

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Техносферная безопасность»

Н. П. Попова

**ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ
И ГИГИЕНА ТРУДА**

Екатеринбург
УрГУПС
2016

Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Уральский государственный университет путей сообщения
Кафедра «Техносферная безопасность»

Н. П. Попова

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

Методические рекомендации
к практическим занятиям по дисциплине
«Производственная санитария и гигиена труда»
для студентов направления подготовки
20.03.01 «Техносферная безопасность»,
профиль «Техносферная безопасность»

Екатеринбург
УрГУПС
2016

УДК 614.8
П58

Попова, Н. П.

П58 Производственная санитария и гигиена труда : метод. рекомендации к практическим занятиям / Н. П. Попова. – Екатеринбург ; УрГУПС, 2016. – 92 с.

Рассмотрены примеры решения задач по расчету средств коллективной защиты для обеспечения безопасных условий труда. Приведены задачи для самостоятельной проработки студентами.

Рекомендации разработаны в соответствии с учебной рабочей программой по дисциплине профессионального цикла «Производственная санитария и гигиена труда». Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (уровень бакалавриата), профиль «Техносферная безопасность» при изучении дисциплины профессионального цикла «Производственная санитария и гигиена труда», а также при выполнении выпускной квалификационной работы. Рекомендуются к использованию при инженерных расчетах средств коллективной защиты студентами других направлений подготовки при выполнении выпускной квалификационной работы.

УДК 614.8

Автор: Н. П. Попова, профессор кафедры «Техносферная безопасность», канд. техн. наук, УрГУПС

Рецензент: С. О. Белинский, зам. директора по научной работе НИИ охраны труда в г. Екатеринбурге, канд. техн. наук, доцент

Учебное издание

Попова Нина Павловна

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ И ГИГИЕНА ТРУДА

Редактор *С. В. Пилюгина*

Подписано в печать 20.10.16. Формат 60x84/16
Усл. печ. л.5,4. Электронная версия. Заказ 857

УрГУПС

620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

© Уральский государственный университет
путей сообщения (УрГУПС), 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Вредные вещества	6
2. Отопление	8
3. Вентиляция	21
4. Освещение	46
5. Шум	60
6. Вибрация	73
Приложения	76
Библиографический список	91

ВВЕДЕНИЕ

Создание безопасных условий труда невозможно без использования средств коллективной защиты работников, которые предотвращают или уменьшают воздействие на работников вредных производственных факторов до значений, не превышающих допустимые. Средства коллективной защиты должны быть правильно спроектированы и рассчитаны.

Каждое рабочее место характеризуется состоянием воздушной среды (содержанием в воздухе вредных веществ), условиями микроклимата (в первую очередь это температура воздуха, скорость его движения, относительная влажность), освещенностью рабочих поверхностей, уровнем шума и вибрации. Нормируемые параметры микроклимата в производственных помещениях создаются при помощи систем отопления и вентиляции.

Для разработки систем отопления необходимо правильно определить потери тепла зданием, после чего сконструировать саму систему, тщательно произвести гидравлический расчет, подобрать нагревательные приборы.

Вентиляция, дополняя технологические мероприятия по снижению загрязнения воздуха рабочей зоны – совершенствование технологических процессов, герметизация производственного оборудования и др., позволяет довести содержание вредных веществ до безопасного уровня – до предельно допустимых концентраций для воздуха рабочей зоны. Важно правильно подобрать и оборудование для вентиляционных систем: калориферы для подогрева приточного воздуха, в вытяжных системах – устройства для очистки воздуха от пыли перед выбросом в атмосферу, вентиляторы. В отдельных производствах, где имеются большие тепловыделения, применяют естественную вентиляцию – аэрацию. Для предупреждения снижения температуры воздуха на рабочих местах, расположенных вблизи ворот, у последних устраивают воздушно-тепловые завесы.

Рационально устроенное освещение является одним из основных факторов, обеспечивающих безопасность труда. Свет является стимулятором не только зрительного анализатора, но и всего организма в целом, а также общей работоспособности человека. Недостаток и плохое качество освещения повышает утомление зрения в процессе работы и опасность травмирования из-за слабой различимости опасных объектов. Недостаточное освещение рабочего места затрудняет длительную работу, вызывает повышенное утомление и способствует развитию близорукости. Слишком низкие уровни освещенности вызывают апатию и сонливость, а в некоторых случаях способствуют развитию чувства тревоги. Длительное пребывание в условиях недостаточного освещения сопровождается снижением интенсивности обмена веществ в организме и ослаблением его реактивности.

Производственный шум – совокупность звуков различной интенсивности и высоты, беспорядочно изменяющихся во времени, возникающих в условиях производства и неблагоприятно воздействующих на организм. Производственный шум при превышении гигиенического уровня вызывает у ра-

ботников профессиональную тугоухость, а иногда и глухоту. Еще одной профессиональной патологией органа слуха может быть звуковая травма. Она чаще всего обусловлена воздействием интенсивного импульсного шума и заключается в механическом повреждении барабанной перепонки среднего уха. Шум оказывает общее воздействие на организм, в первую очередь, на нервную и сердечно-сосудистую системы.

Вибрация – механические колебательные движения, которые распространяются в телах с упругими связями. Вибрация на производстве генерируется различным оборудованием, транспортом.

Систематическая длительная работа, связанная с вибрацией, а также с комплексом неблагоприятных факторов, может формировать профессиональное заболевание – вибрационную болезнь. В основе развития вибрационной болезни лежит механизм нарушений здоровья, которые приводят к стойким изменениям в рецепторном аппарате и в центральной нервной системе. Наиболее тяжело страдают системы, которые регулируют сосудистый тонус. Возможна и прямая механическая травматизация, в первую очередь, опорно-двигательного аппарата (мышц, связок, костей и суставов) при интенсивном вибрационном воздействии.

Для инженера важны методы расчета, проектирования и конструирования различных средств защиты от вредных производственных факторов, поэтому в данных методических рекомендациях подробно рассмотрены эти вопросы.

Задачи, приведенные в данных рекомендациях, могут стать основой для выполнения курсового проекта, предусмотренного образовательным процессом по дисциплине профессионального цикла «Производственная санитария и гигиена труда», а также при разработке выпускной квалификационной работы для студентов, обучающихся по направлению 20.03.01 «Техносферная безопасность» (уровень бакалавриата), профиль «Техносферная безопасность». Рекомендации также могут быть использованы при инженерных расчетах средств коллективной защиты при выполнении выпускной квалификационной работы студентами других направлений подготовки университета.

1. ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Задача 1

Определить среднесменную концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны расчетным методом.

Технологический процесс на исследуемом участке предприятия подразделяется на 4 этапа. Продолжительность смены – 8 ч (480 мин). Продолжительность этапов технологического процесса составляла 70, 193, 150 и 67 минут соответственно. Отбор проб воздуха производился в течение двух смен. В первую смену было отобрано 3 пробы на первом этапе, 2 пробы – на втором, 2 – на третьем и 1 – на четвертом. Во вторую смену было отобрано по 2 пробы на каждом этапе.

Решение

Для определения среднесменной концентрации расчетным методом заполняем табл. 1.1.

Таблица 1.1

Определение среднесменной концентрации расчетным методом

Ф.,И.,О.		Петров А.И.				
Профессия		машинист				
Предприятие		ЖБИ				
Цех, производство		Цех №3, производство бетонных изделий				
Наименование вещества		пыль цемента				
Наименование и краткое описание этапа производственного процесса (операции)	Длительность операции (этапа производственного процесса) T_{oi} , мин	Длительность отбора разовой пробы t_i , мин	Концентрация вещества в пробе, K_i , мг/м ³	Произведение концентрации на время, $K_i \cdot t_i$	Средняя концентрация за операцию K_{oi} , мг/м ³	Статистические показатели, характеризующие процесс пылевыведения за смену
1	2	3	4	5	6	7
Этап 1	70	10	40,5	405,0	91,9	Среднесменная концентрация $K_{cc} = 29,6$ мг/м ³
		7	59,5	416,5		
		5	173,3	866,5		
		10	110,6	1106,0		
		5	121,1	605,5		
		$\Sigma t_i = 37$		$\Sigma K_i t_i = 3399,5$		
Этап 2	193	21	18,8	394,8	20,2	Минимальная концентрация в течение смены $K_{min} = 4,0$ мг/м ³
		38	17,8	676,4		
		13	29,9	388,7		
		15	20,0	300,0		
		$\Sigma t_i = 87$		$\Sigma K_i t_i = 1759,9$		
						Максимальная концентрация в течение смены $K_{max} = 173,3$ мг/м ³

1	2	3	4	5	6	7
Этап 3	150	10	39,4	394,0	21,5	
		30	14,2	426,0		
		11	23,7	260,7		
		10	23,3	233,0		
		$\Sigma t_i = 61$		$\Sigma K_i t_i = 1313,7$		
Этап 4	67	15	21,5	322,5	9,5	
		16	11,8	188,8		
		40	4,0	160,0		
		$\Sigma t_i = 71$		$\Sigma K_i t_i = 671,3$		

Рассчитываем средние концентрации для каждой операции $K_{o1} - K_{o4}$:

$$K_{oi} = \frac{K_1 \cdot t_1 + K_2 \cdot t_2 + \dots + K_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

где K_1, K_2, \dots, K_n – концентрации вещества; t_1, t_2, \dots, t_n – время отбора пробы.

Значения средних концентраций для каждой операции заносим в графу 6 табл. 1.1.

По результатам определения средних концентраций за операцию (K_{oi}) и длительности операции (T_{oi}) рассчитываем среднесменную концентрацию (K_{cc}) как средневзвешенную величину за смену:

$$K_{cc} = \frac{K_{o1} \cdot T_{o1} + K_{o2} \cdot T_{o2} + \dots + K_{on} \cdot t_{on}}{\Sigma T_{oi}},$$

где $K_{o1}, K_{o2}, \dots, K_{on}$ – средняя концентрация за операцию; $T_{o1}, T_{o2}, \dots, T_{on}$ – продолжительность операции.

Задача 2

Определить среднесменную концентрацию вредных веществ в воздухе рабочей зоны расчетным методом.

Технологический процесс на исследуемом участке предприятия подразделяется на 3 этапа. Продолжительность смены – 6 ч (360 мин). Продолжительность этапов технологического процесса составляла 50, 154 и 156 минут соответственно. Отбор проб воздуха производился в течение трех смен. В первую смену было отобрано 3 пробы на первом этапе, 2 пробы – на втором и 2 – на третьем. Во вторую смену было отобрано по 2 пробы на каждом этапе. В третью смену было отобрано 2 пробы на первом этапе, 3 пробы – на втором и 3 – на третьем.

Концентрации вредных веществ при каждом отборе пробы и продолжительность отбора приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты измерения концентрации вредных веществ

Наименование и краткое описание этапа производственного процесса (операции)	Длительность операции (этапа производственного процесса), T_{oi} , мин	Длительность отбора разовой пробы t_i , мин	Концентрация вещества в пробе, K_i , мг/м ³
1	2	3	4
Этап 1	50	10	25,3
		15	22,0
		15	120,6
		13	98,5
		7	152,5
		5	160,4
		8	112,0
Этап 2	154	21	18,8
		28	17,8
		15	29,9
		15	20,0
		25	27,6
		30	16,0
Этап 3	156	14	39,4
		25	42,5
		13	23,7
		17	23,3
		20	40,8
		24	18,4
		30	35,6
		22	38,7

2. ОТОПЛЕНИЕ

Задача 3

Рассчитать теплотери одноэтажного производственного здания, рис. 3.1, предназначенного для размещения механосборочного цеха, где выполняются работы категории Пб. Здание расположено в Тюмени. Температура внутреннего воздуха $t_{вн} = 18$ °С.

Конструкции ограждений следующие. Стены здания выполнены из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе, плотность кладки $\rho = 1800$ кг/м³, толщина слоя кирпичной кладки $\delta = 510$ мм, стены оштукатурены с двух сторон известково-песчаной штукатуркой плотностью $\rho = 1600$ кг/м³, толщина внутреннего слоя штукатурки $\delta_{вн} = 20$ мм, толщина наружного слоя штукатурки

$\delta_{\text{нар}} = 25$ мм. Пол – неутепленный, выполнен на уровне планировочной отметки земли. Кровля – многослойная: плиты ребристые железобетонные, керамзитовый утеплитель $\delta = 100$ мм, гидроизоляция из рубероида $\delta = 2$ мм, битумная стяжка $\delta = 10$ мм. Окна – с двойным остеклением в спаренных деревянных (или ПВХ) переплетах. Ворота размером 3×3 м² – деревянные, изготовлены из сосны «поперек волокон», $\delta = 40$ мм.

