждающиеся частицы практически не оказывают влияния на движение друг друга.

$$w_{oc} = \frac{Re \mu}{d\rho}, \quad (8.10)$$

где d – диаметр шарообразной частицы, м; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости, кг/м³; ρ – плотность материала частицы, кг/м³; $\mu_{ж}$ – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с; Re – критерий Рейнольдса, зависящий от критерия Архимеда Ar .

$$Ar = \frac{g \cdot d^3 \cdot \rho_{ж} (\rho - \rho_{ж})}{\mu^2}, \quad (8.11)$$

где g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с²;

- для ламинарного режима $Ar \leq 36$

$$Re = \frac{Ar}{18}; \quad (8.12)$$

- для переходной области осаждения $36 < Ar < 83000$

$$Re = 0,152 Ar^{0,715}; \quad (8.13)$$

- для автомодельной области $Ar > 83000$

$$Re = 1,74 \sqrt{Ar}. \quad (8.14)$$

Таким образом, определив значение критерия Ar , находят режим осаждения.

8.3.2. Расчет горизонтальных отстойников

Горизонтальные отстойники представляют собой резервуары с прямоугольным сечением, изготавливаемые, как правило, из железобетона (рис.8.4).

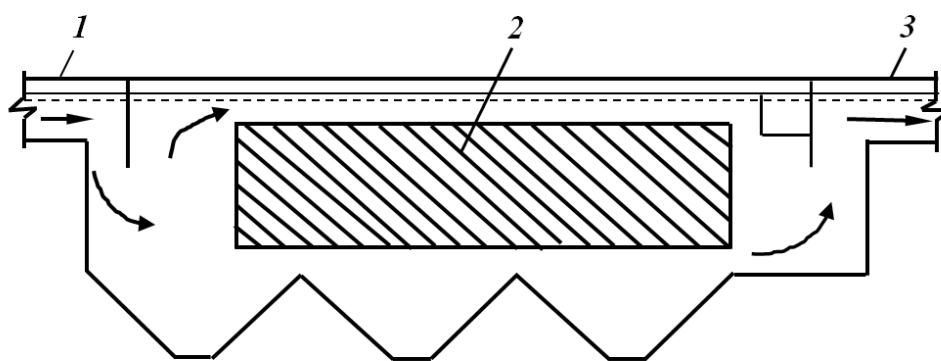


Рис.8.4. Горизонтальный отстойник с тонкослойными блоками:
1 – подача стоков; 2 – тонкослойный блок; 3 – отвод осветленной воды

Для более равномерного распределения очищаемой воды по сечению отстойника он разделен продольными перегородками на секции длиной 3...6 м. Дно отстойника должно иметь уклон не менее 0,01 в направлении, обратном движению воды, и поперечные уклоны не менее 0,05 м.

Для удаления осадка из отстойника используют скребковые транспортеры, сгребающие осадок в приямок с последующим удалением его эжектором или насосом. В некоторых случаях осадок удаляют через специальную дренажную систему, укладываемую на дне отстойника.

Основной расчет горизонтальных отстойников заключается в определении длины зоны осаждения, которая при выбранной средней скорости движения воды в отстойнике обеспечит требуемую эффективность очистки.

Длину отстойника L , м, определяем по формуле

$$L = \frac{\alpha \cdot h_p \cdot W}{W_o}, \quad (8.15)$$

где α – коэффициент, значения которого приведены в табл. 8.6; h_p – глубина зоны осаждения отстойника, выбираемая в соответствии с нормативными документами в диапазоне 2,5...3,5 м; W – скорость горизонтального движения воды, мм/с; W_o – скорость осаждения взвешенных веществ, мм/с.

Таблица 8.6

Значения коэффициента α

Характеристика исходной воды	W_o мм/с	W , мм/с	α
Концентрация взвешенных веществ 200 - 250 мг/л, вода предварительно обработана коагулянтном	0,30-0,45	3-6	1,3-1,8
Концентрация взвешенных веществ более 250 мг/л,	0,50 - 0,60	4-12	1,3-2,0

вода предварительно обработана коагулянтom			
Концентрация взвешенных веществ более 250 мг/л	0,12-0,15	2-3	1,8-3,5

Ширину отстойника определяют по формуле

$$B = \frac{Q}{3,6 \cdot W \cdot h_p}, \quad (8.16)$$

где Q – расход воды в отстойнике, м³/ч.

Если в отстойнике не предусмотрено устройство для постоянного удаления осадка, то объем зоны его накопления и уплотнения рассчитывают по формуле

$$V = \frac{24Q(C_1 - C_2) \cdot T}{\delta}, \quad (8.17)$$

где C_1 и C_2 – концентрация взвешенных веществ в исходной и очищенной воде, мг/л; T – период работы отстойника между его очисткой ($T \geq 12$ сут); δ – концентрация уплотненного осадка, г/л, выбираемая по табл.8.7.

Таблица 8.7

Значения концентрация уплотненного осадка

Концентрация взвешенных веществ в исходной воде, мг/л	≤ 400	400-100	1009-2500
Концентрация уплотненного осадка, г/л	50	60	80-100

8.3.3. Расчет радиальных отстойников

Радиальные отстойники представляют собой цилиндрические железобетонные резервуары, в которые очищаемая вода поступает по оси цилиндра снизу вверх (рис.8.5). Далее вода переливается через воронку на дно и через отверстия в цилиндрической стенке движется к периферии. Медленно вращающаяся металлическая форма со скребками сгребает осадок к центру отстойника, откуда он откачивается. Очищенная вода поступает в кольцевой лоток и отводится из отстойника.

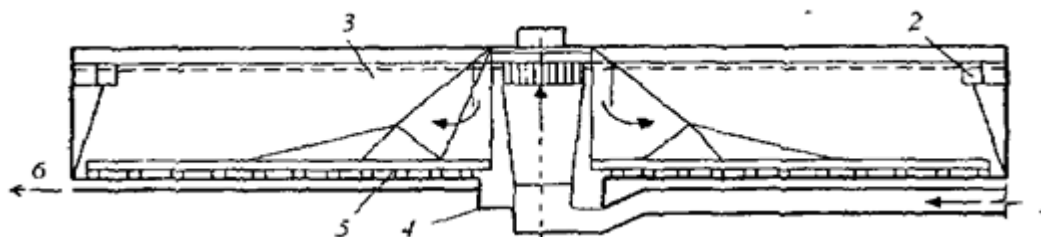


Рис. 8.5. Радиальный первичный отстойник:

1 – подача сточной воды; 2 – сборный лоток; 3 – отстойная зона;
4 – иловый приямок; 5 – скребковый механизм; 6 – удаление осадка

Эффективность очистки определяют по формуле

$$\eta = \frac{C_1 - C_2}{C_1}. \quad (8.18)$$

Скорость осаждения частиц и примесей по формуле

$$W_0 = \frac{g \cdot d_q^2 \cdot (\rho_q - \rho_B)}{18\mu_B}, \quad (8.19)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; d_q – средний диаметр частицы загрязнении; ρ_q и ρ_B – плотности частицы ($2,0-2,8 \text{ г/см}^3$) и воды ($0,9982 \text{ г/см}^3$) соответственно, μ_B – динамическая вязкость воды ($\mu_B=0,00101 \text{ Па}$).

Площадь радиального отстойника находят по формуле

$$S = \alpha(Q/W_0)^{1,7}. \quad (8.20)$$

Радиус отстойника определяют по формуле

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (8.21)$$

Глубину отстойника в его центральной части находят по формуле

$$H_{ц} = H + R, \quad (8.22)$$

где H – глубина отстойника на расстоянии R от его оси.

Диаметр отверстий в цилиндрической кольцевой стенке выбирают равным 30...40 мм, а их общую площадь определяют из уравнения расхода, приняв скорость движения воды в отверстиях равной 0,3...0,4 м/с.

Задание 3

Определите диаметр вертикального отстойника D , м, и режим осаждения частиц. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.8. В ней приняты следующие обозначения: Q – объемный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ρ – плотность частиц, кг/м^3 ; d – диаметр частиц, мкм. Для всех вариантов:

1) плотность жидкости $\rho_{ж} = 1066 \text{ кг/м}^3$; 2) динамическая вязкость жидкости $\mu_{ж} = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Таблица 8.8

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /ч	100	160	240	270	340	350	260	400	180	280
ρ , кг/м ³	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2400	2300	2500	2600
d , мкм	15	20	25	30	35	15	20	25	30	35

Задание 4

Определите длину зоны осаждения горизонтального отстойника, его ширину и объем зоны накопления и уплотнения осадка. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.9.

Таблица 8.9

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
W_o , мм/с	0,30	0,40	0,50	0,12	0,45	0,60	0,15	0,30	0,40	0,50
W , мм/с	6	3	4	2	4	7	3	4	6	5
h_p , м	2,5	3,0	3,5	3,3	2,7	2,6	2,8	3,4	3,5	3,2
Q , м ³ /ч	130	150	230	290	320	340	280	420	220	260
C_2 , мг/л	80	100	180	220	190	300	400	500	450	580
C_1 , мг/л	100	150	200	250	300	360	480	560	500	620

Задание 5

Рассчитайте площадь радиального отстойника. Определите радиус и глубину в его центральной части. Определите эффективность очистки. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.10.

Таблица 8.10

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_2 , мг/л	50	80	140	150	190	200	380	420	440	510
C_1 , мг/л	80	100	160	200	280	300	420	500	520	600
d_{ψ} , мм	0,25	0,22	0,25	0,17	0,23	0,20	0,16	0,19	0,24	0,20
α	1,3	1,5	2,6	2,8	3,5	3,0	2,2	1,7	1,9	3,4
R , м	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05
H , м	1,2	1,8	1,26	1,4	1,68	1,78	1,66	1,60	1,48	1,62

8.4. Расчет сепаратора

В сепараторе непрерывного действия (рис. 8.6) жидкая фаза, представляющая собой смесь жидких веществ, расслаивается вследствие

различия плотностей присутствующих в смеси веществ: легкая часть поднимается вверх и отводится через штуцер 5, а тяжелая опускается вниз и уходит через трубу 4 и штуцер 3.

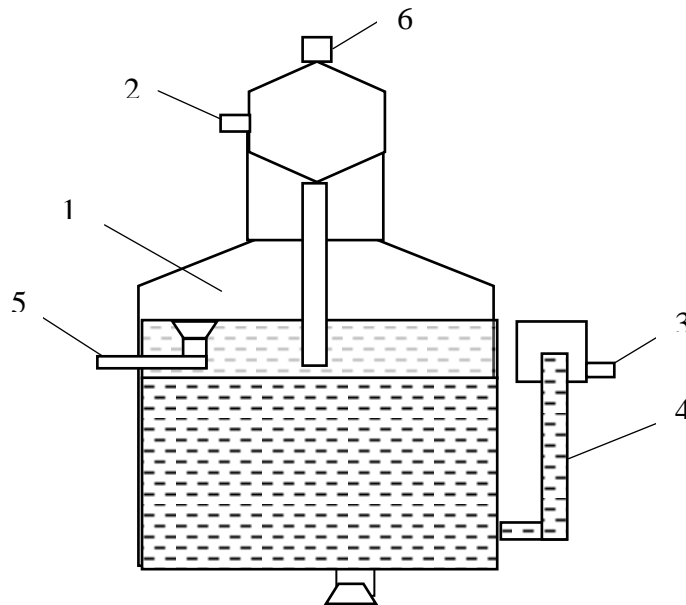


Рис. 8.6. Схема сепаратора:

1 – корпус; 2 – штуцер для подачи смеси жидкостей; 3 – штуцер для отвода нижнего слоя жидкости; 4 – труба для отвода нижнего слоя жидкости;
5 – штуцер для отвода верхнего слоя жидкости; 6 – штуцер для отвода воздуха

Диаметр D , м, сепаратора равен:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad (8.23)$$

где F – площадь поперечного сечения отстойной части сепаратора, м^2 , определяемая по формуле

$$F = \frac{V}{H}, \quad (8.24)$$

где H – рабочая высота отстойники, м; V – объем отстойной части сепаратора, м^3 .

$$V = Q \cdot \tau, \quad (8.25)$$

где Q – расход конденсата, ($\text{м}^3/\text{ч}$); τ – время отстаивания, с, определяемое по формуле

$$\tau = \frac{\dot{I}}{w_{\dot{a}n\ddot{i}e}}, \quad (8.26)$$

где $w_{\dot{a}n\ddot{i}e}$ – скорость всплывания, м/с, определяется по формуле

$$w_{\text{вспл}} = \frac{Re \mu}{d\rho}, \quad (8.27)$$

где μ – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с; d – размер частиц бензина, мкм; ρ – плотность смеси воды и бензина, кг/м³; Re – критерий Рейнольдса, зависящий от критерия Архимеда Ar .

$$Ar = \frac{gd^3 \rho (\rho_{\text{ч}} - \rho)}{\mu^2}, \quad (8.28)$$

где $\rho_{\text{ч}}$ – плотность вещества частицы (бензин), кг/м³; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

По известному критерию Архимеда можно определить режим движения частиц и значение критерия Рейнольдса Re по формулам (8.12)-(8.14).