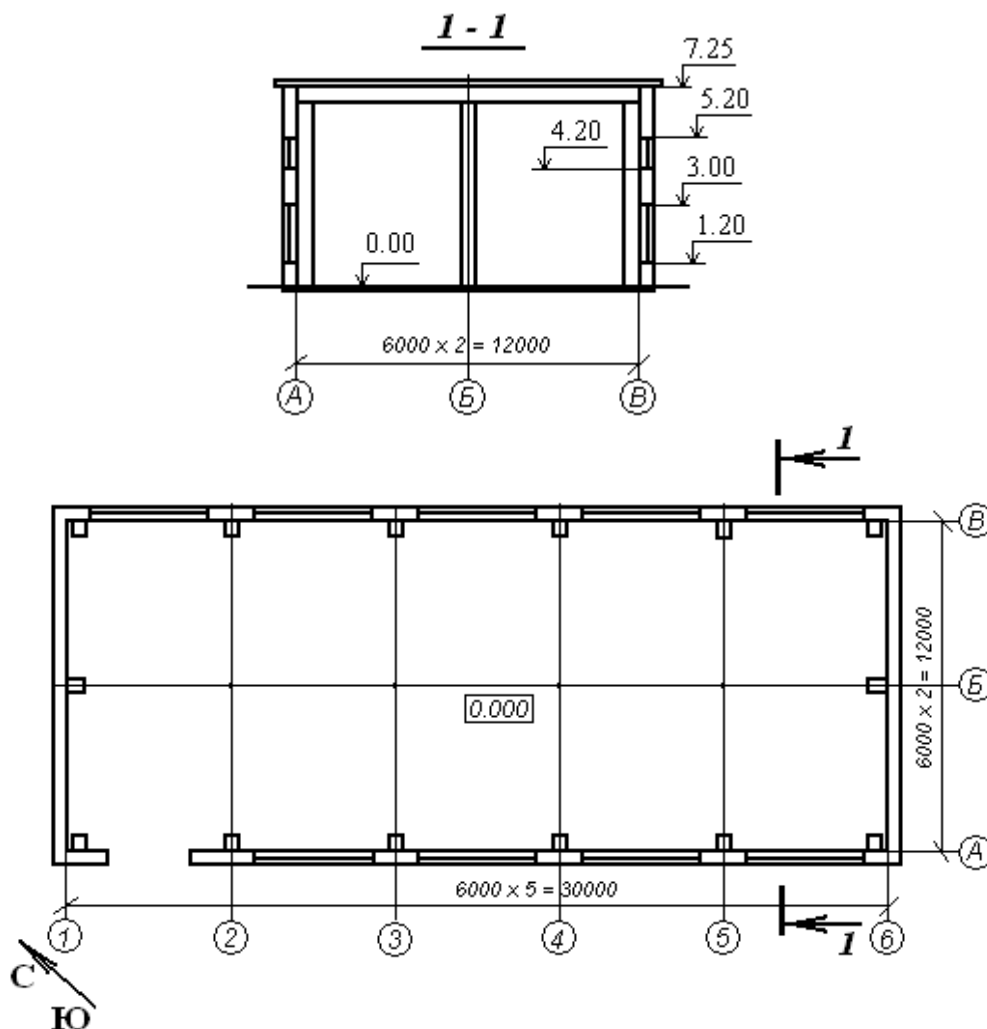


Рис. 3.1. Здание механосборочного цеха

Решение

Основные теплототери через ограждения, Вт, определяем по формуле

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t,$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·°С; F – площадь рассматриваемого ограждения, м²; Δt – перепад температур, определяем как $\Delta t = t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}$ ($t_{\text{вн}}$ – температура в рабочей зоне помещения, °С; $t_{\text{н}}$ – температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для района размещения здания по Своду правил СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* [1], °С).

Коэффициент теплопередачи K , Вт/м²·°С, наружного ограждения определяем из формулы

$$K = \frac{1}{R_o} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_v} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n}},$$

где R_o – сопротивление теплопередаче рассматриваемого наружного ограждения, м²·°С/Вт; α_v и α_n – коэффициенты теплообмена на внутренней и наружной поверхностях ограждения, Вт/м²·°С; δ_i – толщина i -го слоя, м; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя, Вт/м·°С.

Коэффициенты теплообмена α_v – от 8,7 до 9,9 Вт/м²·°С, α_n – от 6 до 23 Вт/м²·°С, зависят от вида ограждающей конструкции, принимаем в данной задаче для наружных ограждений $\alpha_v = 8,7$, $\alpha_n = 23$.

Коэффициент теплопроводности λ_i , Вт/м·°С, зависит от материала ограждающей конструкции, см. СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника» [2]. Для материалов, использованных в строительстве рассматриваемого здания, значения λ_i приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Коэффициент теплопроводности

Материал	Коэффициент теплопроводности λ_i , Вт/м·°С
Сосна или ель поперек волокон	0,09
Кирпичная кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе плотностью $\rho = 1800$ кг/м ³	0,7
Штукатурка известково-песчаная плотностью $\rho = 1600$ кг/м ³	0,47
Ребристая железобетонная плита	1,69
Засыпка из гравия керамзитового	0,18
Рубероид	0,17
Битум нефтяной строительный	0,27

Расчет теплопередачи через неутепленные полы, расположенные на грунте, проводим по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам. Сопротивление теплопередаче R_o , м²·°С/Вт, по СНиП 2.04.05-91* «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [3] принимаем равным:

2,1 – для I зоны;

4,3 – для II зоны;

8,6 – для III зоны;

14,2 – для IV зоны (для оставшейся площади пола).

Соответственно, коэффициенты теплопередачи K , Вт/м²·°С, для пола будут равны:

- 0,476 – для I зоны;
- 0,232 – для II зоны;
- 0,116 – для III зоны;
- 0,070 – для IV зоны (для оставшейся площади пола).

Рассчитаем коэффициент теплопередачи через наружную стенку:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,47} + \frac{0,51}{0,7} + \frac{0,025}{0,47} + \frac{1}{23}} = 1,018 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С},$$

аналогично проведем расчет коэффициента теплопередачи остальных ограждающих конструкций.

Расчет теплотерь сведем в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Расчет теплотерь

Ограждение	Ориентация	Площадь, $F, \text{ м}^2$	Перепад температур, $\Delta t, \text{ °С}$	Коэффициент K теплопередачи, $\text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С}$	Основные теплотери, $Q, \text{ Вт}$	Добавочные теплотери, %	Общие теплотери, $Q, \text{ Вт}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Н. с.	СВ	$31,1 \cdot 7,4 = 230,14$	53	1,018	12417	10+5	14280
Н. с.	СЗ	$13,1 \cdot 7,4 = 96,94$	53	1,018	5230	10+5	6014
Н. с.	ЮВ	$13,1 \cdot 7,4 = 96,94$	53	1,018	5230	5+5	5753
Н. с.	ЮЗ	$31,1 \cdot 7,4 - 9 = 221,14$	53	1,018	11931	5	12528
Окна	СВ	$(3 \cdot 1,8 + 3 \cdot 1) \cdot 5 = 42$	53	$(2,5 - 1,018) = 1,482$	3299	10	3629
Окна	ЮЗ	$(3 \cdot 1,8 + 3 \cdot 1) \cdot 4 = 33,6$	53	$(2,5 - 1,018) = 1,482$	2639	–	2639
Ворота	ЮЗ	$3 \cdot 3 = 9$	53	1,659	791	300	3164
Кровля	–	$30 \cdot 12 = 360$	53	1,272	24270	–	24270
Пол по зонам	I	$84 \cdot 2 = 168$	53	0,476	4238	–	4238
	II	$60 \cdot 2 = 120$	53	0,232	1476	–	1476
	III	$22 \cdot 4 = 88$	53	0,116	541	–	541
	IV	–	–	–	–	–	–
Теплотери здания через все ограждения $Q_{\text{общ}} = 78532 \text{ Вт}$							

Примечания к таблице 3.2:

- Н.с. – наружная стена;
- в графе 5 коэффициент теплопередачи для окон определен как разность коэффициентов теплопередачи окна и наружной стены, при этом площадь окна не вычитается;
- теплотери через ворота определены отдельно (из площади стены в этом случае исключается площадь двери, так как добавки на дополнительные теплотери у наружной стены и двери разные);
- в добавочных теплотерях учтены теплотери на ориентацию здания по сторонам горизонта и на наличие более одной наружной стены, условно не учтены теплотери на обдуваемость ветром.

Задача 4

Рассчитать теплопотери одноэтажного производственного здания, рис. 3.1, предназначенного для размещения сварочного цеха, в котором выполняются работы категории Пб. Здание расположено в г. Курган. Температура внутреннего воздуха $t_{вн} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$.

Конструкции ограждений следующие. Стены здания выполнены из кирпича глиняного обыкновенного (ГОСТ 530–80) на цементно-песчаном растворе, плотность кладки $\rho = 1600 \text{ кг/м}^3$, толщина слоя кирпичной кладки $\delta = 640 \text{ мм}$, стены оштукатурены с двух сторон цементно-песчаной штукатуркой плотностью $\rho = 1800 \text{ кг/м}^3$, толщина внутреннего слоя штукатурки $\delta_{вн} = 15 \text{ мм}$, толщина наружного слоя штукатурки $\delta_{нар} = 20 \text{ мм}$. Пол – неутепленный, выполнен на уровне планировочной отметки земли. Кровля – многослойная: плиты ребристые железобетонные, утеплитель из гравия шунгизитового (ГОСТ 19345–83) $\delta = 80 \text{ мм}$, гидроизоляция из рубероида $\delta = 2 \text{ мм}$, битумная стяжка $\delta = 10 \text{ мм}$. Окна – с двойным остеклением в деревянных переплетах. Ворота размером $4 \times 4 \text{ м}^2$ – деревянные, изготовлены из ели «поперек волокон», $\delta = 50 \text{ мм}$.

Ориентация здания: на север ориентирована стена с пятью окнами, на юг – стена, в которой находятся ворота, соответственно, торцевые стены здания ориентированы на запад и восток.

Задача 5

Разработать систему водяного отопления для здания из задачи 3. Систему отопления принять двухтрубную, в качестве отопительных приборов использовать трубы отопительные чугунные ребристые. Температура теплоносителя в подающем трубопроводе $t_r = 130 \text{ }^\circ\text{C}$, в обратном трубопроводе $t_o = 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Ввод теплоносителя в здание – между осями 2 и 3. Располагаемое давление на вводе теплоносителя в здание $\Delta P_p = 6500 \text{ Па}$. Остыванием воды в трубопроводах внутри здания пренебречь.

Решение

Предварительно размещаем отопительные приборы в количестве n штук под всеми окнами, а также у торцевых стен здания, рис. 5.1. На план здания наносим подающий и обратный трубопроводы, также наносим подводки к каждому нагревательному прибору. Сплошной линией показан подающий трубопровод, штриховой линией – обратный трубопровод. Систему отопления проектируем с двумя циркуляционными кольцами. При проходе трубопровода у ворот обходим их сверху. В наиболее высоких точках системы отопления устанавливаем устройства для выпуска воздуха из системы отопления, в нижних точках системы отопления устанавливаем устройства для слива воды при опорожнении системы отопления. Поскольку система отопления обслуживает одно помещение, отключающие устройства непосредственно перед и после нагревательных приборов не устанавливаем, разместим эти устройства в начале и в конце каждого циркуляционного кольца.

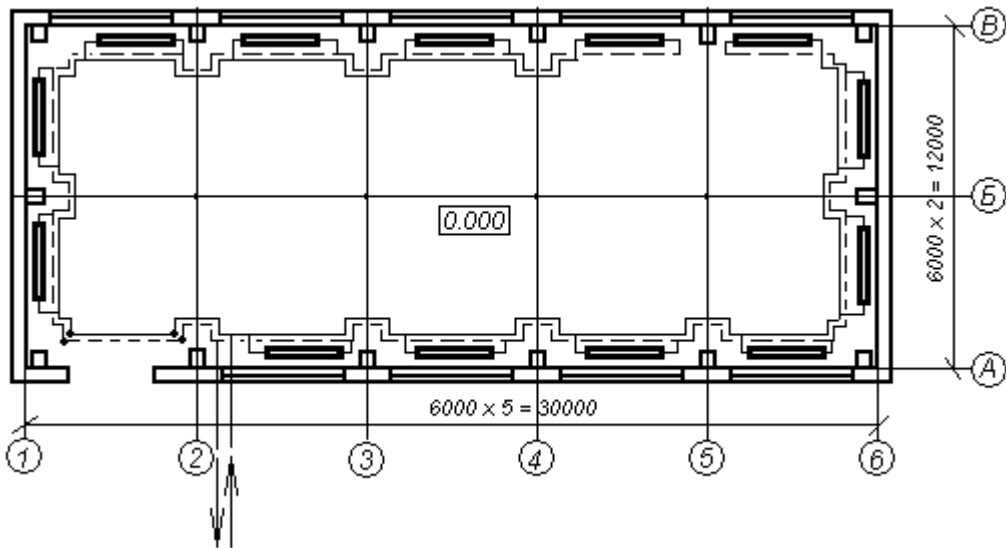


Рис. 5.1. План помещения с системой отопления

Далее вычерчиваем аксонометрическую схему системы отопления, которая приведена на рис. 5.2. При построении схемы системы отопления условно не изменяют размеры по оси y , как и по оси x , учитывают только масштаб чертежа. На схеме показываем установленную арматуру, нагревательные приборы, наносим номера участков, длину каждого участка и расход теплоносителя по каждому участку. Длины участков определяем по плану и аксонометрической схеме с учетом масштаба чертежа.

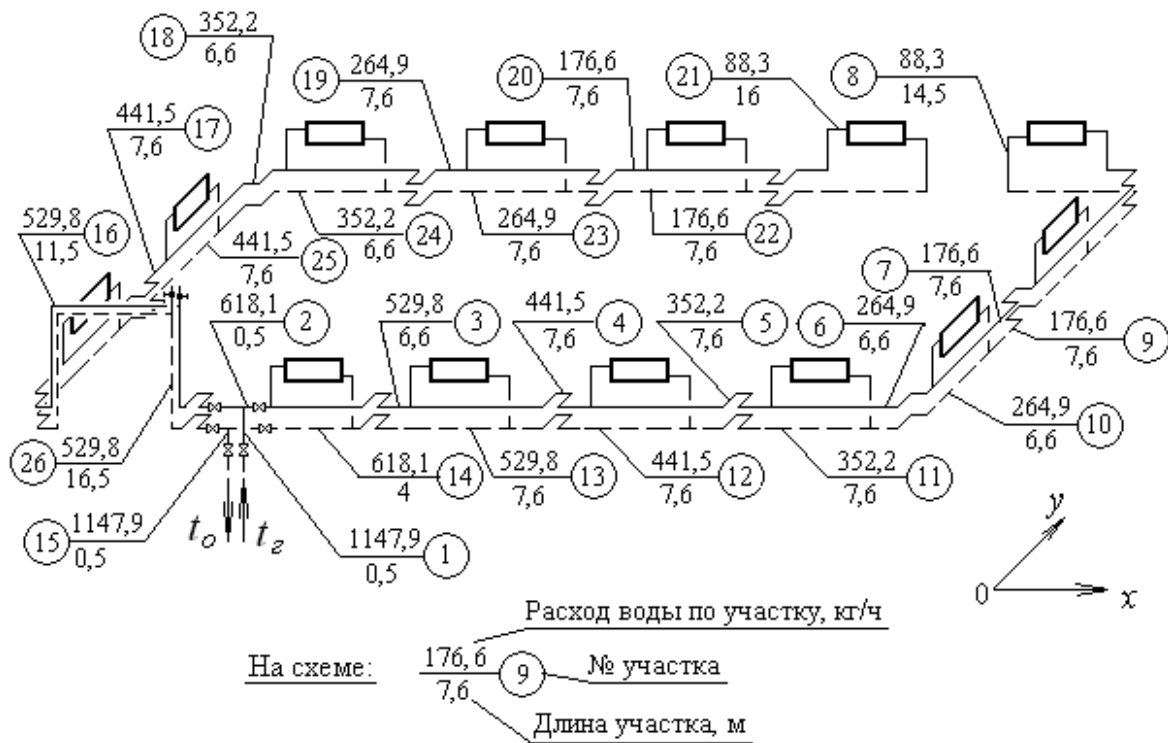


Рис. 5.2. Схема системы отопления

Тепловая нагрузка на каждый нагревательный прибор, Вт:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{общ}} / n = 78532 / 13 = 6041.$$

Расход воды, кг/ч, через отопительный прибор определим по формуле

$$G_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{пр}}}{c \cdot (t_r - t_o)} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 = \frac{3,6 \cdot 6041}{4,187 \cdot (130 - 70)} \cdot 1 \cdot 1,02 = 88,3,$$

где 3,6 – коэффициент перевода Вт в кДж/ч; $Q_{\text{пр}}$ – тепловая нагрузка прибора, Вт; c – удельная массовая теплоемкость воды, $c = 4,187$ кДж/кг·°С; t_r – температура теплоносителя (воды) перед нагревательным прибором, °С; t_o – температура теплоносителя (воды) после нагревательного прибора, °С; β_1 – коэффициент, учитывающий шаг номенклатурного ряда отопительных приборов, для регистров из гладких труб $\beta_1 = 1$; β_2 – коэффициент, учитывающий место установки прибора (β_1 и β_2 принимаем по справочнику [4, 5]).

Общий расход теплоносителя на отопление здания, кг/ч:

$$G = G_{\text{пр}} \cdot n = 88,3 \cdot 13 = 1147,9.$$

Гидравлический расчет системы отопления сведем в табл. 5.1. Расчет проведем по линейным (удельным) потерям давления.

Сначала произведем расчет магистральных участков главного циркуляционного кольца. В качестве главного циркуляционного кольца принимаем кольцо, имеющее наибольшую длину. При равной длине колец выбирается кольцо, несущее большую тепловую нагрузку. Расчетное кольцо разбиваем на последовательно соединенные участки. Каждый участок характеризуется своим расходом теплоносителя и диаметром трубопровода. Началом и концом участка являются точки изменения расхода теплоносителя или диаметра трубопровода. Тепловые нагрузки участков подающей и обратной магистралей, имеющих одинаковые расходы теплоносителя, условно считаются равными.

При расчете главного циркуляционного кольца предусматриваем запас давления на неучтенные сопротивления в размере 10% от располагаемого давления, т. е. потери давления по кольцу P_k должны составить, Па:

$$P_k = 0,9 \cdot \Delta P_p = 0,9 \cdot 6500 = 5850.$$

В табл. 5.1 Q – тепловая нагрузка на участке; G – расход теплоносителя на участке; l – длина участка; D_y – условный диаметр трубопровода; W – скорость воды в трубопроводе; R – потери давления на преодоление сил трения на 1 м трубопровода; Rl – потери давления на преодоление сил трения на участке; $\Sigma \zeta$ – сумма коэффициентов местных сопротивлений на участке; Z – потери давления на преодоление местных сопротивлений; $(Rl+Z)$ – потери давления на

участке; в столбце 12 указывается разность потерь давления между сравниваемыми циркуляционными кольцами.

Таблица 5.1

Таблица гидравлического расчета

Данные по схеме системы				Принято							Разница Rl+Z, Па
Уча- сток	Q, Вт	G, кг/час	l, м	Dy, мм	W, м/с	R, Па/м	Rl, Па	Σζ	Z, Па	Rl+Z, Па	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	78532	1147,9	0,5	32	0,317	45	22,5	9	445	468	
2	42287	618,1	0,5	32	0,172	14	7	14,7	221	228	
3	36246	529,8	6,6	25	0,247	40	264	2,8	121	385	
4	30205	441,5	7,6	25	0,205	28	212,8	2,83	59	272	
5	24164	353,2	7,6	20	0,268	65	494	3,26	115	609	
6	18123	264,9	6,6	20	0,203	38	250,8	2,73	56	307	
7	12082	176,6	7,6	20	0,136	18	136,8	3,58	33	170	
8	6041	88,3	14,5	15	0,123	22	319	13,9	103	422	
9	12082	176,6	7,6	20	0,136	18	136,8	3,58	33	170	
10	18123	264,9	6,6	20	0,203	38	250,8	2,73	56	307	
11	24164	353,2	7,6	20	0,268	65	494	3,26	115	609	
12	30205	441,5	7,6	25	0,205	28	212,8	2,83	59	272	
13	36246	529,8	7,6	25	0,247	40	304	2,8	121	425	
14	42287	618,1	4	32	0,172	14	56	13,56	204	260	
15	78532	1147,9	0,5	32	0,317	45	22,5	9	445	468	
Потери по главному (первому) циркуляционному кольцу 5372 Па											
16	36246	529,8	11,5	32	0,172	14	161	21,88	329	490	
17	30205	441,5	7,6	25	0,205	28	212,8	2,83	59	272	
18	24164	353,2	6,6	20	0,268	65	429	2,66	94	523	
19	18123	264,9	7,6	20	0,203	38	288,8	3,33	67	356	
20	12082	176,6	7,6	20	0,136	18	136,8	3,58	33	170	
21	6041	88,3	16	15	0,123	22	352	15,5	115	467	
22	12082	176,6	7,6	20	0,136	18	136,8	3,58	33	170	
23	18123	264,9	7,6	20	0,203	38	288,8	3,33	67	356	
24	24164	353,2	6,6	20	0,268	65	429	2,66	94	523	
25	30205	441,5	7,6	25	0,205	28	212,8	2,83	59	272	
26	36246	529,8	16,5	32	0,172	14	231	20,3	305	536	
Потери напора по второму циркуляционному кольцу 4135 Па (на участках с 16 по 26), с учетом потерь по участкам 1 и 15, общие потери напора по второму кольцу составляют 5071 Па.											5372– 5071= 301
Разница потерь давления в первом и втором циркуляционных кольцах составит $\frac{5372 - 5071}{5372} \cdot 100\% = 5,6\%$, что допустимо.											

Диаметры труб для каждого участка подбираем по прил. 1, ориентируясь на среднюю величину потерь давления.

Среднюю величину потерь давления на трение определяем по формуле

$$R_{\text{ср}} = \frac{(1 - K) \cdot \Delta P_{\text{к}}}{\Sigma l} = \frac{(1 - 0,35) \cdot 5850}{93} = 40,89 \text{ Па/м,}$$

где K – коэффициент, учитывающий долю местных потерь давления в системе, для систем отопления с насосной циркуляцией воды $K = 0,35$; Σl – общая длина последовательных участков, составляющих расчетное циркуляционное кольцо, м.

При выборе диаметра труб следует учитывать максимально допустимое значение скорости движения воды, см. табл. 5.2.

Таблица 5.2


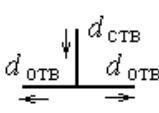

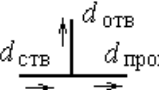

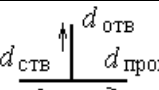

Допустимая скорость движения воды $W_{\text{доп}}$ в трубах систем отопления из условия бесшумности

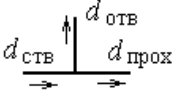

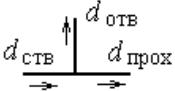

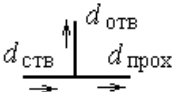


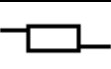
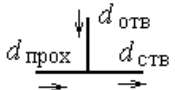



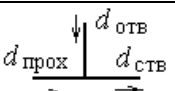
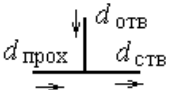
Условный диаметр труб, мм	15	20	25	32	40	50	65	80	100
Максимальная скорость из условия бесшумности W_{max} , м/с	0,65	0,65	0,8	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5




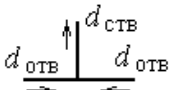




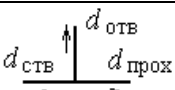

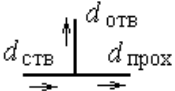

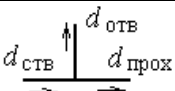

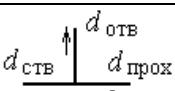

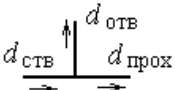

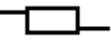
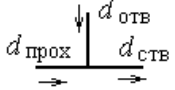
Составляем перечень местных сопротивлений для каждого участка системы (табл. 5.3), определяем значения коэффициентов местных сопротивлений по прил. 2, 3, 4 или по [5, 6], затем сумму коэффициентов для каждого участка записываем в графу 9 расчетной табл. 5.1 гидравлического расчета.