Задание 6

Рассчитайте диаметр сепаратора D , м, для разделения конденсата (смеси воды и бензина) отстаиванием и режим движения частиц. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.11. В ней приняты следующие обозначения:

Q – расход конденсата, м³/ч; d – размер частиц бензина, мкм. Для всех вариантов: 1) плотность смеси воды и бензина $\rho = 840 \text{ кг/м}^3$; 2) плотность бензина $\rho_{\text{ч}} = 760 \text{ кг/м}^3$; 3) динамический коэффициент вязкости среды $\mu = 1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$; 4) $H=1 \text{ м}$.

Таблица 8.11

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /ч	0,10	0,12	0,16	0,22	0,26	0,34	0,42	0,26	0,18	0,24
d , мкм	8	9	10	11	12	13	12	11	10	9

8.5. Расчет напорного зернистого фильтра

Зернистые фильтры применяют для глубокой очистки вод от мелкодисперсных частиц, а также для доочистки сточных вод после биологической или физико-химической очистки.

Фильтры с зернистым слоем подразделяют на медленные (скорость фильтрования до 0,3 м/ч) и скоростные (скорые – 2-15 м/ч и сверхскорые – более 25 м/ч), открытые и закрытые (напорные), с мелкозернистой фильтрующей загрузкой (размер частиц 0,4 мм), среднезернистой (0,4-0,8 мм) и крупнозернистой (более 0,8 мм), однослойные и многослойные, вертикальные и горизонтальные.

Высота слоя в открытых фильтрах равна 1-2 м, в закрытых 0,5-1 м. Напор воды в закрытых фильтрах создается насосами.

Наиболее широко применяются фильтрующие материалы: кварцевый песок, дробленый антрацит, керамическая крошка и другие.

Промывку фильтров, как правило, производят очищенной водой (фильтратом), подавая ее снизу вверх. При этом зерна загрузки переходят во взвешенное состояние и освобождаются от прилипших частиц загрязнений. Может быть произведена водовоздушная промывка, при которой сначала зернистый слой продувают воздухом для разрыхления, а затем подают воду [9].

Схема вертикального напорного зернистого фильтра представлена на рис. 8.7.

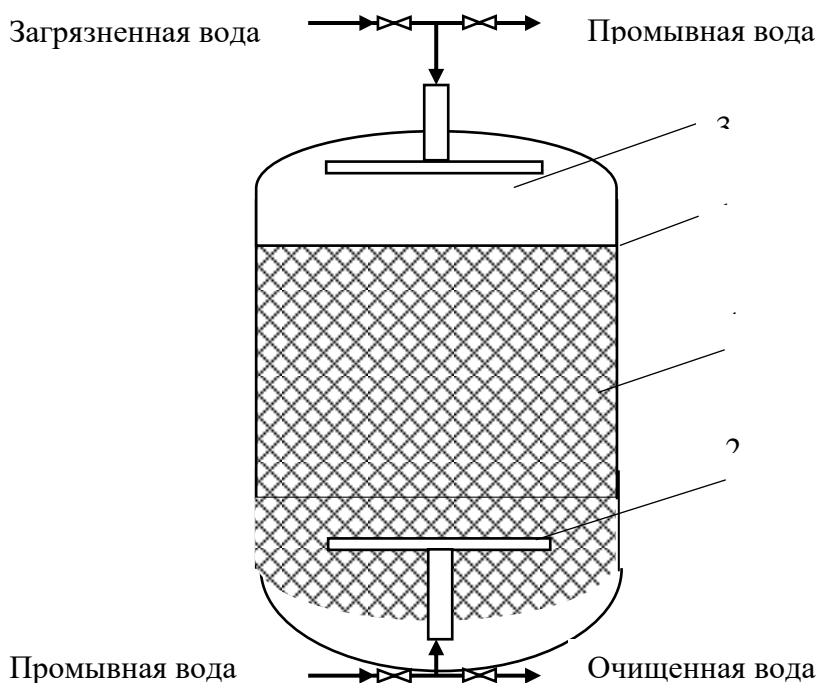


Рис. 8.7. Схема вертикального напорного зернистого фильтра:
1 – корпус; 2 – нижнее распределительное устройство; 3 – верхнее

распределительное устройство; 4 – слой зернистого фильтрующего материала

Фильтр состоит из цилиндрического корпуса 1, нижнего распределительного устройства 2, верхнего распределительного устройства 3 и размещенного внутри корпуса слоя фильтрующего материала 4. Снаружи фильтра расположены трубопроводы подвода и отвода воды и сжатого воздуха.

Нижнее распределительное устройство 2 предназначено для обеспечения равномерного сбора очищенной воды и равномерного распределения по площади поперечного сечения фильтра взрыхляющей воды и сжатого воздуха.

Верхнее распределительное устройство 3 предназначено для подвода в фильтр и равномерного распределении по площади поперечного сечения обрабатываемой воды, а также для удаления из фильтра промывной воды.

Распределительное устройство состоит из вертикального коллектора и радиально расположенных перфорированных распределительных труб.

Подготовка насыпного фильтра к работе заключается в промывке слоя фильтрующей загрузки от задержанных загрязнений. Для хорошей промывки необходимо, чтобы зерна фильтрующего материала находились во взвешенном состоянии. При этом надо создать такие условия, при которых зерна фильтрующего материала сталкивались между собой и происходило бы полное оттирание с их поверхности налипших загрязнений.

Промывку фильтрующего материала осуществляют восходящим потоком воды, которую подают в фильтр через нижнее распределительное устройство 2. Необходимым условием промывки является расширение объема слоя фильтрующего материала на 40 – 50 %, позволяющее зернам фильтрующего материала свободно перемещаться в потоке воды.

Отлетающие с поверхности фильтрующих зерен частицы загрязнений вместе с восходящим потоком воды отводятся из фильтра через верхнее распределительное устройство 3.

Необходимое расширение фильтрующего слоя достигается при соответствующей скорости потока воды, которая характеризуется интенсивностью промывки.

Качество промывки контролируют, анализируя пробы воды, выходящей из фильтра, на мутность.

Для повышения качества промывки в фильтр через нижнее распределительное устройство подают сжатый воздух. Фильтрующий слой обрабатывают сжатым воздухом в течение 3-5 мин до подачи в фильтр промывной воды.

По окончании промывки мутный фильтрат сбрасывают либо в дренаж, либо в емкость повторного использования промывной воды.

Во время работы фильтра вода подается через верхнее распределительное устройство 2 на слой зернистого фильтрующего материала 4, проходит его и с

помощью нижнего распределительного устройства 3 собирается и отводится из фильтра в общий коллектор.

При снижении прозрачности фильтрата, а также при достижении максимально допустимого перепада давления на слое фильтрующего материала фильтр отключают на промывку.

При производительности установки до 70 м³/ч устанавливается не менее трех фильтров, свыше 70 м³/ч – не менее четырех фильтров.

Основным расчетным фактором для зернистых фильтров является производительность, которая кроме заданной величины должна учитывать расход на собственные нужды всех последующих стадий обработки воды.

Диаметр D , м, определяют по формуле (8.15), где F – приближенно необходимая общая площадь фильтрования, м², при нормальном режиме работы определяется следующим образом:

$$F = \frac{Q\alpha}{v}, \quad (8.29)$$

где Q – производительность фильтрационной установки по осветленной воде, м³/ч; v – допускаемая скорость фильтрования при нормальном режиме работы, м/ч; α – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды, принимается $\alpha = 1,1$.

Скорость фильтрования определяется по формуле

$$v = \frac{Q + q}{F(\lambda - 1)}, \quad (8.30)$$

где q – среднечасовой расход воды на собственные нужды, м³/ч;

$$q = \frac{Vna}{24}, \quad (8.31)$$

где n – число промывок в сутки осветлительного фильтра, принимаем $n = 2$.

V – объем воды, м³, на одну отмывку осветлительного фильтра, равен

$$V = \frac{60itf}{1000}, \quad (8.32)$$

где i и t – соответственно интенсивность (л/(с·м²)) и продолжительность (мин) взрыхляющей промывки фильтра, в зависимости от принятого.

Если скорость фильтрования превышает допускаемую ($v = 5$ м/ч), то необходимо увеличить диаметр или количество установленных фильтров.

Задание 7

Рассчитайте диаметр напорного зернистого фильтра D , м, и определите скорость фильтрования. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.12. В ней приняты следующие обозначения: Q – производительность фильтрационной установки, м³/ч. Режим взрыхляющей промывки:

- 1) С - совместная водовоздушная промывка:
 - интенсивность подачи воды $i = 6$ л/(с·м²);
 - продолжительность подачи воды $t = 3$ мин;
- 2) В - промывка водой:
 - интенсивность подачи воды $i = 12$ л/(с·м²);
 - продолжительность подачи воды $t = 20$ мин.

Таблица 8.12

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q , м ³ /ч	0,10	0,12	0,16	0,22	0,26	0,34	0,42	0,26	0,18	0,24
Режим	С	В	С	В	С	В	С	В	С	В

8.6. Расчет напорного гидроциклона

Напорный гидроциклон представляет собой аппарат, состоящий из цилиндрической и конической частей (рис. 8.8).

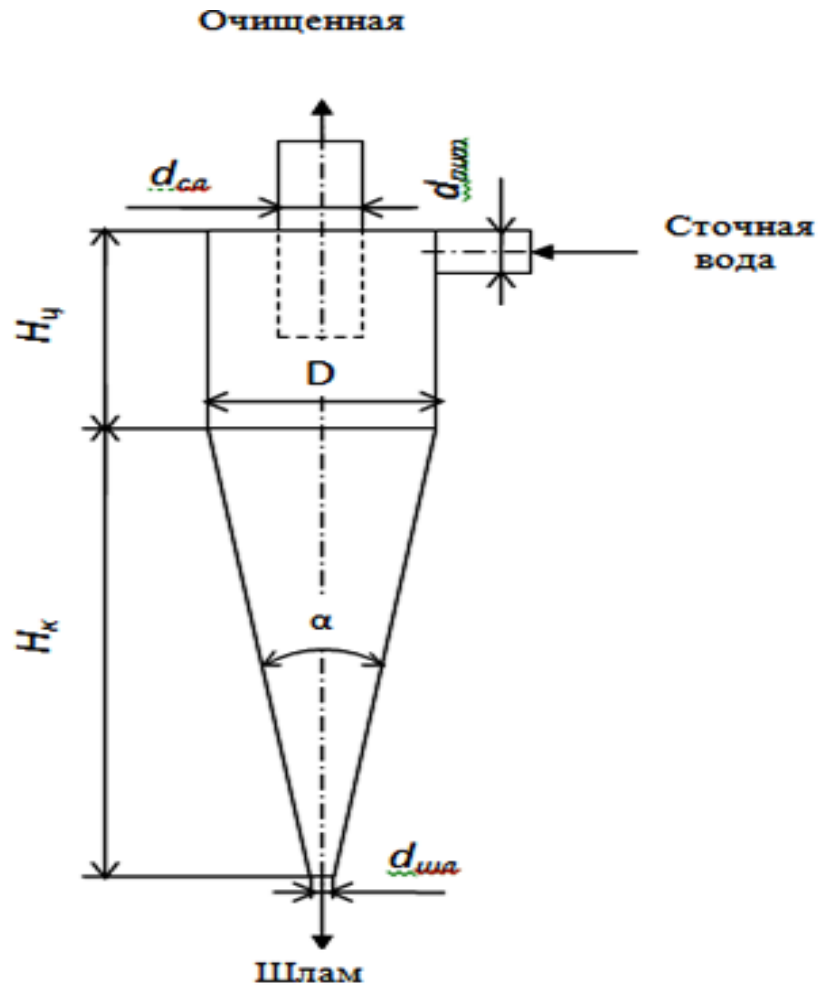


Рис. 8.8. Схема напорного гидроциклона

Сточная вода под давлением поступает по тангенциально расположенному вводу в верхнюю часть цилиндра и приобретает вращательное движение. Под действием центробежных сил твердые частицы перемещаются к стенкам аппарата и концентрируются во внешних слоях вращающегося потока. Затем они перемещаются по спиральной траектории вдоль стенок гидроциклона вниз к выходному патрубку. Очищенная вода удаляется через верхний патрубок.

Конструктивные размеры напорных гидроциклонов подбирают в зависимости от количества сточных вод, крупности задерживаемых частиц δ и их плотности.

Для выделения из сточных вод мелкодисперсных механических примесей и сгущения осадка рекомендуется применять напорные гидроциклоны, представленные в табл.8.13 [9].

Производительность напорного гидроциклона $Q_{нит}$, м³/ч, при выбранных геометрических размерах определяется по формуле

$$Q_{\text{гдо}} = 9,58 \cdot 10^3 d_{\text{гдо}} d_{\text{нв}} \sqrt{g\Delta P}, \quad (8.33)$$

где $d_{\text{num}}, d_{\text{сл}}$ – диаметры патрубков для подачи сточной и слива очищенной воды (табл. 8.13), мм; ΔP – потери давления в гидроциклоне, $\Delta P = 0,1 - 0,2$ МПа; g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

Скорость осаждения (гидравлическую крупность) частиц w_0 , мм/с, находят по упрощенной формуле

$$w_0 = 15,33 \frac{kD^3}{aQ_{\text{num}}}, \quad (8.34)$$

где D – диаметр цилиндрической части гидроциклона (табл. 8.13), м; Q_{num} – производительность гидроциклона, $\text{м}^3/\text{ч}$; k – коэффициент, учитывающий влияние концентрации примесей и турбулентность потока; для агрегативно-устойчивых суспензий с небольшой концентрацией $k = 0,04$; a – коэффициент, учитывающий затухание тангенциальной скорости, $a = 0,45$.