Таблица 5.3

Местные сопротивления для каждого участка рассчитываемой системы отопления

Номер участка	Схема	Вид местного сопротивления	Коэффициенты местных сопротивлений ζ
1	2	3	4
1		Вентиль обыкновенный Ø32	9
2		Разделение потока воды: $d_{\text{отв}} / d_{\text{ств}} = 32/32 = 1$; $\bar{G}_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 618,1/1147,9 = 0,54$	$\zeta_{\text{отв}} = 5,7$
		Вентиль обыкновенный Ø32	9
			$\Sigma \zeta = 14,7$
3		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 529,8/618,1 = 0,86$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,8$
		4 поворота на 90° Ø25	$0,5 \cdot 4 = 2$
			$\Sigma \zeta = 2,8$
4		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 441,5/529,8 = 0,83$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,83$
		4 поворота на 90° Ø25	$0,5 \cdot 4 = 2$
			$\Sigma \zeta = 2,83$

1	2	3	4
5		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 352,2/441,5 = 0,8$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,86$
		4 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 4 = 2,4$
	$\Sigma \zeta = 3,26$		
6		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 264,9/352,2 = 0,75$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,93$
		3 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 3 = 1,8$
	$\Sigma \zeta = 2,73$		
7		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 176,6/264,9 = 0,67$	$\zeta_{\text{прох}} = 1,18$
		4 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 4 = 2,4$
	$\Sigma \zeta = 3,58$		
8		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 88,3/176,6 = 0,5$	$\zeta_{\text{прох}} = 2,2$
		10 поворотов на 90° Ø15	$0,8 \cdot 10 = 8$
		Регистр из гладких труб (внезапное расширение + внезапное сужение)	$1,0 + 0,5 = 1,5$
		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 88,3/176,6 = 0,5$	2,2
	$\Sigma \zeta = 13,9$		
9		4 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 4 = 2,4$
		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 176,6/264,9 = 0,67$	$\zeta_{\text{прох}} = 1,18$
	$\Sigma \zeta = 3,58$		
10		3 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 3 = 1,8$
		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 264,9/352,2 = 0,75$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,93$
	$\Sigma \zeta = 2,73$		
11		4 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 4 = 2,4$
		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 352,2/441,5 = 0,8$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,86$
	$\Sigma \zeta = 3,26$		
12		4 поворота на 90° Ø25	$0,5 \cdot 4 = 2$
		$\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{СТВ}} = 441,5/529,8 = 0,83$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,83$
	$\Sigma \zeta = 2,83$		

1	2	3	4
13		4 поворота на 90° Ø25	0,5·4 = 2
		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 529,8/618,1 = 0,86$	0,8
	$\Sigma\zeta=2,8$		
14		Вентиль обыкновенный Ø32	9
		Слияние потоков воды: $d_{\text{отв}} / d_{\text{ств}} = 32/32 = 1;$ $\bar{G}_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 618,1/1147,9 = 0,54$	$\zeta_{\text{отв}} = 4,56$
	$\Sigma\zeta=13,56$		
15		Вентиль обыкновенный Ø32	9
16		Разделение потока воды: $d_{\text{отв}} / d_{\text{ств}} = 32/32 = 1;$ $\bar{G}_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 529,8/1147,9 = 0,46$	$\zeta_{\text{отв}} = 7,38$
		Вентиль обыкновенный Ø32	9
		11 поворотов на 90° Ø32	0,5·11 = 5,5
	$\Sigma\zeta=21,88$		
17		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 441,5/529,8 = 0,83$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,83$
		4 поворота на 90° Ø25	0,5·4 = 2
	$\Sigma\zeta=2,83$		
18		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 352,2/441,5 = 0,8$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,86$
		3 поворота на 90° Ø20	0,6·3 = 1,8
	$\Sigma\zeta=2,66$		
19		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 264,9/352,2 = 0,75$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,93$
		4 поворота на 90° Ø20	0,6·4 = 2,4
	$\Sigma\zeta=3,33$		
20		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 176,6/264,9 = 0,67$	$\zeta_{\text{прох}} = 1,18$
		4 поворота на 90° Ø20	0,6·4 = 2,4
	$\Sigma\zeta=3,58$		
21		Разделение потока воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 88,3/176,6 = 0,5$	$\zeta_{\text{прох}} = 2,2$
		12 поворотов на 90° Ø15	0,8·12 = 9,6
		Регистр из гладких труб (внезапное расширение + внезапное сужение)	1,5
		$\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 88,3/176,6 = 0,5$	$\zeta_{\text{прох}} = 2,2$
	$\Sigma\zeta=15,5$		

1	2	3	4
522		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 176,6/264,9 = 0,67$	$\zeta_{\text{прох}} = 1,18$
		4 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 4 = 2,4$
			$\Sigma \zeta = 3,58$
23		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 264,9/352,2 = 0,75$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,93$
		4 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 4 = 2,4$
			$\Sigma \zeta = 3,33$
24		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 352,2/441,5 = 0,8$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,86$
		3 поворота на 90° Ø20	$0,6 \cdot 3 = 1,8$
			$\Sigma \zeta = 2,66$
25		Слияние потоков воды: $\bar{G}_{\text{прох}} = G_{\text{прох}} / G_{\text{ств}} = 441,5/529,8 = 0,83$	$\zeta_{\text{прох}} = 0,83$
		4 поворота на 90° Ø25	$0,5 \cdot 4 = 2$
			$\Sigma \zeta = 2,83$
26		11 поворотов на 90° Ø32	$0,5 \cdot 11 = 5,5$
		Вентиль обыкновенный Ø32	9
		Слияние потоков воды: $d_{\text{отв}} / d_{\text{ств}} = 32/32 = 1;$ $\bar{G}_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}} = 529,8/1147,9 = 0,46$	$\zeta_{\text{отв}} = 5,8$
			$\Sigma \zeta = 20,3$
Примечание: Участки 1...15 составляют главное циркуляционное (первое) кольцо			

Для каждого участка по известным скоростям движения теплоносителя и $\Sigma \zeta$ определяем потери давления в местных сопротивлениях Z , Па, по прил. 5 или по формуле

$$Z = \frac{\rho \cdot W^2}{2} \cdot \Sigma \zeta$$

где ρ – плотность воды, кг/м³; W – скорость воды, м/с.

В табл. 5.1 после расчета основного кольца заносим результаты расчета потерь давления в параллельных кольцах системы отопления. Эти потери должны равняться потерям давления в основном кольце. Невязка может составлять не более 10%. Если она больше, то изменяют диаметры труб и расчет корректируется.

В результате расчета потери давления в основном циркуляционном кольце должны быть меньше располагаемого давления ΔP_p примерно на 10%.

В случае проведения гидравлического расчета для подбора насоса последний следует подбирать на создаваемое давление, большее примерно на 10% потерь в главном циркуляционном кольце.

Далее рассчитаем нагревательные приборы.

Теплоотдача $Q_{\text{пр}}$ отопительного прибора пропорциональна тепловому потоку, приведенному к расчетным условиям, и должна составить 6041 Вт:

$$Q_{\text{пр}} = 70 \cdot K_{\text{н.у.}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot \varphi_{\text{к}} = Q_{\text{н.у.}} \cdot \varphi_{\text{к}},$$

где 70 – номинальный температурный напор, °С; $K_{\text{н.у.}}$ – номинальный условный коэффициент теплопередачи отопительного прибора, Вт/(м²·°С); $F_{\text{пр}}$ – поверхность нагревательного прибора, м²; $Q_{\text{н.у.}}$ – номинальный условный тепловой поток нагревательного прибора, предназначенный для выбора типоразмера прибора, Вт; $\varphi_{\text{к}}$ – комплексный коэффициент приведения номинального условного теплового потока прибора к расчетным условиям, при теплоносителе вода

$$\varphi_{\text{к}} = \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p \cdot b \cdot \psi \cdot c,$$

где $\Delta t_{\text{ср}}$ – разность средней температуры воды $t_{\text{ср}}$ в приборе и температуры окружающего воздуха $t_{\text{в}}$, °С, $\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{г}} + t_{\text{о}}}{2} - t_{\text{вн}}$; $t_{\text{г}}$ и $t_{\text{о}}$ – температура воды, входящей в прибор и выходящей из него, °С; $G_{\text{пр}}$ – расход воды в приборе, кг/ч; b – коэффициент учета атмосферного давления в данной местности (принимать по табл. 9.1 из справочной литературы [4]); ψ – коэффициент учета направления движения теплоносителя воды в приборе, для чугунных ребристых труб $\psi = 1$; коэффициенты n , p , c – экспериментальные числовые показатели (принимать по табл. 9.2 из справочной литературы [4]).

$$\varphi_{\text{к}} = \left(\frac{\frac{130 + 70}{2} - 18}{70} \right)^{1+0,25} \cdot \left(\frac{88,3}{360} \right)^{0,07} \cdot 0,963 \cdot 1 \cdot 1 = 1,064.$$

Номинальный условный тепловой поток нагревательного прибора, предназначенный для выбора типоразмера прибора, Вт:

$$Q_{\text{н.у.}} = Q_{\text{пр}} / \varphi_{\text{к}} = 6041 / 1,064 = 5678.$$

Из справочной литературы (по табл. X.I [4]) ребристая труба ТР-1 длиной 1 м обеспечивает номинальный тепловой поток $Q_{\text{н.у.тр}} = 776$ Вт, ТР-1,5 длиной 1,5 м – тепловой поток 1164 Вт, ТР-2 длиной 1,5 м – тепловой поток 1552 Вт.

Следовательно, необходимая общая длина ребристых труб в нагревательном приборе

$$l = Q_{н.у} / Q_{н.у.тр} = 5678 / 776 = 7,32 \text{ м.}$$

Между колоннами рассматриваемого в задаче здания возможно разместить отопительный прибор длиной не более 4,5 м, поэтому выполняем прибор в два ряда труб по высоте, эскиз прибора см. рис. 5.3.

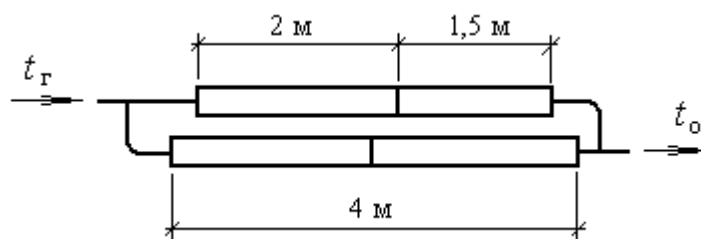


Рис. 5.3. Схема отопительного прибора из чугунных ребристых труб

Задача 6

Разработать систему дежурного водяного отопления для здания из задачи 3. Систему отопления принять двухтрубную, в качестве отопительных приборов использовать радиаторы чугунные секционные. Температура теплоносителя в подающем трубопроводе $t_{гор} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$, в обратном трубопроводе $t_o = 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Ввод теплоносителя в здание – между осями 2 и 3. Располагаемое давление на вводе теплоносителя в здание $\Delta P_p = 12000 \text{ Па}$. Остыванием воды в трубопроводах внутри здания пренебречь.

Задача 7

Для системы отопления из задачи 3 принять в качестве отопительных приборов биметаллический отопительный прибор «Коралл» (двухрядный настенный), определить необходимую длину прибора.

3. ВЕНТИЛЯЦИЯ

Задача 8

Определить необходимый воздухообмен в помещении сборочного цеха по избыткам тепла для теплого периода года. Объем помещения 2500 м^3 . Общая мощность оборудования, установленного в цехе, $N = 150 \text{ кВт}$, тепловыделения от оборудования составляют 25% установленной мощности. Количество работников в наиболее многочисленной смене $n = 50$ человек. Работы, выполняемые

в цехе, следует отнести к средней тяжести. Количество тепла, выделяемого одним человеком, составит $Q_{\text{ч}} = 0,1$ кВт. Тепло от солнечной радиации составляет $Q_{\text{ср}} = 10$ кВт. Температура приточного воздуха $t_{\text{пр}} = +22$ °С (температура наружного воздуха обеспеченностью 0,95 в теплый период года для данного населенного пункта, см. табл. 3 из [1]). Теплоемкость воздуха $c = 1,2$ кДж/м³·°С; плотность приточного воздуха 1,197 кг/м³, температура вытяжного воздуха $t_{\text{выт}} = +25$ °С. Местной вытяжной вентиляцией цех не оборудован.

Решение:

1. Количество тепла от оборудования, Вт:

$$Q_{\text{об}} = 0,2 \cdot N = 0,2 \cdot 150 = 30\,000.$$

2. Количество тепла от людей, Вт:

$$Q_{\text{л}} = n \cdot Q_{\text{ч}} = 50 \cdot 100 = 5\,000.$$

3. Необходимый воздухообмен в помещении, м³/ч:

$$\begin{aligned} L &= \frac{3,6 \cdot Q}{c \cdot (t_{\text{выт}} - t_{\text{пр}})} = \frac{3,6 \cdot (Q_{\text{об}} + Q_{\text{ср}} + Q_{\text{л}})}{c \cdot (t_{\text{выт}} - t_{\text{пр}})} = \\ &= \frac{3,6 \cdot (30000 + 10000 + 5000)}{1,2 \cdot (25 - 22)} = 45\,000. \end{aligned}$$

Задача 9

Определить необходимый воздухообмен в помещении металлообрабатывающего цеха для теплого периода года. Объем помещения 1500 м³. Общая мощность оборудования, установленного в цехе, $N = 80$ кВт, тепловыделения от оборудования составляют 25% установленной мощности. Количество работников в наиболее многочисленной смене $n = 20$ человек. Работы, выполняемые в цехе, следует отнести к средней тяжести Пб. Количество тепла, выделяемого одним человеком, составит $Q_{\text{ч}} = 0,1$ кВт. Тепло от солнечной радиации составляет $Q_{\text{ср}} = 10$ кВт. Температура приточного воздуха $t_{\text{пр}} = +22$ °С. Теплоемкость воздуха $c = 1,2$ кДж/м³К; плотность приточного воздуха 1,197 кг/м³, температура вытяжного воздуха $t_{\text{выт}} = +25$ °С. Местной вытяжной вентиляцией цех не оборудован.

Задача 10

Для приточной установки, обслуживающей производственные помещения и подающей $26250 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($8,75 \text{ кг/с}$) воздуха, подобрать биметаллические калориферы типа КСК. Приточная установка работает с перегревом приточного воздуха (производится воздушное отопление помещений, расход тепла на отопление составляет $Q_{\text{от}} = 150000 \text{ Вт}$).

Здание расположено в г.Тюмень, расчетная температура наружного воздуха для разработки систем отопления $t_{\text{н}} = -35 \text{ }^\circ\text{C}$ (средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для данного населенного пункта, см. табл. 1 из [1]), в рабочей зоне помещений необходимо обеспечить температуру $t_{\text{рз}} = 18 \text{ }^\circ\text{C}$. Теплоемкость воздуха $c_1 = 1005 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$. Теплоноситель – вода с параметрами $t_{\text{гор}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{\text{обр}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Удельная теплоемкость воздуха $c_1 = 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$, удельная теплоемкость воды $c_2 = 4187 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$.

Решение

Для подбора калориферов предварительно определяем необходимое количество тепла, которое должно быть передано от калориферов приточному воздуху и температуру приточного воздуха. Расход тепла на отопление известен из условия задачи.

Расход теплоты на вентиляцию (на подогрев наружного воздуха от температуры $t_{\text{н}}$ до температуры $t_{\text{рз}}$), Вт:

$$Q_{\text{вент}} = G \cdot c_1 \cdot (t_{\text{рз}} - t_{\text{н}}) = 8,75 \cdot 1005 \cdot [18 - (-35)] = 466069.$$

Расход теплоты на нагревание воздуха, Вт:

$$Q = Q_{\text{вент}} + Q_{\text{от}} = 466069 + 150\,000 = 616069.$$

Температура приточного воздуха с учетом обеспечения воздушного отопления здания, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{пр}} = t_{\text{рз}} + \frac{Q_{\text{от}}}{G \cdot c_1} = 18 + \frac{150000}{8,75 \cdot 1005} = 18 + 17,1 = 35,1.$$

Далее проводим расчет калориферов.

1. Задаемся массовой скоростью воздуха $(V \cdot \rho)_1 = 4 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}$ во фронтальном сечении калорифера и определяем необходимую площадь $f_{\text{в1}}$ фронтального сечения калориферов по воздуху, м^2 :

$$f_{\text{в1}} = G / (V \cdot \rho)_1 = 8,75 / 4 = 2,19.$$

2. Используя технические данные о калориферах (смотрим строительные каталоги, справочники проектировщика, Интернет) и, исходя из необходимой площади фронтального сечения, подбираем номер и число устанавливаемых параллельно калориферов и находим действительную площадь их фронтального сечения $f_{\text{в}}$. Технические характеристики калориферов КСК приведены в прил. 6.

Число калориферов должно быть минимальным. Из заданных по условиям задачи калориферов КСК по своим техническим данным наиболее подходит калорифер КСК-3-11-02АХЛЗ.

Технические характеристики выбранного калорифера КСК-3-11:

- площадь фронтального сечения $f_{\text{в}} = 1,66 \text{ м}^2$;
- площадь поверхности теплообмена со стороны воздуха одного калорифера $F_{\text{к}} = 83,12 \text{ м}^2$;
- площадь сечения для прохода теплоносителя $f_{\text{в}} = 0,002576 \text{ м}^2$.

Принимаем к установке $n = 2$ калорифера параллельно по воздуху, см. рис. 10.1. Общая площадь фронтального сечения будет равна $f_{\text{в.общ}} = 2 \cdot 1,66 = 3,32 \text{ м}^2$.

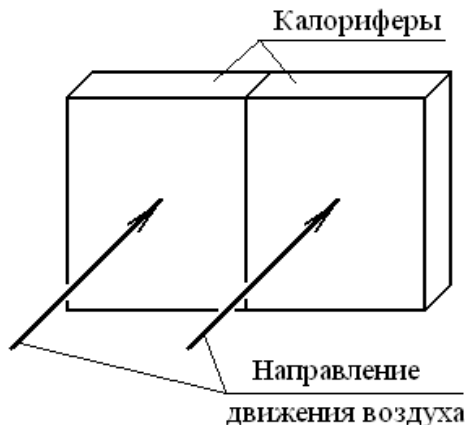


Рис. 10.1. Установка калориферов параллельно по воздуху

3. Определяем действительную массовую скорость воздуха в калориферах, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$:

$$V \cdot \rho = G / f_{\text{в.общ}} = 8,75 / 3,32 = 2,64.$$

4. По воде калориферы установим последовательно. При теплоносителе вода объемный расход проходящей через каждый калорифер воды вычисляют по формуле

$$G_{\text{воды}} = \frac{Q}{c_2 \cdot 10^3 \cdot (t_{\text{гор}} - t_{\text{обр}}) \cdot n} = \frac{616069}{4187 \cdot 10^3 \cdot (150 - 70)} = 0,0018392 \text{ м}^3/\text{с},$$

где 10^3 – коэффициент перехода от кг массы воды к м^3 , n – количество параллельно устанавливаемых по воде калориферов, при последовательной по воде установке калориферов $n = 1$.

5. Находим скорость воды в трубках калориферов, м/с:

$$W = G_{\text{воды}} / f_w = 0,0018392 / 0,002576 = 0,714.$$

6. По действительной массовой скорости $V \cdot \rho$ и скорости воды W (при теплоносителе пар только по действительной массовой скорости) по справочной литературе или каталогам на калориферы находят коэффициент теплопередачи калорифера. Для выбранного типа калориферов коэффициент теплопередачи K , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$:

$$K = 26,2 \cdot (V \cdot \rho)^{0,44} \cdot W^{0,17} = 26,2 \cdot 2,64^{0,44} \cdot 0,714^{0,17} = 37,92.$$

7. Рассчитываем среднюю температуру теплоносителя, $^\circ\text{C}$:

– при теплоносителе воде

$$t_{\text{ср}} = (t_{\text{гор}} + t_{\text{обр}}) / 2 = (150 + 70) / 2 = 110;$$

– при насыщенном паре давлением до 0,03 МПа $t_{\text{ср}} = 100$ $^\circ\text{C}$;

– при насыщенном паре давлением свыше 0,03 МПа $t_{\text{ср}} = t_{\text{пара}}$, ($t_{\text{пара}}$ – температура насыщенного пара, соответствующая его давлению).

8. Средняя температура воздуха $t_{\text{в.ср}}$ при прохождении через калориферы, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{в.ср}} = (t_{\text{н}} + t_{\text{пп}}) / 2 = (-35 + 35,1) / 2 = 0,05.$$

9. Определяем необходимую площадь F_y поверхности нагрева калориферной установки, м^2 :

$$F_y = \frac{Q}{K \cdot [t_{\text{ср}} - t_{\text{в.ср}}]} = \frac{616069}{37,92 \cdot [110 - 0,05]} = 147,76.$$

10. Определяют общее число устанавливаемых калориферов:

$$n' = F_y / F_k = 147,76 / 83,12 = 1,78 \text{ шт.}$$

11. Округляя число калориферов до кратного числа их в первом ряду n (в рассматриваемой задаче калориферы установлены в один ряд), находят действительную площадь поверхности нагрева установки, м^2 :

$$F_y = F_k \cdot n = 83,12 \cdot 2 = 166,24.$$

12. Тепловой поток выбранного калорифера не должен превышать расчетный более чем на 10...15 %. Избыточный тепловой поток калорифера составит:

$$Q_{\text{изб}} = \frac{F_y \cdot K \cdot [t_{\text{ср}} - (t_{\text{н}} + t_{\text{к}}) / 2] - Q}{Q} \cdot 100 =$$

$$= \frac{166,24 \cdot 37,92 \cdot [110 - 0,05] - 616069}{616069} \cdot 100 = 12,4 \text{ \%}.$$

При избыточном тепловом потоке более 15 % следует применить другую модель или номер калорифера и произвести повторный расчет.

Задача 11

Для приточной установки, обслуживающей производственное помещение и подающей 20 000 м³/ч (6,67 кг/с) воздуха, подобрать биметаллические калориферы типа КПЗ или КП4. Технические характеристики калориферов см. прил. 7. Приточная установка работает с перегревом приточного воздуха (производится воздушное отопление помещений, расход тепла на отопление составляет $Q_{\text{от}} = 100\,000$ Вт).

Здание расположено в г. Челябинск, расчетная температура наружного воздуха для разработки систем отопления $t_{\text{н}} = -34$ °С (средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 для данного населенного пункта, см. табл. 1 из [1]), в рабочей зоне помещений необходимо обеспечить температуру $t_{\text{рз}} = 16$ °С. Теплоемкость воздуха $c_1 = 1005$ Дж/кг·°С. Теплоноситель – пар давлением 0,4 МПа.

Задача 12

Подобрать циклон СДК-ЦН-33 для очистки воздуха 75000 м³/ч (20,83 м³/с) от агломерационной пыли.

Решение

При выборе циклонов задаемся типом циклона, исходя из эффективности очистки воздуха, габаритов циклона и потерь давления при проходе воздуха через циклон. В литературе или каталогах в характеристиках циклонов обычно приводят данные, какого размера частицы стандартной кварцевой пыли с медианным размером $d_{50} = 24$ мкм улавливаются на 50%. Чем меньше размер улавливаемых на 50% частиц, тем выше эффективность очистки воздуха в данном циклоне. На рис. 12.1 для некоторых типов сухих циклонов приведена эффективность $E_{\text{ф}}$, %, очистки воздуха в зависимости от крупности частиц пыли. С наибольшей эффективностью очищается воздух от пыли в циклоне СК-ЦН-34 (линия 1 на рис. 12.1).