Расход шлама $Q_{\text{шл}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяют по формуле

$$Q_{\text{шл}} = 93,17 \cdot 10^5 \frac{D^{1,45} d_{\text{num}}^{0,239} d_{\text{шл}}^{2,859} H_{\text{ц}}^{0,087}}{d_{\text{сл}}^{2,318} \alpha^{0,457} P_{\text{num}}^{0,315}}, \quad (8.35)$$

где d_{num} – диаметр патрубка для подачи сточной воды (табл. 8.13), мм; $d_{\text{шл}}$ – диаметр патрубка для удаления шлама (табл. 8.13), мм; $d_{\text{сл}}$ – диаметр патрубка для слива очищенной воды (табл. 8.13), мм; D – диаметр цилиндрической части гидроциклона (табл. 8.13), мм; $H_{\text{ц}}$ – высота цилиндрической части гидроциклона (табл. 8.13), м; α – угол конусности конической части гидроциклона (табл. 8.13), град; P_{num} – давление на входе в гидроциклон, МПа.

Таблица 8.13

Технические параметры напорных гидроциклонов

Технические параметры	Размеры основных узлов и деталей				
	Тип гидроциклона				
	ГН-25	ГН-40	ГН-60	ГН-80	ГН-100

Диаметр: цилиндрической части D , мм;	25	40	60	80	100
питающего патрубка d_{nut} , мм;	4, 6, 8	6, 8, 12	8, 12, 16	10, 12, 16, 20	12, 16, 20, 25
сливного патрубка $d_{сл}$, мм;	5, 8, 12	8, 12, 16	12, 16, 20	16, 20, 32	20, 32, 40
шламового патрубка $d_{шл}$, мм	3, 4, 5	4, 5, 6	5, 6, 8	6, 8, 10, 12	8, 10, 12, 16
Угол конусности конической части α , град	5, 10, 15	5, 10, 15	5, 10, 15, 20	5, 10, 15, 20	10, 15, 20
Высота цилиндрической части $H_{ц}$, мм	25, 50, 75, 100	40, 60, 80, 120, 160	60, 120, 180, 240	80, 160, 240, 320	100, 200, 300, 400
Производительность Q , м ³ /ч, при $P = 0,1$ МПа	0,3 - 1,1	0,6 - 2,2	1,1 - 3,7	1,8 - 6,4	2,7 - 10,1
Граничная крупность разделения $\delta_{гр}$, мкм	2,3 - 64	2,3 - 84,9	3,4 - 92,9	4,3 - 103,0	6,1 - 150

Задание 8

Определите производительность напорного гидроциклона Q_{nut} , м³/ч, скорость осаждения (гидравлическую крупность) частиц w_o , мм/с, Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.14.

Таблица 8.14

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип гидроциклона	ГН-25	ГН-40	ГН-60	ГН-80	ГН-100	ГН-25	ГН-40	ГН-60	ГН-80	ГН-100
d_{nut} , мм;	4	6	12	10	16	6	8	16	20	25
$d_{сл}$, мм;	5	8	16	20	32	8	12	20	32	40

8.7. Расчет усреднителей

Усреднители в основном проектируются в составе локальных станций очистки промышленных сточных вод. Для усреднения расхода и концентрации загрязнений в сточных водах применяют контактные и проточные усреднители.

Контактные усреднители используют при небольших расходах и периодических сбросах сточных вод. Наибольшее распространение получили

проточные усреднители, выполняемые в виде коридорных резервуаров или резервуаров с перемешивающими устройствами.

Расчет многокоридорных усреднителей при залповых сбросах высококонцентрированных сточных вод проводят в следующей последовательности.

Объем усреднителя определяют по формуле

$$V = \frac{Q \cdot \tau_1 \cdot K}{2}, \quad (8.36)$$

где Q – расход сточных вод, м³/ч, τ_1 – длительность залпового сброса, ч;
 K – коэффициент усреднения, определяемый по формуле

$$K = \frac{C_{\max} - C_{\phi}}{C_{\text{доп}} - C_{\phi}}. \quad (8.37)$$

Здесь C_{\max} – максимальная концентрация загрязнений в залповом сбросе, г/м³; C_{ϕ} – средняя концентрация загрязнений в сточной воде;
 $C_{\text{доп}}$ – концентрация загрязнений в сточной воде, допускаемая по условиям работы последующих очистных сооружений

Расчет усреднителя с перемешивающим устройством при залповом сбросе проводят в следующей последовательности.

По формуле (8.37) определяют коэффициент усреднения. С учетом полученного значения K рассчитывают объем усреднителя:

$$\text{при } K < 5 \quad V = \frac{1,3Q \cdot \tau_k}{\ln K / (K-1)}, \quad (8.38)$$

$$\text{при } K \geq 5 \quad V = 1,3Q \cdot \tau_k \cdot K, \quad (8.39)$$

где τ_k – период цикла колебания, ч.

Задание 9

Определите объем коридорного усреднителя при залповом сбросе высококонцентрированных сточных вод в течение τ_1 . Для четных вариантов $\tau_1 = 0,5$ ч, для нечетных $\tau_1 = 1,5$ ч. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.15.

Таблица 8.15

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C_{\max} , мг/л	450	400	420	386	440	430	400	390	405	440
C_{ϕ} , мг/л	85	80	85	80	85	80	85	80	85	80
$C_{\text{доп}}$, мг/л	140	120	100	140	120	100	140	120	100	140
Q , м ³ /ч	80	100	88	90	110	100	96	80	120	106

8.8. Расчет решеток

Крупноразмерные отбросы, содержащиеся в сточных водах (остатки пищи, бумага, тряпки, упаковочные материалы и др.), в процессе транспортирования по сетям адсорбируют значительное количество жира, органических соединений и песка. Образуются многокомпонентные органо-минеральные составляющие, которые способны значительно осложнить работы песколовков, отстойников, трубопроводов и сооружений по стабилизации осадка. Количество таких крупноразмерных загрязнений, вносимых от одного жителя за сутки, составляет примерно 20 г.

Решетки применяются для задержания из городских сточных вод крупных и волокнистых материалов и являются сооружениями предварительной очистки. Основным элементом решеток является рама с рядом металлических стержней, расположенных параллельно друг другу и создающих плоскость с прозорами, через которую процеживается вода. Для устройства решеток применяют стержни прямоугольной, прямоугольной с закругленной частью, круглой и другой форм (рис. 8.9). Стержни прямоугольной формы применяют чаще других. Толщина стержней обычно равна 6-10 мм, ширина прозоров между стержнями обычно принимается равной 16 мм. Решетки с прозорами шириной более 16 мм применяются в насосных станциях и на очистных сооружениях дождевых стоков.

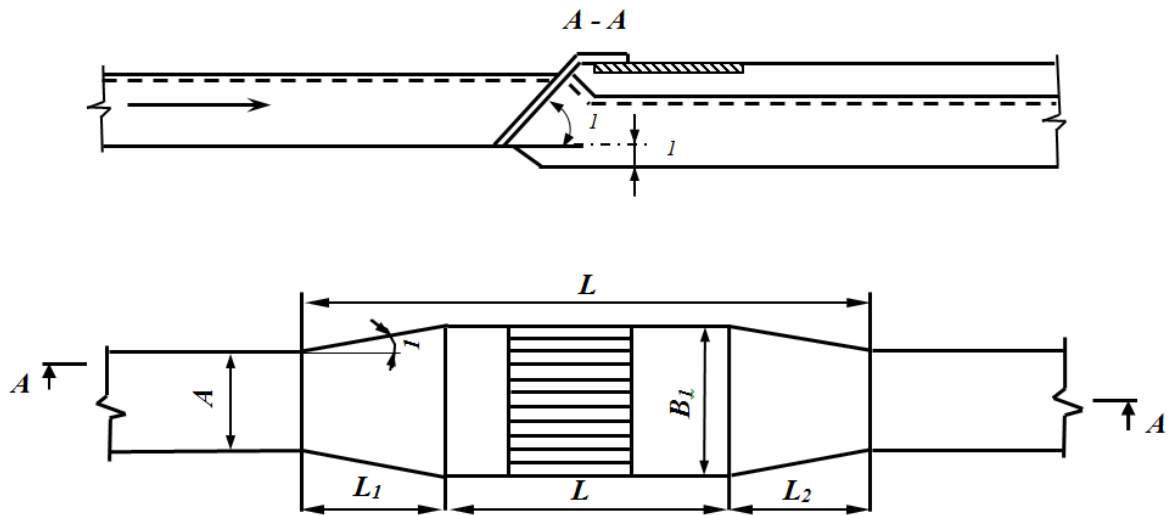


Рис. 8.9. Решетка с ручной очисткой

Для удобства удаления загрязнений, осевших на входной поверхности, решетки устанавливают под углом к горизонту $60 - 90^\circ$.

Количество прозоров определяют по формуле

$$n = \frac{K \cdot Q}{b \cdot H \cdot W_n}, \quad (8.40)$$

где $K = 1,05$ – коэффициент, учитывающий стеснение прозоров решетки задержанными загрязнениями; Q – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{сут}$; $b = 16 \dots 25$ мм – ширина прозора; H – глубина коллектора, м; W_n – скорость движения воды в прозорах, обычно $W_n = 0,8 \dots 1,0$ м/с.

Ширина решетки определяется по формуле

$$B = b \cdot n + \delta \cdot n + \delta \cdot (n - 1), \quad (8.41)$$

где δ – толщина стержней решетки.

Перепад давлений сточной воды на решетке определяют по формуле

$$\Delta p = \frac{\xi \cdot K_c \cdot \rho \cdot W^2}{2}, \quad (8.42)$$

где $W = 0,7 \dots 0,8$ м/с – скорость движения сточной воды в коллекторе перед решеткой; $K_c = 2 \dots 3$ – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления решетки в процессе осаждения в ее прозорах примесей сточных вод; ρ – плотность сточной воды ($0,9982$ г/см³); ξ – коэффициент местного сопротивления решетки, рассчитываемый по формуле

$$\zeta = \beta(\delta/d)^3 \sin \alpha. \quad (8.43)$$

Здесь β – коэффициент, характеризующий форму поперечного сечения стержней (для круглых стержней $\beta = 1,79$; для прямоугольных – 2,42 и для овальных – 1,83); α – угол наклона решетки к горизонту.

Задание 10

Определите количество прозоров, ширину решеток для очистки бытовых сточных вод, перепад давлений сточной воды на решетке. Принимаем угол наклона решетки к горизонту для четных вариантов $\alpha = 60^\circ$, для нечетных $\alpha = 80^\circ$. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.16. В ней приняты следующие обозначения: К – круглая, П – прямоугольная, О – овальная решетка.

Таблица 8.16

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H, м	1,5	1,6	1,2	1,4	1,66	1,46	1,5	1,2	1,8	1,62
W_p , м/с	1,0	1,0	0,8	0,88	0,9	1,0	0,96	0,86	0,94	0,92
W , м/с	0,7	0,72	0,8	0,7	0,77	0,74	0,76	0,75	0,79	0,73
b, м	0,016	0,017	0,019	0,022	0,018	0,019	0,023	0,024	0,016	0,021
Q, м ³ /сут	176 400	170200	168800	169900	172460	174500	175000	174880	169860	168600
δ , м	0,008	0,006	0,008	0,006	0,008	0,006	0,008	0,006	0,008	0,006
форма поперечного сечения стержней	К	П	О	К	П	О	К	П	О	К

8.9. Расчет песколовки

Содержащиеся в сточной воде нерастворимые вещества (например, песок, шлак, стеклянная крошка и др.) крупностью 0,15-0,25 мм могут накапливаться в отстойниках, метантенках, снижая тем самым производительность этих сооружений. Осадок, содержащий песок, плохо транспортируется по трубопроводам.

Для предварительного выделения из сточных вод нерастворенных минеральных примесей (песка, шлака, боя стекла и др.) под действием силы тяжести применяются песколовки. Песколовки предусматриваются в составе очистных

сооружений при производительности свыше 100 м³/сут. Количество песколовок или отделений должно быть не менее двух, причем все - рабочие.

В зависимости от направления движения очищаемой сточной воды песколовки подразделяют на горизонтальные, вертикальные, с круговым движением сточной воды и аэрируемые. Горизонтальные и аэрируемые песколовки используют при расходах очищаемых сточных вод более 10000 м³/сут. (рис.8.10).