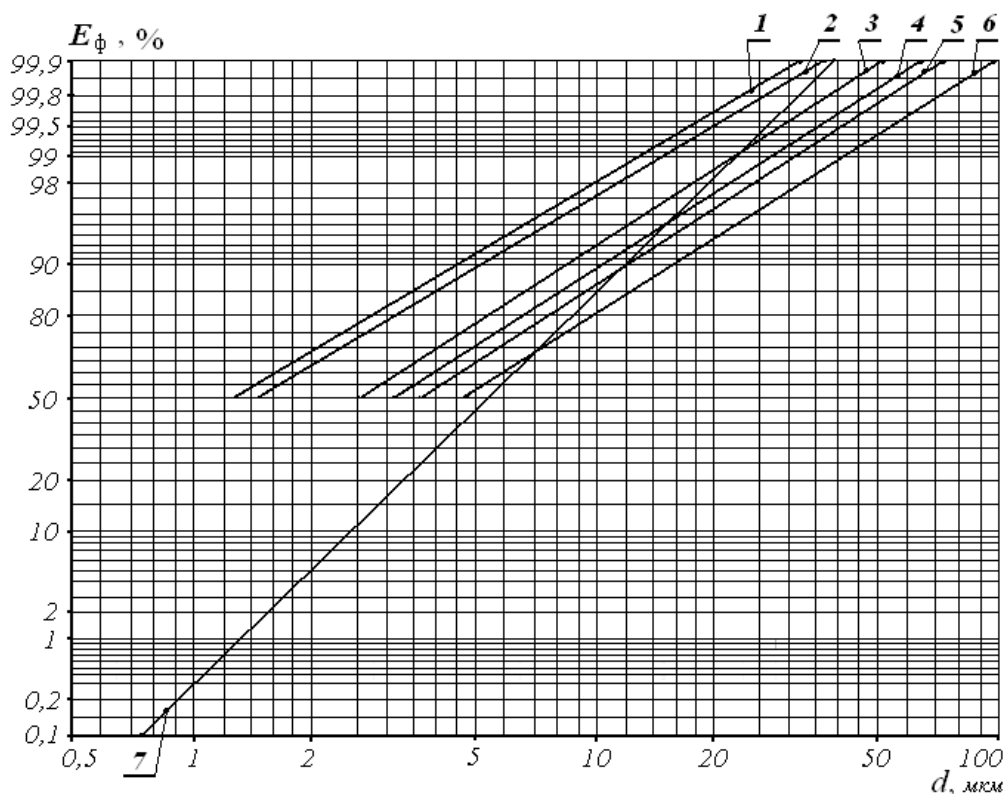


Рис. 12.1. Фракционная эффективность циклонов НИИОГаз диаметром 300 мм при испытании на кварцевой пыли $\rho = 2670 \text{ кг/м}^3$
 1 – СК-ЦН-34; 2 – СДК-ЦН-33; 3 – ЦН-11; 4 – ЦН-15; 5 – ЦН-15у; 6 – ЦН-24;
 7 – фракционная эффективность циклона СДК-ЦН-33 диаметром 3600 мм при очистке воздуха от агломерационной пыли

Поскольку в условии задачи тип циклона задан, проводим расчет циклона СДК-ЦН-33. Схема циклона и его размеры приведены в прил. 9.

Определяем оптимальную скорость $V_{\text{опт}}$ воздуха в циклоне по табл. 12.1, в которой приведены оптимальные скорости для некоторых типов циклонов.

Таблица 12.1

Оптимальная скорость воздуха в горизонтальном сечении циклона

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15у	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$V_{\text{опт}}, \text{ м/с}$	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

Определяют необходимую площадь горизонтального сечения циклонов, м^2 :

$$F = \frac{L_p}{V_{\text{опт}}},$$

где L_p – количество подлежащего очистке воздуха (газа) при рабочих условиях, $\text{м}^3/\text{с}$.

Определяют диаметр циклона, задавшись количеством параллельно установленных циклонов N , если диаметр одного циклона велик по размеру, м:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot N}} .$$

Диаметр D циклона округляют до стандартной величины, кратной 0,1 м:
 $D = 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0$ м и т.д. через 0,2 м.
 Вычисляют действительную скорость воздуха в циклоне, м/с:

$$V = \frac{4 \cdot L_p}{\pi \cdot N \cdot D^2} .$$

Определяют коэффициент $\zeta_{ц}$ гидравлического сопротивления циклона, отнесенный к скорости в плане, по табл. 12.2:

Таблица 12.2

Значения коэффициентов сопротивления некоторых типов циклонов

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15у	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
$\zeta_{ц}$	80	170	163	250	600	1150	2000

Определяют потери давления в циклоне, Па:

$$\Delta P = \zeta_{ц} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} ,$$

где ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Площадь горизонтального сечения циклонов

$$F = \frac{L_p}{V_{опт}} = \frac{20,83}{2} = 10,415 \text{ м}^2 .$$

Определяем диаметр циклона, принимая к установке 1 циклон, т. е. $N = 1$.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot N}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10,415}{\pi \cdot 1}} = 3,64 \text{ м} .$$

Диаметр D циклона округляем до стандартной величины, принимаем $D = 3,6$ м.

Скорость воздуха в циклоне диаметром 3,6 м будет

$$V = \frac{4 \cdot L_p}{\pi \cdot N \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 20,83}{\pi \cdot 1 \cdot 3,6^2} = 2,05 \text{ м/с} .$$

Определяем потери давления в циклоне

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} = 600 \cdot \frac{1,2 \cdot 2,05^2}{2} = 1513 \text{ Па.}$$

Далее определяем эффективность $E_{\text{ф}}$, %, очистки воздуха в выбранном циклоне. С достаточной для практики точностью эффективность очистки воздуха от агломерационной пыли в циклонах СДК-ЦН-33 можно произвести по рекомендациям А. И. Пирумова [7].

- диаметр циклона $D = 3,6 \text{ м};$
- расход воздуха $L_p = 75\,000 \text{ м}^3/\text{ч} = 20,83 \text{ м}^3/\text{с};$
- скорость воздуха в плане циклона $V = 2,05 \text{ м/с};$
- плотность агломерационной пыли [8] $\rho = 4000 \text{ кг/м}^3;$
- кинематическая вязкость воздуха $\mu = 17,75 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с};$
- высота цилиндрической части циклона $H_{\text{ц}} = 1,926 \text{ м};$
- высота конической части циклона $H_{\text{к}} = 10,8 \text{ м};$
- ширина входного патрубка $B = 0,95 \text{ м};$
- диаметр пылевывпускного отверстия циклона $D_{\text{вып}} = 1,202 \text{ м};$
- фракционный состав агломерационной пыли приведен в табл. 12.3.

Таблица 12.3

Дисперсный состав пыли участка сортировки агломерата (проба отобрана из газохода перед системой газоочистки), из [8], с. 494

Диаметр частиц, мкм	< 2,5	2,5–4	4–6,3	6,3–10	10–16	16–25	25–40	> 40
M_i , % по массе	4,1	3,7	6,2	11	17	18	20	20

Коэффициент K , характеризующий «закон площадей», при криволинейном движении частиц воздуха:

$$K = \frac{L_p}{H_{\text{ц}} \cdot \ln \frac{R_2 + B}{R_2}} = \frac{20,83}{1,926 \cdot \ln \frac{1,8 + 0,95}{1,8}} = 25,519, \text{ м}^2/\text{с},$$

где R_2 – начальный радиус цилиндрической части циклона, м;

$$R_2 = D / 2 = 1,8 \text{ м.}$$

Сток в цилиндрической части

$$\Phi_{\text{ц}} = \frac{L_p}{2 \cdot \pi \cdot H_{\text{ц}}} = \frac{20,83}{2 \cdot \pi \cdot 1,926} = 1,721 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Диаметр частиц, достигающих стенки циклона в его цилиндрической части, т. е. полностью улавливаемых:

$$d_1 = \left(\frac{18 \cdot \mu}{\rho} \right)^{0,5} \cdot \frac{(\Phi_{\text{ц}})^{0,5}}{K} \cdot R = \left(\frac{18 \cdot 17,75 \cdot 10^{-6}}{4000} \right)^{0,5} \cdot \frac{1,721^{0,5}}{25,519} \cdot 2,75 = 39,95 \text{ мкм},$$

где $R = R_2 + B = 2,75 \text{ м}$.

Радиальный сток в конической части циклона

$$\Phi_{\text{к}} = \frac{L_{\text{п}}}{2 \cdot \pi \cdot H_{\text{к}}} = \frac{20,83}{2 \cdot \pi \cdot 10,8} = 0,307 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Диаметр частиц пыли, радиус траектории движения которых в нижней части циклона меньше диаметра восходящего потока на уровне пылевыпускного отверстия,

$$d_2 = \left(\frac{18 \cdot \mu}{\rho} \right)^{0,5} \cdot \frac{(\Phi_{\text{к}})^{0,5}}{K} \cdot R = \left(\frac{18 \cdot 17,75 \cdot 10^{-6}}{4000} \right)^{0,5} \cdot \frac{0,307^{0,5}}{25,519} \cdot 0,1202 = 0,74 \text{ мкм},$$

где R – радиус движения восходящего потока на уровне пылевыпускного патрубка, м;

$$R = 0,1 D_{\text{вып}} = 0,1202 \text{ м}.$$

На логарифмической сетке, рис. 12.1, строим линию эффективности очистки воздуха от пыли в рассматриваемом циклоне.

За эффективность улавливания на 99,9 % принимаем размер частиц $d_1 = 39,95 \text{ мкм}$, за 0,1% – размер частиц $d_2 = 0,74 \text{ мкм}$. С полученной прямой получаем фракционную эффективность очистки, значения которой заносим в табл. 12.4.

Таблица 12.4

Фракционная эффективность очистки

Диаметр частиц, мкм	<2,5	2,5÷4	4÷6,3	6,3÷10	10÷16	16÷25	25÷40	>40
Эффективность улавливания, $\eta_{\text{фр}}$, %	12	30	60	85	96	99,4	99,9	99,9

Общая эффективность очистки в циклоне:

$$\eta_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^n \frac{\eta_{\text{фр}} \cdot M}{100} = \frac{12 \cdot 4,1}{100} + \frac{30 \cdot 3,7}{100} + \frac{60 \cdot 6,2}{100} + \frac{85 \cdot 11}{100} +$$

$$+ \frac{96 \cdot 17}{100} + \frac{99,4 \cdot 18}{100} + \frac{99,9 \cdot 20}{100} + \frac{99,9 \cdot 20}{100} = 88,8 \text{ \%}.$$

Задача 13

Определить размеры циклона типа СК-ЦН-34М для очистки 50000 м³/ч воздуха от агломерационной пыли, рассчитать эффективность очистки. Дисперсный состав пыли приведен в табл. 12.3.

Задача 14

Рассчитать потери давления в круглых стальных воздуховодах приточной системы механической вентиляции для промышленного здания, выбрать вентилятор для перемещения воздуха по системе, рассчитать потребляемую электродвигателем вентилятора мощность. Расчетная схема системы представлена на рис. 14.1. Воздух в помещение подается через три воздухораспределителя ВП и один воздухораспределитель ВГК. Потери давления на участке 5 и в приточной камере, оборудованной калорифером, утепленным клапаном и жалюзийной решеткой, составляют 120 Па. Нагрузки на участках показаны на схеме.

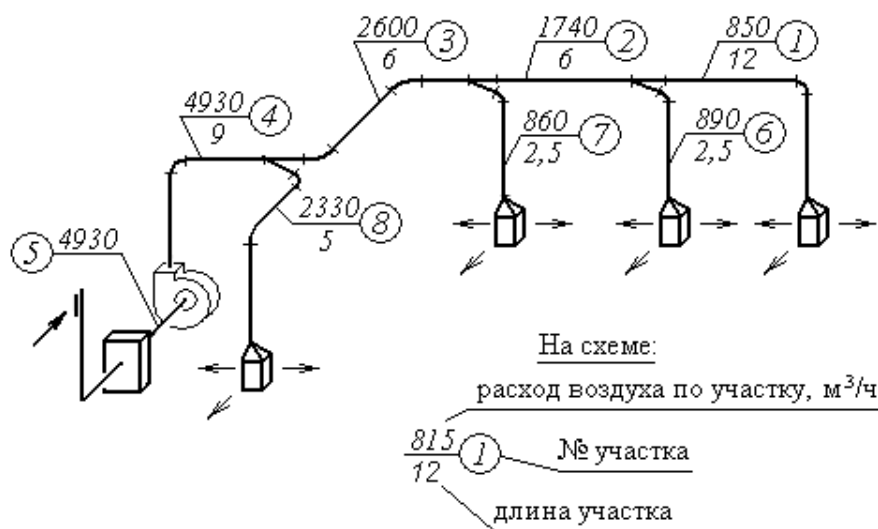


Рис. 14.1. Расчетная схема приточной системы вентиляции с механическим побуждением

Решение

Расчет начинаем с наиболее удаленного от вентилятора участка (в данном случае уч.1). Данные расчета заносим в табл. 14.1, в которой

L – расчетный расход воздуха, проходящего по воздуховоду рассматриваемого участка, м³/ч;

l – длина участка, м;

V – скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с;

- d – диаметр воздуховода, мм;
 $V^2\rho/2$ – динамическое давление на участке, Па
 R – потери давления на трение, Па/м;
 $\Sigma\zeta$ – сумма местных сопротивлений на рассматриваемом участке;
 $Z = \Sigma\zeta \cdot (V^2 \cdot \rho / 2)$ – потери давления на преодоление местных сопротивлений на участке, Па;
 $(Rl + Z)$ – общие потери давления на участке, Па;
 $\Sigma(Rl + Z)$ – общие потери давления по рассматриваемой ветви системы, включая рассматриваемый участок, Па.