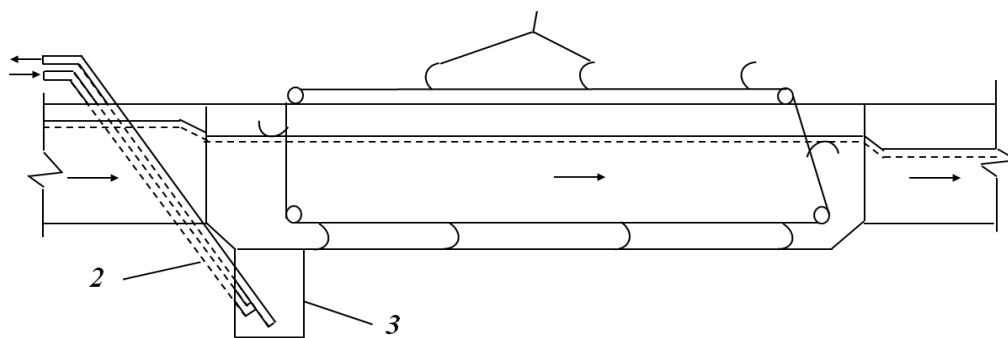


Рис. 8.10. Горизонтальная песколовка:
1- цепной скрепковый механизм; 2- гидрозелеватор; 3 - бункер

Расчет песколовки сводится к определению ее длины и площади.

Площадь живого сечения одного отделения песколовки рассчитывают по формуле

$$S = \frac{Q}{W_x \cdot n}, \quad (8.44)$$

где Q – расход сточных вод, м³/сут; $W_x = 0,15 \dots 0,3$ м/с – скорость горизонтального движения сточной воды в песколовке; n – количество отделений песколовки.

Глубина проточной части песколовки определяют по формуле

$$h_1 = W_0 \tau_{пр}, \quad (8.45)$$

где $\tau_{пр} = 30 \dots 100$ с – время движения сточной воды в песколовке;
 W_0 – скорость свободного осаждения частицы в воде при отсутствии в ней возмущений, определяемая по формуле

$$W_0 = \frac{g \cdot d_{ч}^2 \cdot (\rho_{ч} - \rho_{в})}{18 \mu_{в}}, \quad (8.46)$$

где g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; d_q – средний диаметр частицы загрязнении, ρ_q и ρ_v – плотности частицы ($2,0-2,8 \text{ г/см}^3$) и воды ($0,9982 \text{ г/см}^3$) соответственно, μ_v – динамическая вязкость воды, Па.

Длина песколовки определяется по формуле

$$L = \frac{k \cdot h_1 \cdot W_\Gamma}{W_0}, \quad (8.47)$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние турбулентности и других возмущающих факторов на работу песколовки, определяется по формуле

$$k = \frac{W_0}{\sqrt{W_0^2 - W_\Gamma^2}}. \quad (8.48)$$

Задание 11

Рассчитайте площадь, глубину и длину горизонтальной песколовки для очистки сточных вод. Песколовка состоит из четырех отделений, $\mu_v=0,00101$ Па. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.17.

Таблица 8.17

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$W_x, \text{м/с}$	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24
$\tau_{\text{пр}}, \text{с}$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75
$d_q, \text{мм}$	0,15	0,20	0,25	0,15	0,20	0,25	0,15	0,20	0,25	0,20
$h_1, \text{м}$	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561	0,561
$Q, \text{м}^3/\text{сут}$	117 400	116200	116800	115900	117460	114500	115000	114880	116860	118600

8.10. Расчет ионообменных фильтров

Ионообменные фильтры используют для глубокой очистки сточных вод от минеральных и органических ионизированных загрязнений и обессоливания с последующим повторным использованием очищенной воды в производстве и утилизацией выделенных ценных «загрязнений».

Сточные воды, подаваемые в ионообменные фильтры, должны отвечать следующим требованиям:

- концентрация солей - не более 3000 мг/л;
- концентрация взвешенных веществ - не более 8 мг/л;
- ХПК - не более 8 мг/л.

Расчет катионитовых фильтров

Объем катионита определяют по формуле

$$V_K = \frac{24 Q (\Sigma C_{ст} - \Sigma C_K)}{n \cdot E}, \quad (8.49)$$

где Q – расход очищаемой сточной воды, м³/ч; $\Sigma C_{ст}$ – суммарная концентрация всех катионов в исходной сточной воде, г-экв/м³; ΣC_K – допустимая суммарная концентрация всех катионов в очищенной сточной воде, г-экв/м³;
 n – количество регенераций фильтра в сутки, сут¹ (обычно не более двух);
 E – рабочая обменная емкость катионита по наименее сорбируемому катиону, г-экв/м³, вычисляемая по формуле

$$E = a_k E_n - K_i q_k \Sigma C_0, \quad (8.50)$$

где a_k – коэффициент эффективности регенерации катионита; E_n – полная обменная емкость катионита, г-экв/м³, определяемая по паспортным данным катионита (табл. 8.18); $K_i = 0,5$ – коэффициент, учитывающий тип катионита;
 $q_k = 3 \dots 4$ м³/м³ – удельный расход технической воды на отмывку катионита после его регенерации; ΣC_0 – суммарная концентрация катионитов в отмывочной воде, г-экв/м³.

Таблица 8.18

Определение полной обменной емкости катионита

Марка катионита	Размер гранул, мм	Насыпная плотность, т/м ³	Средняя рабочая объемная емкость, г-экв/м ³		Полная объемная емкость в динамических условиях, г-экв/м ³
			при Н ⁺ -катионировании	при Na ⁺ -катионировании	
СМ-1	0,30 - 0,80	0,65	250	400	-
СК - 1	0,50 – 1,10	0,65	200	350	-
КУ - 1	0,40-2,00	0,63-0,75	300	300	550
КУ – 2-8	0,315-1,25	0,72-0,80	800	800	1850
КУ – 2-20	0,315-1,250	0,80	-	-	1300
КУ – 23	0,315-1,250	0,72	400	-	1100
КБ - 4	0,355-1,500	0,55-0,72	-	-	2000
КБ – 4П-2	0,355-1,500	0,70-0,80	-	-	2500
КБ - 4-10П	0,355-1,500	-	-	-	1800

Площадь катионитовых фильтров исходя из двух условий: требуемой эффективности очистки (S_1) и справедливости уравнения неразрывности (S_2) - определяют по формулам

$$S_1 = \frac{V_K}{H_K}, \quad (8.51)$$

$$S_2 = \frac{Q}{W}, \quad (8.52)$$

где H_k – высота слоя в катионитовом фильтре, выбираемая по техническим характеристикам катионитовых фильтров; W – скорость фильтрования сточной воды, м/ч.

Если значения отклонений площадей, вычисленных по формуле (8.51), сильно различаются, в формуле (8.52) изменяют количество регенераций фильтра n .

Определяют перепад давлений в напорных катионитовых фильтрах по табл. 8.19.

Таблица 8.19

Определение перепада давлений в напорных катионитовых фильтрах

Скорость фильтрования W , м/ч	Перепад давлений в фильтре, МПа, при размере гранул катионита, мм			
	0,3 – 0,8		0,5 – 1,2	
	2,0	2,5	2,0	2,5
5	0,050	0,055	0,040	0,045
10	0,055	0,060	0,050	0,055
15	0,060	0,065	0,055	0,060
20	0,065	0,070	0,060	0,065
25	0,090	0,100	0,070	0,075

Расчет анионитовых фильтров

Объем анионита определяют по формуле

$$V_a = \frac{24 Q (\sum C_{ст} - \sum C_k)}{n \cdot E}, \quad (8.53)$$

где $\sum C_{ст}$ – суммарная концентрация всех анионов в исходной сточной воде, г-экв/м³, $\sum C_k$ – допустимая суммарная концентрация всех анионов в очищенной сточной воде, г-экв/м³; E – рабочая емкость анионита по наименее сорбируемому аниону, г-экв/м³, вычисляемая по формуле

$$E = \alpha_a E_n - k_i q_k \sum C_o, \quad (8.54)$$

где $\alpha_a = 0,9$ – коэффициент эффективности регенерации анионита; E_n – полная обменная емкость анионита, г-экв/м³, определяемая по паспортным данным анионита (табл. 8.20); $k_i = 0,8$ – коэффициент, учитывающий тип ионита; $q_k = 3..4$ м³/м³ – удельный расход технической воды на отмывку анионита после его регенерации; $\sum C_o$ – суммарная концентрация анионов в отмывочной воде, г-экв/м³.

Площадь анионитовых фильтров определяется по формуле

$$S = \frac{24Q}{n \cdot W \cdot t}, \quad (8.55)$$

где $W = 8 \dots 20$ м/ч – скорость фильтрования сточной воды; t – продолжительность работы фильтра между регенерациями, определяемая по формуле

$$t = \frac{24}{n} - (t_1 + t_2 + t_3), \quad (8.56)$$

где $t_1 = 0,25$ ч – продолжительность взрыхления анионита; t_2 – продолжительность фильтрования регенерирующего раствора, определяемая исходя из объема раствора и скорости его фильтрования ($1,5 \dots 2$ м/ч); t_3 – продолжительность промывки анионита после его регенерации, определяемая исходя из объема промывочной воды и скорости ее фильтрования ($5 \dots 6$ м/ч).

Определяют перепад давлений в анионитовых фильтрах по табл. 8.19

Таблица 8.20

Определение полной обменной емкости анионита

Марка анионита	Размер гранул набухающего анионита, мм	Насыпная плотность, т/м ³	Полная обменная емкость, г-экв/м ³		
			по СГ ионам	по SO ₄ ²⁻ ионам	по SiO ₃ ²⁻ ионам
АН-2ФН	0,4-4,2	0,65-0,68	500	700	1700-1750
АН-18-8	0,40-1,25	0,68	850	1000	650
АН-18-П	0,355-1,500	-	1100	-	-
АН-22	0,315-1,250	0,79	1800	-	1000
АН-31	0,4-1,2	0,70-0,80	1500	-	1260
АН-221	0,315-1,250	0,83	1200	-	860
АН-251	0,63-1,60	0,34-0,46	1800	-	-
ЭДЭ-10П	0,4-1,8	0,60-0,70	800	1000	1020-1160
АВ-17-8	0,355-1,250	0,74	650	800	670-900
АВ-17-84С	0,40-1,25	-	1050	-	900
АВ-29-12П	0,355-1,500	-	1000	-	700

Задание 12

Рассчитайте объем и площадь катионитового фильтра, предназначенного для очистки Q (м³/ч) сточной воды при непрерывной двухсменной работе. Коэффициент эффективности регенерации катионита a_k принять для четных вариантов 0,8, для нечетных – 0,9. Принять следующие марки катионита: I - КУ – 1; II - КУ – 2-8; III - КУ – 2-20; VI - КУ – 23; V- КБ – 4П-2. Исходные данные для расчета приведены в табл. 8.21.

Таблица 8.21

Исходные данные

Параметр	Вариант
----------	---------

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, м ³ /ч	51	48	54	50	46	42	56	52	54	49
Марка	I	II	III	VI	VI	I	II	III	VI	VI
ΣC _о , мг-экв/л	1,7	1,6	1,5	1,9	1,82	1,80	1,68	1,88	1,82	1,94
ΣC _{ст} , мг-экв/л	7,7	7,2	7,9	8,2	8,4	8,0	7,5	7,3	8,1	8,5
ΣC _к , мг-экв/л	1,2	1,0	1,4	1,35	1,25	1,4	1,26	1,1	1,2	1,32
n,сут	0,75	1,5	1,0	2,0	1,25	0,75	1,5	1,0	2,0	1,25
H _к , м	2,0	2,5	3,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	2,0	2,2
W, м/ч	20	15	10	8	12	14	18	16	19	13

9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ СПУСКА СТОЧНЫХ ВОД В ВОДОЁМЫ

Под загрязнением водоемов понимают снижение их биосферных функций и экологического значения в результате поступления в них вредных веществ. Загрязнение вод проявляется в изменении физических и органолептических свойств.

Различают химические, биологические и физические загрязнители. Наиболее часто встречаются химическое и биологическое (бактериальное) загрязнения вод, значительно реже наблюдается физическое: радиоактивное, механическое, тепловое загрязнения.

Химическое загрязнение – наиболее распространенное, стойкое и далеко распространяющееся. Оно может быть органическим (фенолы, нафтеновые кислоты, пестициды и др.) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи), токсичным (мышьяк, соединения ртути, свинца, кадмия и др.) и нетоксичным.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в воде патогенных бактерий, вирусов (до 700 видов), простейших, грибов и др. Этот вид загрязнения носит временный характер. Весьма опасно содержание в воде, даже при очень малых концентрациях, радиоактивных веществ, вызывающих радиоактивное загрязнение. Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы, обладающие повышенной способностью к передвижению в воде.

Механическое загрязнение характеризуется попаданием в воду различных механических примесей (песок, шлам, ил и др.). Механические примеси могут значительно ухудшать органолептические показатели вод.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими водами. По существующим санитарным нормам температура водоема не должна повышаться более чем на 3 °С летом и 5 °С зимой.

Наибольший вред водоемам и водотокам причиняет выпуск в них неочищенных сточных вод – промышленных, коммунально - бытовых, коллекторно - дренажных и др. Поэтому необходимо ограничение содержания загрязняющих веществ в сбросах. Существуют два подхода к решению данной задачи. Подход, практикуемый в России, заключается в том, что приоритетным условием является соблюдение условия $C > ПДК$, т. е. предприятие должно

обеспечить такое поступление загрязняющих веществ в природную среду (сброс), при котором эти вещества смогут рассеяться до неопасных концентраций (ПДК) в определенных местах.

Условие $C > \text{ПДК}$ в установленном створе может быть обеспечено, если содержание вредных веществ в стоках (предельно допустимый сброс – ПДС) гарантируется разбавлением их до неопасных концентраций. Обеспечение этих нормативов для каждого источника и для каждого отдельного вещества (с учетом эффекта суммации) является конкретной задачей предприятия. Таким образом, если ПДК являются нормативами на содержание загрязняющих веществ в природной среде, то ПДС – нормативами на их поступление. Значение ПДК данного ЗВ и лимитирующий его показатель вредности принимают по табл. 9.1 [8], при наличии фонового загрязнения $C_{\text{пдк}}$ уменьшается на величину фоновой концентрации данного ЗВ.

Таблица 9.1

Предельно допустимые концентрации химических веществ в воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования

Наименование вещества	Формула	ПДК, мг/л
Медь	Cu	1,0
Железо	Fe	0,3
Цинк	Zn	1,0
Аммиак (по азоту)	NH ₃	2,0
Нитраты по NO ₂	NO ₂	3,3
Бензол	C ₆ H ₆	0,5
Марганец	Mn	0,1
Бор	B	0,5
Толуол	C ₇ H ₅	0,5
Алюминий	Al	0,5

Требуемая степень очистки производственных стоков определяют по формуле

$$\varepsilon_o = \frac{C_p - C_{\text{пдк}}}{C_p}, \quad (9.1)$$

где C_p – расчетная концентрация ЗВ после полного перемешивания (мг/л);

$$C_p = \frac{C_{\text{исх}}}{n_n n_o}, \quad (9.2)$$

где $C_{исх.}$ – концентрация ЗВ в неочищенных стоках, мг/л; n_n и n_o – кратности начального и основного разбавления.

Общее разбавление СВ определяют как произведение кратности начального и основного разбавлений, являющихся результатом перемешивания стоков в зонах 1 и 2 [9].

Начальное разбавление

$$n_n = \frac{0,248}{m} d^2 \left(\sqrt{m^2 + 8,1 \left(\frac{1-m}{d^2} \right)} - m \right), \quad (9.3)$$

где d – отношение расчетного диаметра струи к диаметру выпускного отверстия; m – безразмерный коэффициент:

$$m = \sqrt{\frac{\rho_{п} v_{п}^2}{\rho_c v_c^2}}, \quad (9.4)$$

где $\rho_{п}, \rho_c$ – плотности соответственно потока воды и СВ, принимаемые обычно равными единице.

Основное разбавление рассматривают как величину, обратную коэффициенту смешения:

$$\gamma = \frac{1 - \exp(-\alpha \sqrt{l_{\phi}})}{1 + \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}} \exp(-\alpha \sqrt{l_{\phi}})}, \quad (9.5)$$

где α – безразмерный коэффициент, учитывающий гидрологические особенности водоема,

$$\alpha = \tau \cdot \phi \cdot \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{\max}}}, \quad (9.6)$$

где – коэффициент, зависящий от расположения выпуска сточных вод в водоток; при выпуске у берега $\tau = 1$, а в створе реки $\tau = 1,5$; ϕ – коэффициент извилистости, равный отношению расстояния по фарватеру x от места выпуска сточных вод до рассматриваемого створа и по прямой $x_{пр}$; D – коэффициент турбулентной диффузии:

для извилистых рек:

$$D = \frac{v_{п} h}{200}, \quad (9.7)$$

где h – глубина водоема, м;
для равнинных рек:

$$D = \frac{g \cdot H_{cp} \cdot v_{cp}}{MC}, \quad (9.8)$$

где $M=0,7 C+6$ при $C \leq 60$ и $M=48$ при $C > 60$; C – коэффициент Шези; v_{cp} и H_{cp} – соответственно средняя скорость течения и глубина водотока на участке между выпуском сточных вод и рассматриваемым створом.

Концентрация $C_{ст}$ загрязняющих веществ в сточных водах, спускаемых в водоток или водоем, должна назначаться с учетом самоочищающей его способности исходя из кратности разбавления сточных вод водой окружающей водной среды:

$$n = \frac{\gamma \cdot Q_B + Q_{cm}}{Q_{cm}}, \quad (9.9)$$

где Q_B – расчетный расход водотока; γ – коэффициент смешения, показывающий, какая часть расчетного расхода водотока участвует в смешении; Q_{cm} – расход сточных вод, сбрасываемых в водоем или водоток.

Методы непосредственного определения коэффициента смешения или кратности основного разбавления основаны на расчете поля концентрации. Величина коэффициента смешения описывается следующим выражением:

$$\gamma = (1 - \beta) \left(1 + \beta \frac{Q_B}{Q_{ст}} \right), \quad (9.10)$$

где $\beta = \alpha \cdot \sqrt[3]{L}$; L – расстояние по фарватеру от места выпуска сточных вод до рассматриваемого створа.

Системы водоснабжения представляют собой набор взаимосвязанных сооружений, предназначенных для забора воды из различных источников, улучшения ее качества до нормативных требований, транспортировки, хранения и распределения между потребителями. Современные системы водоснабжения являются сложным комплексом различных сооружений (подсистем), включающих в свой состав разнообразные элементы: установки, механизмы, приборы, арматуру, трубопроводы и т.п.

Максимальный и минимальный часовые расходы воды определяют по формулам:

$$Q_{ч. макс.} = K_{ч. макс.} \cdot Q_{сут макс.} / 24 + Q_n, \quad (9.11)$$

$$Q_{ч. мин} = K_{ч. мин} \cdot Q_{сут мин} / 24 + Q_n, \quad (9.12)$$

где $K_{ч. макс.}, K_{ч. мин}$ – коэффициенты часовой неравномерности максимального и минимального водопотребления, Q_n – расход воды на поливку, м³/сут.:

$$K_{ч. макс.} = \alpha_{макс} \beta_{макс}, \quad (9.13)$$

$$K_{ч. мин.} = \alpha_{мин.} \beta_{мин.}, \quad (9.14)$$

где α – коэффициент, учитывающий степень благоустройства зданий, режим работы предприятий и другие местные условия; β – коэффициент, учитывающий количество жителей в населенном пункте, принимается по табл. 9.2.

Таблица 9.2

Значение коэффициента β [4]

β	Значение β при количестве жителей в населенном пункте, тыс. чел.								
	1	1,5	2,5	4	6	10	20	100	≤ 100
Макс.	2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1
Мин.	0,1	0,1	0,1	0,2	0,25	0,4	0,5	0,7	1

Расход воды на поливку определяют по формуле

$$Q_n = 10 \sum F_n q_n n \text{ (м}^3\text{/сут)}, \quad (9.15)$$

где F_n – поливаемая площадь, га; q_n – норма расхода воды, л/сут, на 1 поливку в зависимости от вида поливаемых площадей, определяем по табл. 9.3;

n – количество поливок в сутки (принимается $n=2$).

Таблица 9.3

Нормы хозяйственно – питьевого водопотребления

Водопотребитель	Измеритель	Нормы расхода воды в сутки максимального водопотребления, л/сут
1. Общежития без душевых	1 чел.	60
2. Общежития с душевыми	1 чел.	100
3. Гостиницы и пансионаты с ванными в отдельных номерах	1 чел.	230
4. Больницы, санатории и дома отдыха общего типа	1 койка	250
5. Больницы и санатории с грязелечением	1 койка	500
6. Школы-интернаты	1 место	200
7. Продовольственные магазины	1 чел.	400
8. Парикмахерские	1 чел.	120

9. Административные здания	1 чел.	15
10. Школы	1 чел.	20
11. Бани без плавательных бассейнов	1 чел.	180

Расчетные расходы воды в сутки наибольшего и наименьшего водопотребления определяют по формулам:

$$Q_{сут. макс.} = K_{сут. макс} Q_{сут. ср}, \quad (9.16)$$

$$Q_{сут. мин} = K_{сут. мин} Q_{сут. ср}, \quad (9.17)$$

где $K_{сут. макс}$ и $K_{сут. мин}$ – соответственно максимальный и минимальный коэффициенты суточной неравномерности водопотребления.

Расчетный (средний за год) суточный расход воды, $м^3/сут.$, на хозяйственно-питьевые нужды в населенном пункте определяют по формуле

$$Q_{сут. ср.} = \frac{q_{ж} N}{1000}, \quad (9.18)$$

где $q_{ж}$ – среднесуточная норма водопотребления на 1 жителя, л/сут., принимаемая по табл. 9.4; N – расчетное число жителей.

Число жителей в данной жилой зоне определяют по формуле

$$N_i = p_i \cdot F_i, \quad (9.19)$$

где p_i – плотность населения в данной зоне жилой застройки, чел./га;

F_i – площадь застройки этой зоны, га.

Таблица 9.4

**Нормы хозяйственно-питьевого потребления воды
в населенных пунктах**

Степень благоустройства районов жилой застройки	Водопотребление на 1 чел. среднесуточное за год, л/сут.
1. Застройки зданиями, оборудованными внутренним водопроводом и канализацией без ванн	125-160
2. то же с ваннами и местными водонагревателями	160-230
3. то же с ваннами и центральным горячим водоснабжением	230-350
4. Застройка зданиями, не оборудованными внутренним водопроводом и канализацией	30-50

Задание 1

Определите требуемую степень очистки производственных стоков, если известны максимальный расход Q_{\max} стоков, содержащих ЗВ с концентрацией $C_{\text{исх}}$, с фоновым загрязнением 20 % от ПДК ЗВ, глубина реки h , минимальный расход воды Q_{\min} , скорость потока v_{Π} , скорость истечения стоков v_c (табл. 9.5). Створ водопользования находится от места выпуска на расстоянии L_{Π} по прямой и L_{Φ} по фарватеру. Отношение расчетного диаметра струи к диаметру оголовков равно d , плотность стоков и воды в потоке равны единице. Створ водопользования совпадает со створом полного разбавления. Река извилистая. Φ – коэффициент извилистости, примем равным 1. Исходные данные даны в табл. 9.5.

Таблица 9.5

Исходные данные

Номер варианта	Загрязняющее вещество	Q_{\max} , $\text{м}^3/\text{с}$	Q_{\min} , $\text{м}^3/\text{с}$	v_c , $\text{м}^3/\text{с}$	v_{Π} , $\text{м}^3/\text{с}$	h , м	L_{Π} , км	L_{Φ} , км	$C_{\text{исх}}$, мг/л	d
1	Медь	1	100	2,5	0,35	3	2	3	150	2
2	Железо	2	90	2,6	0,40	3,1	2	4	120	2,5
3	Цинк	3	120	2,7	0,45	3,2	2,2	3	160	3
4	Бензол	3	130	3,1	0,55	3,6	2,6	3	100	5
5	Марганец	2	140	3,0	0,60	3,5	2,4	4	200	4,5
6	Бор	1	110	2,7	0,45	4,2	3,2	6	120	3
7	Толуол	3	80	2,5	0,35	4,0	3,0	6	100	2
8	Алюминий	2	160	4,2	0,50	4,3	3,4	8	120	4,5
9	Толуол	3	90	3,5	0,50	4,0	3,0	4	100	2,5
10	Медь	4	100	2,6	0,40	4,1	3,0	4	110	2,5

Промышленное предприятие через очистные сооружения сбрасывает сточные воды в водоем (рис. 9.1).

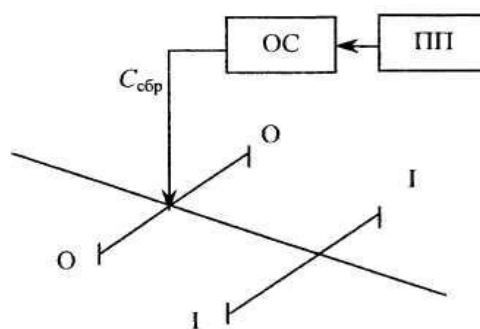


Рис.9.1. Ситуационная схема для расчета условий сброса сточных вод:

ПП - промышленное предприятие; ОС - очистные сооружения; О-О - «нулевой» створ, где производится сброс сточных вод; I-I - «расчетный» створ, начиная с которого воды водного объекта должны отвечать санитарным требованиям для данного вида водопользования;

$C_{\text{сбр}}$ - концентрация загрязняющих веществ в сточной воде, подлежащей сбросу

Задание 2

В реку с расходом Q_B , м³/с, производится сосредоточенный сброс сточных вод. Средняя скорость движения воды в реке v_{cp} , м/с, средняя глубина потока – Н, м, коэффициент Шези $C=476$ м. Расход сточных вод Q_{ct} , м³/с, при скорости истечения из выпуска v_o , м/с.

Определите кратность разбавления сточных вод в створе, удаленном на расстояние L, м, от выпуска при двух случаях расположения в реке: а) выпуск в стержне реки; б) выпуск у берега.

Река равнинная. Примем $Q_{max} = Q_{ct}$. Условия выпуска коммунальных и промышленных сточных вод в реки, озера и водохранилища регламентируются Правилами охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами, а для морей – Правилами санитарной охраны прибрежной зоны морей.

Исходные данные представлены в табл. 9.6.