Задавшись скоростями в пределах 5—10 м/с, определяем диаметры участков и отвечающие им потери на трение и динамические давления (для расчета используем таблицы к расчету воздуховодов из «Справочника проектировщика» [9, 10].

Подсчет коэффициентов местных сопротивлений сводим в табл. 14.2, значения коэффициентов местных сопротивлений в зависимости от конфигурации воздуховода на участке принимаем по табл. 22.16—22.43, 22.45—22.47 из [9] или по табл. 12.18—12.49 из [10], или по [6].

Таблица 14.1

Расчетная таблица сети воздуховодов

№ участка	$L, \text{ м}^3/\text{ч}$	$l, \text{ м}$	$V, \text{ м/с}$	$d, \text{ мм}$	$V^2 \cdot \rho / 2, \text{ Па}$	$R, \text{ Па/м}$	$Rl, \text{ Па}$	$\Sigma\zeta$	$Z, \text{ Па}$	$Rl + Z, \text{ Па}$	$\Sigma(Rl + Z), \text{ Па}$
1	850	12	4,8	250	13,83	1,15	13,8	1,9	26,3	40,1	40,1
2	1740	6	6,2	315	23	1,36	8,16	0,1	2,3	10,5	50,6
3	2600	6	7,3	355	32	1,6	9,6	0,9	28,8	38,4	89,0
4	4930	9	8,6	450	44,34	1,6	14,4	0,8	35,5	49,9	138,9
5	4930									120*	258,9
Расчетное давление для участка 6 $\Delta P_p = (Rl + Z)_1 = 40,1 \text{ Па}$											
6	890	2	5	250	15	1,24	2,5	2,6	39	41,5	
Невязка $(41,5 - 40,1) : 40,1 \cdot 100\% = 3,5\% < 10\%$, что допустимо											
Расчетное давление для участка 7 $\Delta P_p = (Rl + Z)_{1,2} = 50,6 \text{ Па}$											
7	860	2	4,9	250	14,4	1,2	2,4	3,2	46,08	48,48	
Невязка $(50,6 - 48,48) : 50,6 \cdot 100\% = 4,2\% < 10\%$, что допустимо											
Расчетное давление для участка 8 $\Delta P_p = (Rl + Z)_{1,2,3} = 89,0 \text{ Па}$											
8	2330	5	6,6	355	26,09	1,32	6,6	2,8	73,05	79,65	
Невязка $(89,0 - 79,65) : 89,0 \cdot 100\% = 10,5\% > 10\%$, что недопустимо, следует изменить диаметр воздуховода на участке 8 или установить на участке 8 диафрагму											
8	2330	5	8,4	315	42,38	2,40	12	2,5	105,95	117,95	
Потери давления на участке 8 при диаметре 315 мм получаются больше, чем расчетное давление, следовательно, для увязки потерь давления на участке 8 при диаметре воздуховода 355 мм необходимо установить диафрагму											

* - 120 Па – потери давления на участке 5 (по заданию)

Таблица 14.2

Коэффициенты местных сопротивлений по участкам системы

№ участка на схеме	Элементы воздуховодов	ζ
1	2	3
1	Воздухораспределитель ВП Отвод 90° при $R/d = 1,5$ Тройник на проходе при $d_o < d_c$ на $2K$, * $d_n < d_c$ на $2K$	1,4 0,4 <u>0,1</u> $\Sigma\zeta = 1,9$
2	Тройник на проходе при $d_o < d_c$ на $3K$, $d_n < d_c$ на K	$\Sigma\zeta = 0,1$
3	Тройник на проходе при $d_o < d_c$ на $2K$, $d_n < d_c$ на $2K$ Два отвода 90° при $R/d = 1,5$	0,1 $2 \cdot 0,4 = 0,8$ <u>0,8</u> $\Sigma\zeta = 0,9$
4	Отвод 90° при $R/d = 1,5$ Диффузор после вентилятора	0,4 <u>0,4</u> $\Sigma\zeta = 0,8$
6	Воздухораспределитель ВП Отвод 90° при $R/d = 1,5$ Тройник на ответвление при $d_o < d_c$ на $2K$, $d_n < d_c$ на $2K$	1,4 0,4 <u>0,8</u> $\Sigma\zeta = 2,6$
7	Воздухораспределитель ВП Отвод 90° при $R/d = 1,5$ Тройник на ответвление при $d_o < d_c$ на $3K$, $d_n < d_c$ на K	1,4 0,4 <u>1,4</u> $\Sigma\zeta = 3,2$
8	Воздухораспределитель ВП Тройник на ответвление при $d_o < d_c$ на $3K$, * $d_n < d_c$ на $2K$ при $d_o < d_c$ на $2K$, * $d_n < d_c$ на $2K$ Отвод 90° при $R/d = 1,5$	1,4 0,7 1,0 <u>0,4</u> $\Sigma\zeta = 2,5$ <u>2,8</u>
* K — калибр воздуховода		

Расчет диафрагмы для участка 8:

Необходимо погасить избыточное давление $P_{изб}$, равное разности потерь давления $P_{1,2,3}$ по магистрали, состоящей из участков 1, 2, 3, и потерь давления P_9 по 9-му участку диаметром 355 мм.

$$P_{изб} = P_{1,2,3} - P_9 = 89,0 - 79,65 = 9,45 \text{ Па.}$$

Вычисляем коэффициент местного сопротивления диафрагмы, которая погасит избыточное давление $P_{изб} = 9,35 \text{ Па}$:

$$\zeta = P_{изб} / P_{дин} = 9,35 / 26,09 = 0,36.$$

По табл. 22.48 из справочника [9] или по табл. 12.51 из справочника [10] выбираем диафрагму с отверстием диаметром 324 мм, у которой коэффициент местного сопротивления $\zeta = 0,3$.

Полное требуемое давление $P_{\text{мех}}$ для выбора вентилятора с учетом запаса на неучтенные сопротивления в сети в размере 10% составит

$$P_{\text{мех}} = 1,1 \cdot \Sigma(Rl + Z) = 1,1 \cdot 258,9 = 285 \text{ Па,}$$

где $\Sigma(Rl + Z)$ – суммарные потери давления на участках 1...5, см. табл.14.1.

Производительность вентилятора $L_{\text{в}}$ определяем с учетом потерь (подсосов) в размере 10 % к расчетному расходу воздуха в системе:

$$L_{\text{в}} = 1,1 \cdot L = 1,1 \cdot 4930 = 5420 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

По каталогам или справочной литературе [9, 10] подбираем вентилятор на расход воздуха 5420 м³/ч и полное требуемое давление 285 Па. Наиболее подходит радиальный вентилятор ВР80-75 №5 с колесом 1,05 $D_{\text{ном}}$, исп. 1, $L = 5420$ м³/ч; $\Delta P = 320$ Па; $\eta = 0,79$; $n = 920$ мин⁻¹ в комплектной поставке с электродвигателем 4А80А6 мощностью 0,75 кВт (характеристика вентилятора приведена на рис. 14.2).

Потребляемую электродвигателем мощность N определяют по формуле

$$N = \frac{L \cdot P}{3,6 \cdot \eta_{\text{в}} \eta_{\text{р.п}}} \cdot 10^{-6} = \frac{5420 \cdot 285}{3,6 \cdot 0,79 \cdot 1} \cdot 10^{-6} = 0,543 \text{ кВт,}$$

где L – подача воздуха вентилятором, м³/ч; P – давление, создаваемое вентилятором, Па; $\eta_{\text{в}}$ – коэффициент полезного действия (кпд) вентилятора; $\eta_{\text{р.п}}$ – кпд ременной передачи (для вентиляторов первого исполнения, когда колесо вентилятора насажено непосредственно на вал электродвигателя, $\eta_{\text{р.п}} = 1$).

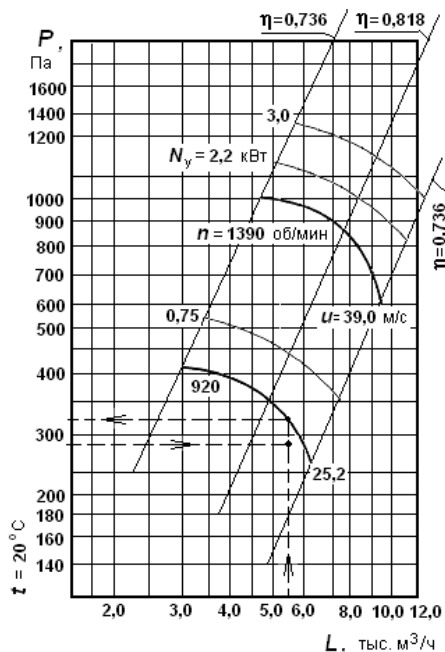


Рис. 14.2. Аэродинамическая характеристика вентилятора ВР80-75 №5 с колесом диаметром 1,05 $D_{\text{ном}}$ (исполнение 1)

При установке насоса на одном валу с электродвигателем установочная мощность электродвигателя определяется по формуле

$$N_y = K_1 \cdot N, \text{ кВт},$$

где K_1 – коэффициент запаса, принимаемый в зависимости от мощности N электродвигателя, табл. 14.3.

Таблица 14.3

Значения коэффициента запаса K_1

N , кВт	< 0,5	0,5–1	1,01–2	2,01–5	> 5
K_1	1,5	1,3	1,2	1,15	1,1

$$N_y = 1,3 \cdot 0,543 = 0,706 \text{ кВт},$$

что соответствует комплектации выбранного вентилятора.

Задача 15

Подобрать вентилятор для вытяжной системы, разработанной для удаления воздуха из вытяжного шкафа типа ЛА 150-НШВ. Размеры (длина, ширина, высота) 1500×750×2120. Размеры рабочего проема шкафа (ширина, высота) – 1500×650. В рабочем проеме должна быть обеспечена средняя скорость всасывания воздуха $V = 1$ м/с. Фрагмент плана помещения, разрез и схема вытяжной системы приведены на рис. 15.1. Для подбора вентилятора определить объем воздуха, который необходимо удалить от вытяжного шкафа, определить диаметры воздухопроводов, провести гидравлический расчет системы, вычислить потребляемую и установочную мощность N электродвигателя, подобрать вентилятор.

При гидравлическом расчете системы длины воздухопроводов определить по прилагаемому чертежу системы, рис. 15.1, размер, помеченный *, уточнить после выбора вентилятора.

Задача 16

Для уменьшения количества проникающего в помещение цеха наружного воздуха через открытые ворота последние оборудуют воздушной завесой. Принцип действия завесы: навстречу прорывающемуся в помещение холодному наружному воздуху подают под некоторым углом из щели воздух с помощью вентилятора. Этот воздух препятствует наружному воздуху прорываться в помещение. Щель для подачи воздуха может быть расположена снизу ворот, сбоку или с двух сторон.