Таблица 9.6

Исходные данные

Вариант	Q_B , м ³ /с	v_{cp} , м/с	H_{cp} , м	Q_{ct} , м ³ /с	v_o , м/с	ϕ	L, м
1	120	0,35	6	0,4	0,3	1	300
2	80	0,3	5	1	0,6	1	200
3	60	0,25	5,5	1,06	0,45	1	500
4	40	0,4	4	0,5	0,5	1	100
5	90	0,45	4,5	0,55	0,55	1	300
6	100	0,35	3	0,4	3	1	200
7	110	0,3	3,5	1	2	1	500
8	50	0,25	2	1,06	2,5	1	400
9	70	0,4	2,5	0,5	1,5	1	100
10	100	0,45	5	0,55	0,8	1	500

Задание 3

Определите максимальный и минимальный часовые расходы воды $Q_{ч.макс}$, $Q_{ч.мин}$. Примем $\alpha_{min}=0,5$; $\alpha_{max}=1$. Исходные данные представлены в табл. 9.7.

Таблица 9.7

Исходные данные

Номер варианта	$q_{ж}$, л/сут.	N, тыс. чел.	$K_{сут. макс.}$	$K_{сут. мин.}$	$F_{п}$, га	$q_{п}$, л/м ²	ρ_i , чел/га	F_i , га
1	1	1,5	1,1	0,7	10	3 и 5	1000	1
2	2	2,5	1,2	0,8	20	5 и 6	3000	2
3	3	4	1,3	0,9	30	3 и 7	5000	4
4	4	6	1,1	0,7	40	4 и 8	1000	1
5	1	10	1,2	0,8	50	5 и 9	2500	2
6	2	1	1,3	0,9	10	6 и 10	3500	3
7	3	20	1,1	0,7	20	7 и 11	1500	2
8	4	100	1,2	0,8	30	1 и 6	3000	4
9	1	4	1,3	0,9	40	3 и 8	2000	3

10	2	2,5	1,2	0,7	50	3 и 10	1000	1
----	---	-----	-----	-----	----	--------	------	---

10. ЭЛЕМЕНТЫ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Эколого-экономический анализ предприятий (ЭЭАП) является одним из необходимых элементов экологического сопровождения их хозяйственной деятельности. Он включает в себя несколько направлений:

- *диагностику предприятия* – необходима для оценки конкурентоспособности и анализа инвестиционной привлекательности предприятия;
- *ранжирование или построение математических моделей* – они позволяют выявить систему взаимосвязей показателей (объектов) и наилучшим образом достигнуть цели исследования (выбрать экологически чистое предприятие);
- *экологизацию природопользования* – это неуклонное и последовательное внедрение технических, технологических, организационных мероприятий, позволяющих повышать эффективность использования природных ресурсов (земли, воды, топлива, энергии, минерального сырья и т.д);
- *оценку уровня экологической безопасности предприятия* – необходима для безопасности промышленного производства на локальном и региональном уровнях;
- *оценку экологической опасности отрасли.*

10.1. Ранжирование предприятий

Оценка экологичности предприятий проводится на основе рейтинга по экологическим платежам [10].

Рейтинг по экологическим платежам рассчитывается как соотношение нормативных, сверхнормативных и штрафных платежей за загрязнение ОС (безразмерная величина):

$$R = \sqrt{a_{вод} \cdot \left(\frac{X_{вод}}{X_{вод.H}} \right)^2 + a_{атм.} \cdot \left(\frac{X_{атм.}}{X_{атм.H}} \right)^2 + a_{отх.} \cdot \left(\frac{X_{отх.}}{X_{отх.H}} \right)}, \quad (10.1)$$

где $a_{вод}, a_{атм.}, a_{отх.}$ - весовые коэффициенты, характеризующие важность данного аспекта (приоритетность проблем охраны водных объектов, атмосферы, почв в конкретном регионе), могут быть приняты равными коэффициентам экологической ситуации и экологической значимости, установленным «Инструктивно-методическими указаниями...» [11]; $X_{вод.}, X_{атм.}, X_{отх.}$ -

сверхнормативные суммы платежей, p , за загрязнение ее соответственно водных объектов, атмосферы и почв (размещение отходов); (складываются из суммы платежей в пределах установленных лимитов и сверхнормативных сумм);

$X_{\text{вод.Н}}$, $X_{\text{атм.Н}}$, $X_{\text{отхН}}$ - экологические платежи за загрязнения в соответствующие компоненты ОС в пределах установленных нормативов, т/г.

Показатель характеризует степень выполнения установленных нормативов воздействия на ОС, т.е. является выраженной через денежные оценки характеристикой общей «экологичности» производства. Очевидно, что предприятие с меньшим значением R является более экологичным.

Задание 1

Рассчитайте значения рейтинга на предприятиях № 1 и № 2. Сопоставьте предприятия с учетом данных по экологическим платежам. Сделайте вывод, какое из них по величине рейтинга более экологично.

Исходные данные для предприятия № 1 представлены в табл. 10.1, для предприятия № 2 – в табл. 10.2. Коэффициенты, учитывающие экологические факторы, представлены в табл. 10.3. В табл. 10.1 и 10.2 приняты следующие обозначения: В – водные объекты, А – атмосферный воздух, О – размещение отходов.

Таблица 10.1

Исходные данные для предприятия №1

Номер варианта	Место расположения объекта	Плата за допустимые выбросы, тыс. р.			Плата за сверхнормативные выбросы, тыс. р.		
		В	А	О	В	А	О
1	Уренгой	97,20	186,10	313,10	4,90	636,30	200
2	Надым	176,30	135,90	116,70	162,70	18,90	58,30
3	Ямбург	52,40	72,40	60,48	140	98,9	88,9
4	Сургут	13,60	331,30	87,10	151,90	15,80	50,90
5	Тюмень	35,00	1599,60	13820	35,90	797,90	200
6	Оренбург	78,80	233,30	10,10	100,00	192,70	38,40
7	Астрахань	0,40	288,80	287,60	5,20	8,20	222,70
8	Волжский	36,50	26960	95,30	64,10	317,30	55,80
9	Кубань	1,02	44,90	6,26	43,60	0,98	7,99
10	Москва	70,10	143,70	36,20	189,60	34,1	5,30

Таблица 10.2

Исходные данные для предприятия №2

Номер варианта	Место расположения объекта	Плата за допустимые выбросы, тыс. р.			Плата за сверхнормативные выбросы, тыс. р.		
		В	А	О	В	А	О
1	Уренгой	75,10	145,70	35,20	189,60	34,10	5,30
2	Надым	2,02	54,90	8,26	43,60	1,98	7,99
3	Ямбург	46,50	219,60	85,30	64,10	317,30	55,80
4	Сургут	1,40	188,80	187,60	5,20	8,20	222,70
5	Тюмень	88,80	283,30	80,10	100,00	192,70	38,40
6	Оренбург	45,00	1499,6	148,20	35,20	797,90	200
7	Астрахань	23,60	231,30	97,10	151,90	15,80	50,90
8	Волжский	62,40	62,40	50,48	140	98,9	88,9
9	Кубань	176,30	135,90	116,70	162,70	18,90	58,30
10	Москва	100,20	196,10	315,10	4,90	636,30	200

Таблица 10.3

Коэффициенты, учитывающие экологические факторы [12]

Номер варианта	Место расположения объекта	Значения коэффициента K_s		
		для атмосферного воздуха	для почвы	для воды
1	Уренгой	1,4	1,4	1,51
2	Надым	1,5	1,3	1,18
3	Ямбург	1,9	1,6	1,2
4	Сургут	1,1	1,5	1,14
5	Тюмень	1,5	2	1,15
6	Оренбург	1,9	1,9	1,06
7	Астрахань	1,6	1,7	1,11
8	Волжский	2	1,7	1,13
9	Кубань	1,2	1,2	1,24
10	Москва	1,4	1,1	1,05

10.2. Оценка уровня экологической безопасности предприятия

Оценка экологической безопасности промышленного производства базируется на системе критериев, охватывающей все уровни взаимодействия производства и ОС. Однако на глобальном (мировом) территориальном уровне анализ промышленного производства не всегда базируется на показателях экологической безопасности. В то же время рассмотрение низшего территориального уровня - необходимое условие адекватности оценок, поскольку показатели локального уровня являются исходными данными для анализа экологической безопасности промпроизводства на уровне региона.

Оценка безопасности предприятия производится на основе:

- технической документации предприятия;
- экологической документации предприятия - томов ПДВ и ПДС, ОВОС, материалов экологической экспертизы;
- финансовой документации предприятия;
- данных о районе расположения предприятия;
- соответствующих методик расчетов комплексных экологических и эколого-экономических показателей.

Для оценки экологической безопасности промышленного предприятия используются 10 комплексных показателей.

1. Коэффициент нормативной экологической опасности (K_n), безразмерная величина; характеризует степень потенциальной экологической опасности предприятия в условиях нормальной эксплуатации при соблюдении всех экологических нормативов. Значения коэффициента пропорциональны нормированным величинам ПДК загрязняющего вещества для предприятий различных классов опасности. Выражается в баллах в зависимости от класса опасности предприятия:

- для предприятий 1-го класса опасности $K_n = 400$;
- для предприятий 2-го класса опасности $K_n = 100$;
- для предприятий 3-го класса опасности $K_n = 36$;
- для предприятий 4-го класса опасности $K_n = 4$.

2. Показатель превышения нормативной зоны загрязнения (S), безразмерный коэффициент; характеризует степень превышения нормативного загрязнения атмосферы.

$$S = \left(\pi (r_{c33} + \nu \cdot S_n / \pi)^2 + S_3 \right) / \pi (r_{c33} + \nu \cdot S_n / \pi)^2, \quad (10.2)$$

где r_{c33} – радиус санитарно-защитной зоны, м; S_n – площадь предприятия; m^2 ;
 S_3 – площадь земли, m^2 ; ν – уровень превышения нормативного загрязнения атмосферы.

3. Показатель превышения нормативного объема выбросов вредных веществ в атмосферу (V_a), безразмерный коэффициент; характеризует степень превышения реальных выбросов вредных веществ в атмосферу над нормативными уровнями ПДВ:

$$V_a = M_{\text{сум}} / M_{\text{ндв}}, \quad (10.3)$$

где

$$\dot{I}_{\text{ндв}} = \sum \left(\frac{\dot{I}_j}{G_{\text{ндв}}^j} \right)^{aj}, \quad (10.4)$$

$$\dot{I}_{\text{ндв}} = \sum \left(\frac{\dot{I}_{\text{ндв}}^j}{G_{\text{ндв}}^j} \right)^{aj}, \quad (10.5)$$

где M^j – фактический выброс j -го вредного вещества в атмосферу от всех источников выброса предприятия, т/год; $M_{\text{ндк}}^j$ – разрешенный для предприятия предельно допустимый объем выброса j -го вредного вещества, т/год; $G_{\text{ндк}}^j$ – значение максимально разовой ПДК j -го загрязняющего вещества, мг/м³; aj – безразмерный коэффициент относительной опасности j -го загрязняющего вещества, определяется в зависимости от класса опасности вещества: для вещества 1-го класса 1,7; 2-го – 1,3; 3-го – 1,0; 4-го – 0,9.

4. Показатель превышения нормативного объема сбросов вредных веществ в водоемы (V_b), безразмерный; рассчитывается аналогично V_a с учетом ценности соответствующих водоемов (рекреационной, рыбохозяйственной, производственной и т.д.).

5. Показатель превышения нормативного объема отходов ($V_{\text{отх}}$), безразмерный; характеризует превышение реального объема вывоза и складирования отходов над нормативным. Рассчитывается аналогично V_a, V_b с учетом подготовки мест складирования отходов.

6. Показатель превышения нормативных уровней физических воздействий ($V_{\text{фв}}$), безразмерный; характеризует степень превышения реальных вредных физических воздействий (шума, ультразвука, инфразвука, электромагнитного излучения) над нормативными величинами. Рассчитывается аналогично трем предыдущим показателям.

7. Коэффициент озеленения зоны воздействия ($K_{\text{оз}}$), безразмерный; характеризует степень озеленения зоны воздействия предприятия. Если зона загрязнения превышает зону воздействия, коэффициент характеризует степень озеленения зоны загрязнения:

$$K_{O3} = \frac{S_e}{T_{O3} + S_e}, \quad (10.6)$$

где T_{O3} – озелененная территория.

$$S_a = \pi \left(r_{нсс} + \frac{v \cdot S_i}{\pi} \right)^2. \quad (10.7)$$

8. Коэффициент людности ареала вредного воздействия ($K_{люд}$), безразмерный коэффициент, характеризующий степень заселенности ареала вредного воздействия предприятия, а следовательно, и потенциальную опасность предприятия для населения:

$$K_{люд} = (H_p + P_n) / H_p, \quad (10.8)$$

где H_p – нормативная плотность населения (принимается 1 чел./га); P_n – средняя плотность населения в границах ареала вредного воздействия предприятия. Определяется экспертным методом.

9. Коэффициент ценности территории в пределах ареала вредного воздействия предприятия ($K_{тер}$), безразмерный; характеризует сравнительную природную, общественную, культурно-историческую, рекреационную и другие ценности территории в пределах ареала воздействия предприятия относительно определенной эталонной территории. Должен определяться экспертным методом. Конкретные методики и расчетные формулы для данного коэффициента пока не разработаны.

10. Интегральный показатель экологической опасности предприятия ($R_{инт}$), безразмерный (в баллах) показатель, позволяющий дать комплексную интегральную сравнительную оценку уровня экологической опасности предприятия с учетом как «внутренних», так и «внешних» факторов:

$$R_{эио} = \hat{E}_{ic} \hat{E}_{epa} \hat{E}_{dad} S V_a V_{id\bar{a}} V_{da} \hat{E}_i. \quad (10.9)$$

Задание 2

Для нефтяного месторождения площадью S (га) оцените уровень экологической опасности. Соотношение фактической массы ЗВ, поступающих в атмосферу, к ПДВ составляет 1,1, для сбросов соотношение фактической массы и ПДС равно 1, для размещения отходов это соотношение составляет 0,9; численность персонала $Ч$ (чел.): средняя плотность населения – ρ (чел./км²);

средний уровень шума УШ (дБА). Класс опасности предприятия (КОП). $K_{тер}$ примем равным 4. Исходные данные для расчета приведены в табл. 10. 4.

Таблица 10.4

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S, га	400	200	240	280	300	360	380	220	340	420
Ч, чел	40	60	80	100	48	50	120	110	70	90
ρ , чел./км ²	4	2,6	6	2,5	2,8	4	2,6	6	2,5	2,8
КОП	1	2	3	4	2	3	1	4	2	3
УШ, дБА	40	60	80	40	80	60	40	60	80	40

10.3. Оценка экологической опасности отрасли

Показатели оценки экологической опасности для отраслей рассчитываются аналогично расчетам для предприятий или представляются в результате обобщений по отдельным представителям на основе заранее проведенной типизации объектов по направлениям деятельности.

При оценке экологической опасности загрязнения ОС в результате антропогенной деятельности в качестве одного из показателей используется *коэффициент токсичности* отрасли промышленности. Такие оценки позволяют учесть степень токсичности валовых выбросов предприятий. Очевидно, что при равных суммарных массах выбросы предприятий характеризуются различной токсичностью, т. е. представляют большую опасность для ОС и человека.

Коэффициент токсичности выбросов в атмосферу K_m рассчитывается следующим образом [13]:

$$K_m = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} M_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \quad (10.10)$$

где C_i – ПДК i -го компонента, содержащегося в выбросах предприятий отрасли (табл. 10.5); M_i – объем выбросов вещества; n – число выбрасываемых веществ.

Таблица 10.5

**Предельно допустимые концентрации вредных веществ
в атмосферном воздухе**

Наименование веществ	Формула	ПДК _{мр}
Оксид азот	NO	0,4
Диоксид азота	NO ₂	0,085
Акриловая кислота	C ₃ H ₄ O ₂	0,1
Аммония хлорид	NH ₄ Cl	0,2
Бензальдегид	C ₇ H ₆ O	0,04
Бензол	C ₆ H ₆	0,3
Ртуть	Hg	-
Серы диоксид	O ₂ S	0,5
Сероводород	H ₂ S	0,008
Тетрахлорметан	CCl ₄	4,0
Трихлорэтилен	C ₂ HCl ₃	4,0
Углерода (II) оксид	CO	5,0
Формальдегид	C ₆ H ₆ O	0,01
Хлор	CH ₂ O	0,035
Этанол	Cl ₂	0,1
Этиламин	C ₂ H ₆ O	5,0
Углеводород		1,5

На основе расчета показателей токсичности выбросов отрасли промышленности подразделяются на четыре группы (табл. 10.6).

Расчеты проводятся на основе информации государственной статистической отчетности. В расчетах коэффициентов токсичности выбросов используются санитарно-гигиенические показатели.

Классификация отраслей промышленности по степени детериорантности (по экологической опасности для ОС [13]) приведена в табл. 10.7.

Таблица 10.6

**Классификация отраслей промышленности по степени токсичности
выбросов**

Отрасли промышленности	K _т	Оценка токсичности выбросов
Цветная металлургия; нефтехимическая; химическая	K _т =10,1 +15	Особенно токсичные выбросы
Нефтехимическая; микробиологическая	K _т = 5,1 +10	Очень токсичные выбросы
Черная металлургия; лесная; деревообрабатывающая; целлюлозно -бумажная	K _т =1,6 +5,0	Токсичные выбросы

Теплоэнергетика; топливная промышленность; машиностроение; металлообработка; лесная; пищевая	$K_T = 1,0+1,5$	Менее токсичные выбросы
---	-----------------	-------------------------

Таблица 10.7

Классификация отраслей промышленности по экологической опасности для ОС

Отрасли промышленности	Индекс экологической опасности, рассчитанный по отношению к валовой продукции
Цветная металлургия; нефтехимическая; химическая	10,1 -15,0
Нефтехимическая; микробиологическая	5,1 +10
Черная металлургия; лесная; деревообрабатывающая; целлюлозно -бумажная	1,1 +5,0
Теплоэнергетика; топливная промышленность; машиностроение; металлообработка; лесная; пищевая	0,05 -1,0

Индекс экологической опасности отрасли рассчитывается по формуле

$$I_{эi} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{m1}, K_{m2} \left(\frac{a_{ij} \cdot A_i}{b_j \cdot B} \right)}{n}, \quad (10.11)$$

где $I_{эi}$ – индекс экологической опасности j -й отрасли; a_{ij} – абсолютные показатели воздействия j -ой отрасли (i – землеемкость, тыс. га; водопотребление, млн m^3 ; выброс загрязняющих веществ в атмосферу, тыс. т; сброс сточных вод, млн m^3); b_j – объем валовой продукции j -й отрасли (млн руб.); A_i – показатели землеемкости, водопотребления, выбросов ЗВ для промышленности в целом; B – валовая продукция промышленности в целом; n – число абсолютных показателей воздействия отрасли; K_{m1} , K_{m2} – коэффициенты выбросов j -й отрасли соответственно в атмосферу, водоемы. Кроме того, для учета воздействия предприятий на ОС при размещении отходов необходимо учесть и их токсичность. Это может быть сделано, в частности, на основе существующих методических документов.

Задание 3

Рассчитайте коэффициент токсичности выбросов в атмосферу K_m .

По нефтехимической отрасли выбрасываются следующие вредные вещества (тыс. тонн): диоксид серы (SO_2), оксид углерода (CO), оксид азота (NO_2),

углеводороды, оксид азота (NO). Исходные данные для расчета приведены в табл. 10.8.

Таблица 10.8

Исходные данные

Параметр	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SO ₂ , тыс. тонн	123	146	160	200	210	190	148	220	246	130
CO, тыс. тонн	38,6	34,2	42,4	40,8	46,4	52,4	36,8	40,2	38,4	30,9
NO ₂ , тыс.тонн	2,4	3,0	3,6	2,6	2,0	2,2	3,8	4,2	4,0	4,4
Углеводороды, тыс.тонн	99,2	86,4	81,6	86,8	94,4	92,8	90,2	98,8	96,9	99,0
NO, тыс.тонн	1,8	4,0	6,6	4,4	6,8	2,4	2,8	3,8	3,6	5,5

10.4. Оценка региональной экологической безопасности

В оценке региональной экологической безопасности применяются подходы, несколько отличающиеся от оценок опасности отдельных предприятий. Это объясняется различным соотношением территориального (объектного) и промышленного (субъектного) факторов при анализе экологической безопасности на различных уровнях. На локальном уровне основное внимание уделяется определению характеристик опасности предприятия (субъекта воздействия). Территориальные показатели (зона воздействия, зона загрязнения, ареал воздействия) – производные от объемов фактического и нормативного техногенного воздействия промобъекта. На региональном же уровне главной задачей становится оценка безопасности объекта воздействия (региона), территориально жестко ограниченной техносциоприродной системы. При этом региональное промышленное производство является субъектом воздействия (внешним вредным фактором), но в то же время входит в структуру региона (объекта воздействия) и само становится реципиентом воздействия. Поэтому при оценке региональной экологической безопасности техногенное влияние промышленного производства рассматривается как «внутренний» фактор опасности (за исключением случаев, когда наблюдается перенос значительных объемов вредных воздействий техногенного происхождения из других регионов).

Показатели ресурсных балансов – основная группа критериев, отражающая степень сбалансированности региона как единой территориальной системы, включающей в себя весь комплекс реципиентов техногенного воздействия.

На региональном уровне выделяют три основные группы ресурсов:

- *экологические*: ассимиляционные емкости экосистем (или другие показатели их устойчивости), вода и кислород;

- *технологические*: электроэнергия и топливно-энергетические ресурсы (можно привести и другие виды, но при оценке региональной экологической безопасности достаточно рассматривать указанные [10]);

- *демографические* (население).

Для каждого из ресурсов оценивается *ресурсообеспеченность* (количество ресурса на территории региона), *ресурсопотребление* (количество ресурса, потребленного в регионе за определенный промежуток времени) и *ресурсный баланс* (соотношение между ресурсообеспеченностью и ресурсопотреблением). Рассмотрим систему показателей оценки ресурсной составляющей экологической безопасности региона. Она включает в себя три группы.

I. Основные показатели ресурсообеспеченности региона

Экологические ресурсы:

1. Показатель ассимиляционной емкости – A_p (безразмерн.).

2. Удельный вес естественных биогеоценозов – $U_{ест}$ (безразмерн.):

$$U_{ест} = \sum S_{бгц}^i / S \cdot n, \quad (10.12)$$

где $S_{бгц}^i$ – площадь i -го естественного биогеоценоза, км²; S – площадь региона, км²; n – количество естественных биогеоценозов в регионе.

3. Общий сток на территории региона – Q_o (млн м³/год).

4. Суммарный местный поверхностный и подземный сток – Q_m (млн м³/год).

5. Региональное воспроизводство кислорода – Π_v (т/год):

$$\Pi_v = \sum S_{бгц}^i Y, \quad (10.13)$$

где Y – ежегодное производство кислорода i -м растительным сообществом, условно определяется по табл. 10.9.

Таблица 10.9

Ежегодное производство кислорода

Вид БГЦ	Смешанный лес	Пашня	Пастбище	Водная поверхность	Город
Воспроизводство O ₂ , т/км	1000-1500	500-600	400-500	100	80-100

Демографические ресурсы

6. Общее количество населения – N (тыс.чел).

7. Средняя плотность населения – P_n (чел./км²).

Технологические ресурсы

8. Произведенная в регионе за год электроэнергия $E_{пр}$ (млн кВт·ч).

9. Добытый (производственный) за год в регионе i -й топливно – энергетический ресурс – $T_{пр}$ (тыс.т).

II. Показатели ресурсопотребления региона

1. Водопотребление региона – q (млн m^3 /год).
2. Фактическое потребление кислорода предприятиями региона – Π_k (т/год).
3. Объем использованной за год на территории региона электроэнергии – $E_{исп}$ (млн кВт·ч).
4. Масса потребленного за год i -го топливно-энергетического ресурса – m_i (т/год).
5. Суммарная масса производственных отходов по всем предприятиям региона – $G_{п}$ (т/год).
6. Суммарная масса бытовых отходов на территории региона – G_b (т/год).

III. Показатели ресурсных балансов региона

1. Баланс ассимиляционных емкостей A (безразмерн.).
2. Баланс воспроизводства кислорода – Π (млн m^3 /год):

$$\Pi = 0,04 \cdot \Pi_k - \Pi_b, \quad (10.14)$$

где 0,04 – коэффициент, определяющий часть воспроизведенного кислорода, которую можно изъять для потребления промышленностью без ущерба для экосистем региона.

3. Баланс водопотребления – Q (млн m^3 /год):

$$Q = Q_m - q. \quad (10.15)$$

4. Демографический баланс обеспеченности водными ресурсами – D_b (безразмерн.):

$$D_b = N \left(\frac{2500 Q_m}{P_n} + \frac{1000 \mathcal{E} \cdot S}{P_c} \right), \quad (10.16)$$

где S – площадь региона, m^2 ; P_n – нормативная обеспеченность, л/100 чел. год; P_c – специальный норматив водоснабжения, л/100 чел. год; \mathcal{E} – эксплуатационный модуль подземного стока.

5. Демографический баланс обеспеченности рекреационными ресурсами D_p – (безразмерн.):

$$D_p = N \cdot 417 (2S_n + L), \quad (10.17)$$

где 417 – коэффициент, имеющий размерность чел./км²; 2 – коэффициент, имеющий размерность км; S_л – площадь лесов в регионе, км²; L – длина водотоков, пригодных для купания, км.

6. Интегральный демоэкологический баланс – D (оценочная характеристика).

Оценка производится по табл. 10.10.

Таблица 10.10

Оценка демоэкологического баланса

Оценка демоэкологического равновесия	U _{ест}	U _л	P _н
Стабильное равновесие	≥0,5	≥0,3	≤60
Условное равновесие	0,3-0,5	0,2-0,3	60-90
Незначительное равновесие	0,2-0,3	0,1-0,2	90-100
Отсутствие равновесия	<0,2	<0,1	>100

U_{ест} – удельный вес всех естественных биогеоценозов; U_л – удельный вес леса (рассчитывается аналогично U_{ест}); P_н – средняя плотность населения.

7. Баланс электроэнергии – E (кВт·ч/год):

$$E = E_{\text{пр}} - E_{\text{исп.}} \quad (10.18)$$

8. Топливный баланс по i-му топливно-энергетическому ресурсу-T (т/год):

$$T = T_{\text{пр}} - m_i \quad (10.19)$$

Фактическое потребление кислорода рассчитывается исходя из объемов выбросов загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, с использованием соответствующих переводных коэффициентов, которые зависят от молярной массы веществ (для оксидов углерода (по CO) - 0,571, для окислов азота (по NO₂) – 0,696, а для SO₂ – 0,5. Основными загрязнителями, связывающими атмосферный кислород, являются оксиды углерода, азот и сернистый ангидрид. Их количество определяют по форме государственной статистической отчетности 2-ТП (воздух). Аналогичные расчеты проводятся для передвижных источников загрязнения. Объемы потребляемого кислорода по отдельным веществам суммируются, также суммируются объемы потребляемого кислорода по передвижным и стационарным источникам загрязнения в регионе.

Задание 4

Рассчитайте величину регионального демоэкологического баланса. Исходные данные представлены в табл. 10.11.

Таблица 10.11

Исходные данные

Параметры		Варианты						
		1	2	3	4	5	6	7
Структура территории								
1	Общая площадь, км ²	222	1670	781	2161	802,3	1726	2000
2	Леса и насаждения, км ²	71,6	524	190	1004	273	944	870
3	Сельскохозяйственные земли, км ²	70,5	902	312	721	318	600	692
4	Площадь лесов, км ²	14,6	1,8	157	38,6	3,7	6,3	14,8
Население								
5	Население, тыс. чел.	342	55,6	159	190	106	124	239
6	Процент городского населения, %	95,2	48,6	77,0	65,2	70,8	73,7	78,5
7	Рождаемость на 1000 чел.	9,4	11,1	11,8	10,5	9,8	11,4	11,5
8.	Смертность на 1000 чел.	10,8	13,7	11,7	12,7	11,2	15,7	10,9
9.	Общая заболеваемость на 1000 чел.	920	960	950	980	890	970	1010
Воздушная среда								
10	Биопродукция O ₂ , тыс.т/год	109	1000	388	1387	425	1469	1280
11	Потребление O ₂ , тыс.т/год	1192	197	1136	1315	546	568	2088
12	Выбросы аэрополлютантов, тыс.т/год	14,6	1,8	1507	38,6	3,7	6,3	14,8
Водная среда								
13	Речной сток в проток, млн м ³ /год	40	624	2243	1477	212	275	388
14	Водозабор, млн м ³ /год	34	19	79	37	22	22	55
15	Загрязненные стоки, млн м ³ /год	1	6	39	21	15	2	36

10.5. Экономическая эффективность природоохранных мероприятий

Экономическая эффективность природоохранных мероприятий рассчитывается с помощью оценки экономического ущерба. Экономический ущерб – выраженные в стоимостной форме фактические и возможные убытки, причиняемые народному хозяйству загрязнением окружающей среды или дополнительные затраты на компенсацию этих убытков.

Экономическая эффективность природоохранных мероприятий рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{\sum Y_i}{Z}, \quad (10.20)$$

где $\sum \Delta Y_i$ – сумма уменьшений ущерба в расчете за год; Z – затраты на восстановление окружающей среды.

$$\sum \Delta Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 - (Y'_1 + Y'_2 + Y'_3 + Y'_4), \quad (10.21)$$

где $Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4$ – ущерб до проведения природоохранных мероприятий; $Y'_1 + Y'_2 + Y'_3 + Y'_4$ – ущерб после проведения природоохранных мероприятий.

$$Z = C + KE_n, \quad (10.22)$$

где C – текущие затраты на содержание природоохранного оборудования за год, например, оплата электроэнергии, заработная плата и т.д.; K – капитальные

затраты; E_n – нормативный коэффициент эффективности. С помощью этого коэффициента капитальные затраты усредняются за год. Может принимать значения от 0,12 до 0,15.

При $\Theta \geq 1$ природоохранное мероприятие эффективно, при $\Theta < 1$ – неэффективно.

Риск любого явления вычисляется по формуле

$$R = P^m Y^n, \quad (10.23)$$

где P – вероятность наступления аварии; Y – ущерб, который понесет общество в результате аварии; m и n – предполагаемые коэффициенты от риска.

Чем больше ущерб, тем менее вероятна авария и тем авария крупнее. Вероятность крупных аварий мала. Вероятность же мелких аварий велика.

Задание 5

Рассчитайте экономическую эффективность строительства очистных сооружений по своему варианту, если текущие затраты C , капитальные затраты K , ущерб до строительства для атмосферного воздуха составляет Y_1 , для водной среды Y_2 , для земли Y_3 , ущерб для флоры и фауны Y_4 . После строительства очистных сооружений ущерб для атмосферного воздуха составляет Y'_1 , для водной среды Y'_2 , для земли Y'_3 , для флоры и фауны Y'_4 . Коэффициент эффективности строительства E . Исходные данные для расчета представлены в табл. 10.12.

Таблица 10.12

Исходные данные

Номер варианта	C , млн руб./год	K , млн руб./год	Y_1 , млн руб./год	Y_2 , млн руб./год	Y_3 , млн руб./год	Y_4 , млн руб./год	Y'_1 , млн руб./год	Y'_2 , млн руб./год	Y'_3 , млн руб./год	Y'_4 , млн руб./год	Коэффициент E
1	158	50	12	0	12	50	4	0	6	25	0,12
2	124	43	24	1	22	85	12	0,2	2	25	0,13
3	582	108	3	15	5	5	0,2	7	0,5	2	0,14
4	0,8	0,2	45	0,2	17	1	10	0	12	0,1	0,15
5	14	1	5	0,5	15	0	2	0	1	0	0,12
6	46	0,3	12	0,9	4	0,2	6	0,1	1	0	0,13
7	35	0,5	3	0	17	0,3	1	0	8	0,1	0,14
8	52	2	5	10	12	0,5	1	4	5	0,2	0,15
9	65	0,8	8	2	12	0,5	1	1	5	0,2	0,12
10	75	0,9	0,9	5	1	0,7	0,1	1	0,2	0,45	0,13

Задание 6

Рассчитайте риск вероятной аварии R (вероятность P), год⁻¹, при теоретическом ущербе от риска $У$ и предполагаемых коэффициентах риска m , n . Исходные данные для расчета представлены в табл. 10.13.

Таблица 10.13

Исходные данные

Номер варианта	P	$У$, млн руб	m	n
1	0,9	10	2	1
2	0,92	20	3	2
3	0,90	30	5	5
4	0,94	40	6	8
5	0,95	50	7	7
6	0,96	1000	8	9
7	0,97	100	5	5
8	0,98	10	9	4
9	0,99	15	4	7
10	0,8	200	4	8

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При реализации большинства технологических процессов и производив возможны аварийные ситуации и несчастные случаи с людьми. Это приводит к понижению производительности труда, выхода из строя оборудования, загрязнению окружающей среды.

Безопасность проведения технологических и производственных процессов зависит от многих переменных параметров. Выявление и оценка качественных и количественных значений вредных и опасных факторов производственной среды позволяет разработать мероприятия по снижению вероятности возникновения аварий и несчастных случаев на производстве.

Представленные в учебном пособии задачи, их решения и краткий теоретический материал позволяют установить последовательность обоснования, обеспечения и поддержания оптимальных значений показателей безопасности при разработке, проектировании и эксплуатации технологического оборудования, способствуют развитию научного и технического потенциала знаний студентов. Навыки, которые будущие специалисты приобретут в процессе самостоятельного решения задач по обеспечению техносферной безопасности, могут быть использованы в практической инженерной деятельности.

Библиографический список

1. СНиП 2.09.04-87* Административные и бытовые здания/ М.: Госстрой России,1987 - 100 с.
2. СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве/ М.: Госстрой России,2001 - 110 с.
3. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения.- М.: Госстрой России,1988 - 128 с.
4. Ткачук, К.Н. Справочник по охране труда на промышленном предприятии / К.Н. Ткачук, Д.Ф. Иванчук, Р.В. Сабарно, А.Г. Степанов. - Киев: Тэхника, 1991. - 285 с.
5. Родионов, А.И. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических процессов защиты биосферы от промышленных выбросов: учеб. пособие для вузов / А. И. Родионов [и др.]. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
6. Белов, С.В. Охрана окружающей среды: учеб. для техн. спец. вузов / С. В. Белов, Ф. А. Барбинов, А. Ф. Козьяков [и др.]; под ред. С. В. Белова. – М.: Высш. шк., 1991. – 319 с.
7. Борисов, Г.С. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г. С. Борисов [и др.]; под ред. Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
8. Кульский, Л.А. Справочник по свойствам, методам анализа и очистки воды /Л.А. Кульский, И.Т. Горановский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко. - Киев: Наукова думка, 1980. Т.2. -120 с.
9. Хаустов, А.П Экономика природопользования: диагностика и отчетность предприятий: учеб. пособие/ А.П. Хаустов, М.М. Редина - М.: Изд-во РУДН, 2002. -216 с.
10. Инструктивно-методические указания по взиманию платы за загрязнение окружающей природной среды. - Минприроды, Минэкономики, Минфин РФ, 1993.
11. О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в поверхностные и подземные объекты, размещение отходов производства и потребления. Постановление Правительства РФ от 12 июня 2003 г. №344(Д).
12. Дончева, А.В. Экологическое проектирование и экспертиза: Практика: учебн. пособие /А.В. Дончева. - М.: Аспект-Пресс, 2002. -2 96 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Основные физические константы

Константа	Обозначение	Физическое значение
Гравитационная постоянная	G	$6,67428(67) \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$, или

		$\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$,
Скорость света в вакууме	c	$2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Магнитная постоянная	μ_0	$1,25663706 \times 10^{-6} \text{ Гн/м}$
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85418782 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Постоянная Планка	h	$6,626176 \cdot 10^{-34} \text{ Джс}$
Атомная единица массы	а.е.м.	$1,6605655 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,022045 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль}$
Постоянная Фарадея	F	$98484,56 \text{ Кл/моль}$
Молярная газовая постоянная	R	$8,31441 \text{ Дж/мольК}$
Постоянная Больцмана	k	$1,380662 \cdot 10^{-23} \text{ ДжЖ}$
Нормальный объем идеального газа при нормальных условиях	V_0	$2,241 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{моль}$
Нормальное атмосферное давление	P_0	101325 Па
Ускорение свободного падения	g	$9,80665 \text{ м/с}^2$

Оглавление

Введение	3
1. Производственная санитария	5
1.1. Вентиляция цехов и душирование рабочих мест.....	5
1.2. Расчет приточно-вытяжной вентиляции для удаления избыточных теплоты, водяных паров, газов и пыли.....	16
1.3. Расчет теплоизоляции.....	21
1.3.1. Расчет теплоизоляции технологического оборудования.....	21
1.3.2. Расчет потерь тепла на нагревание наружного воздуха, материалов и транспорта, поступающих в помещение.....	25
2. Безопасность жизнедеятельности	26
2.1. Производственная освещенность.....	26
2.2. Борьба с шумом и вибрацией.....	32
2.3. Электробезопасность.....	38
2.4. Производственные излучения.....	45
3. Безопасная эксплуатация оборудования, работающего под давлением	53
4. Вопросы охраны труда на производстве	55
4.1. Профилактика травматизма.....	57
4.2. Ассигнования на охрану труда.....	62
4.3. Оценка ущерба и затрат предприятия.....	63

4.4. Расчет экономического эффекта улучшения условий труда на предприятии.....	67
5. Взрывопожаробезопасность на производстве и пожарная профилактика.....	75
6. Надежность технических систем и техногенный риск.....	86
7. Расчет технологического оборудования для защиты атмосферы от выбросов предприятий.....	92
7.1. Расчет пылеосадительной камеры.....	93
7.2. Расчет Циклона.....	95
7.3. Расчет пенного пылеуловителя.....	
7.4. Расчет Скруббера Вентури.....	90
7.5. Расчет абсорбера.....	94
8. Расчет технологического оборудования для защиты гидросферы от промышленных и бытовых сточных вод.....	98
8.1. Расчет оборотной системы водоснабжения.....	99
8.2. Расчет замкнутой системы ВОДОИСПОЛЬЗОВАНИЯ	102
8.3. Расчет отстойников.....	104
8.3.1. Расчет вертикального отстойника.....	104
8.3.2. Расчет горизонтальных отстойников.....	107
8.3.3. Расчет радиальных отстойников.....	108
8.4. Расчет сепаратора.....	110
8.5. Расчет напорного зернистого фильтра.....	112
8.6. Расчет напорного гидроциклона.....	116
8.7. Расчет усреднителей.....	118
8.8. Расчет решеток.....	120
8.9. Расчет песколовки.....	121
8.10. Расчет ионообменных фильтров.....	122
9. Определение условий спуска сточных вод в водоемы	
10. Элементы эколого-экономического анализа.....	148
10.1. Ранжирование предприятий.....	148
10.2. Оценка уровня экологической безопасности предприятия.....	151
10.3. Оценка экологической опасности отрасли.....	154
10.4. Оценка региональной экологической безопасности.....	157
10.5. Экономическая эффективность природоохранных мероприятий	162
Заключение.....	
Библиографический список.....	
Приложение.....	

Учебное издание

Жидко Елена Александровна

УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ

Учебное пособие

Редактор Акритова Е.В.

Подписано в печать г. Формат 60x84/16. Уч.-изд. л. 10,7 .
Усл.-печ. л. 10,8. Бумага писчая. Тираж 100 экз. Заказ №

Отпечатано: отдел оперативной полиграфии издательства
учебной литературы и учебно-методических пособий
Воронежского ГАСУ
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84