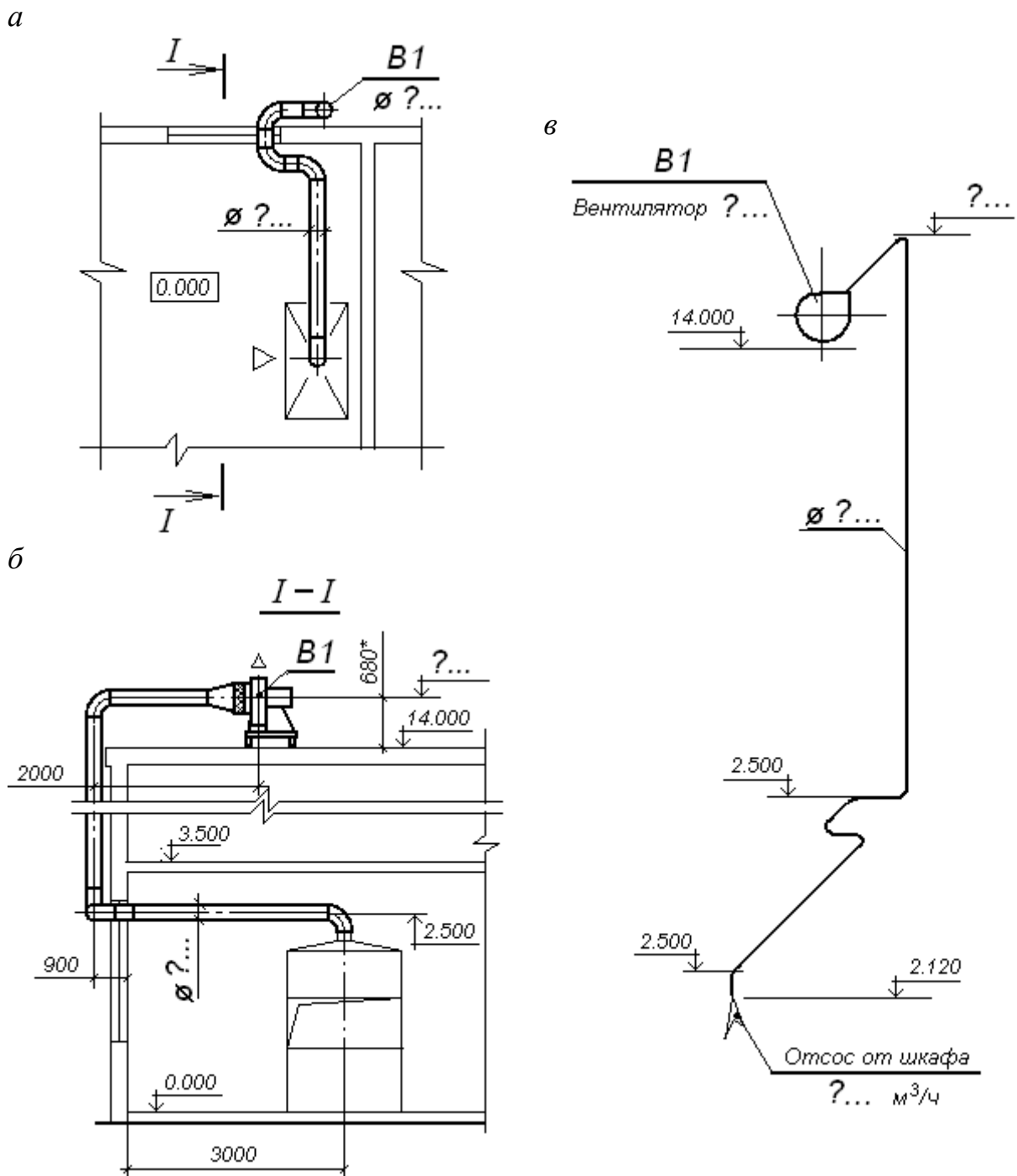


Рис. 15.1. К решению задачи 15:
а – фрагмент плана помещения; *б* – разрез помещения;
в – аксонометрическая схема вытяжной системы

Схема завесы с боковой подачей воздуха приведена на рис. 16.1.

Требуется рассчитать двухстороннюю боковую завесу шиберного типа и подобрать типовое решение, если завеса должна быть устроена у раздвижных ворот размером $F_{\text{пр}} = 3,6 \times 3,6 = 12,96 \text{ м}^2$ в одноэтажном производственном здании высотой $H = 8,4 \text{ м}$, имеющем зенитные фонари. Завеса шиберного типа

частично перекрывает проем ворот и сокращает прорыв наружного воздуха через проем. В помещение поступает смесь холодного и нагретого воздуха.

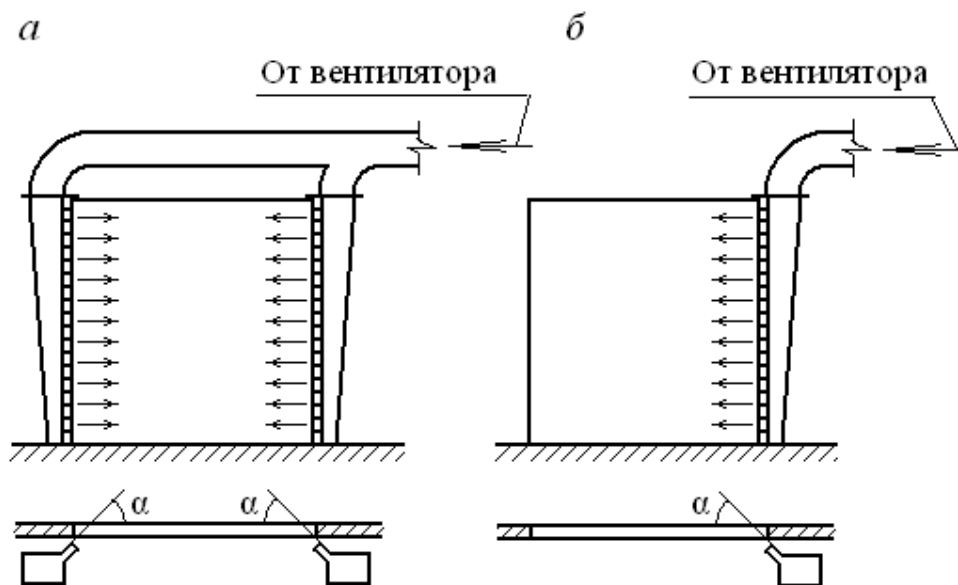


Рис. 16.1. Схема воздушных завес:

а – двухсторонняя боковая завеса; б – односторонняя боковая завеса

Ворота не защищены от ветра, поэтому угол α выпуска струи воздуха относительно плоскости ворот необходимо принять равным 30° (для защищенных от ветра ворот этот угол α принимают равным 45°). Механическая вытяжка и приток воздуха в помещении сбалансированы.

Исходные данные для расчета:

– отношение количества воздуха, подаваемого в завесу G_3 , к общему количеству проходящего через ворота воздуха $G_{пр}$ принять $\bar{q} = 0,7$ (эту величину рекомендуется принимать в пределах $\bar{q} = G_3 / G_{пр} = 0,6-1,0$);

– расчетная температура наружного воздуха $t_n = -20^\circ\text{C}$;

– плотность наружного воздуха $\rho_n = 1,39 \text{ кг/м}^3$;

– температура воздуха в помещении $t_b = 18^\circ\text{C}$,

– плотность воздуха $\rho_b = 1,21 \text{ кг/м}^3$;

– температура (при работе завесы) смеси наружного и внутреннего воздуха $t_{см} = 14^\circ\text{C}$;

– плотность смеси наружного и внутреннего воздуха $\rho_{см} = 1,23 \text{ кг/м}^3$;

– расчетная скорость ветра $V_b = 5,5 \text{ м/с}$;

– расчетный аэродинамический коэффициент здания $c = 0,8$ (см. СНиП 2.01.07–85 [11]);

– поправочный коэффициент на ветровое давление $k = 0,2$ (зависит от конструкции здания, см. табл. 16.1).

Поправочный коэффициент k на ветровое давление

Здание	k
Без аэрационных проемов	0,2
С аэрационными проемами, закрытыми в холодный период года	0,5
То же, открытыми в холодный период года	0,8

Решение

При заданном $\bar{q} = 0,7$ и задавшись значением $\bar{F} = F_{\text{пр}} / F_{\text{щ}} = 20$, где $F_{\text{щ}}$ – площадь щели для выпуска воздуха из стояка завесы, принимаем согласно табл. 16.2 для раздвижных ворот значение $\mu_{\text{пр}} = 0,3$.

Таблица 16.2

Коэффициенты расхода проемов $\mu_{\text{пр}}$ для завес шибберного типа

Тип завесы	Относительная площадь $\bar{F} = F_{\text{пр}} / F_{\text{щ}}$	Значения $\mu_{\text{пр}}$ при относительном расходе воздуха, подаваемого завесой, \bar{q}					
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Боковая	10	<u>0,42</u> 0,36	<u>0,38</u> <u>0,32</u>	<u>0,35</u> 0,31	<u>0,33</u> 0,28	<u>0,31</u> 0,26	<u>0,29</u> 0,25
	20	<u>0,35</u> 0,3	<u>0,32</u> 0,27	<u>0,3</u> 0,26	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25
	30	<u>0,31</u> 0,27	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25
	40	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25	<u>0,29</u> 0,25
Нижняя	10	<u>0,5</u> 0,42	<u>0,45</u> 0,38	<u>0,4</u> 0,36	<u>0,37</u> 0,32	<u>0,34</u> 0,3	<u>0,31</u> 0,27
	20	<u>0,4</u> 0,34	<u>0,35</u> 0,3	<u>0,3</u> 0,28	<u>0,28</u> 0,25	<u>0,25</u> 0,23	<u>0,23</u> 0,21
	30	<u>0,35</u> 0,31	<u>0,3</u> 0,26	<u>0,27</u> 0,24	<u>0,24</u> 0,21	<u>0,22</u> 0,2	<u>0,2</u> 0,18
	40	<u>0,31</u> 0,27	<u>0,27</u> 0,24	<u>0,24</u> 0,21	<u>0,21</u> 0,19	<u>0,2</u> 0,17	<u>0,18</u> 0,15

Примечания:

1. Над чертой приведены значения $\mu_{\text{пр}}$ для раздвижного проема, под чертой – для распашного.
2. Значения относительного расхода и относительной площади принимают исходя из технико-экономических соображений. В первом приближении рекомендуется принимать $\bar{q} = 0,6-0,7$; $\bar{F} = 20-30$

По табл. 16.3 для принятых размеров ворот и высоте здания определяем $h_{\text{расч}}$ – расчетную высоту, т. е. расстояние по вертикали от центра проема, оборудованного завесой, до уровня нулевых давлений, где давления снаружи и внутри здания равны (высота нейтральной зоны), м, $h_{\text{расч}} = 2,4$ м.

Усредненные значения $h_{\text{расч}}$ для одноэтажных производственных зданий

Высота здания, м	Значения $h_{\text{расч}}$, м, при размерах проема ворот, м				
	3×3	3,6×3	3,6×3,6	4,2×4,2	4,8×5,4
7,2	<u>5,6</u>	<u>5,4</u>	<u>4,8</u>	<u>4,1</u>	<u>2,7</u>
	2,9	2,5	2	2,1	2,7
8,4	<u>6,4</u>	<u>6,1</u>	<u>5,6</u>	<u>4,8</u>	<u>3</u>
	3,4	2,9	2,4	2,1	2,7
10,8	<u>7,8</u>	<u>7,6</u>	<u>7</u>	<u>6,1</u>	<u>4</u>
	4,4	3,8	3,2	2,8	2,7
15,6	<u>10,9</u>	<u>10,5</u>	<u>9,8</u>	<u>8,7</u>	<u>6,2</u>
	6,2	5,5	4,8	3,8	2,7

Над чертой приведены значения $h_{\text{расч}}$ для зданий со светоаэрационными фонарями, под чертой – для зданий с зенитными фонарями.

Расчетная разность давлений ΔP с двух сторон наружного ограждения на уровне проема, оборудованного завесой:

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_1 + k \cdot \Delta P_{\text{в}} = g \cdot h_{\text{расч}} \cdot (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{в}}) + k \cdot c \cdot \frac{V_{\text{в}}^2}{2} \cdot \rho_{\text{н}} = \\ &= 9,81 \cdot 2,4 \cdot (1,39 - 1,21) + 0,2 \cdot 0,8 \cdot \frac{5,5^2}{2} \cdot 1,39 = 7,6 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Общий расход воздуха завесы

$$\begin{aligned} G_1 &= 5100 \cdot \bar{q} \cdot \mu_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \rho_{\text{см}}} = \\ &= 5100 \cdot 0,7 \cdot 0,3 \cdot 12,96 \cdot \sqrt{7,6 \cdot 1,23} = 42 \text{ 438 кг/ч.} \end{aligned}$$

Принимаем к установке, прил. 9, завесу типа ЗВТ1.00.000-03 суммарной производительностью по воздуху $G_3 = 40 \text{ 800 кг/ч}$. Для принятого по прил. 9 решения получим $\bar{F} = 20$. Произведем перерасчет \bar{q} из выражения для определения общего расхода воздуха:

$$\bar{q} = \frac{G_{3\text{-табл}}}{5100 \cdot \mu_{\text{пр}} \cdot F_{\text{пр}} \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \rho_{\text{см}}}} = \frac{40800}{5100 \cdot 0,3 \cdot 12,96 \cdot \sqrt{7,6 \cdot 1,23}} = 0,67.$$

Требуемую температуру воздуха, подаваемого завесой, находим по формуле

$$t_3 = t_H + \frac{t_{CM} - t_H}{\bar{q} \cdot (1 - \bar{Q})},$$

где \bar{Q} – отношение теплоты, теряемой с воздухом, уходящим через открытый проем наружу, к тепловой мощности завесы, рис. 16.2, $\bar{Q} = 0,1$ при $\bar{F} = 20$.

$$t_3 = -20 + \frac{14 - (-20)}{0,67(1 - 0,1)} = 36,4^\circ.$$

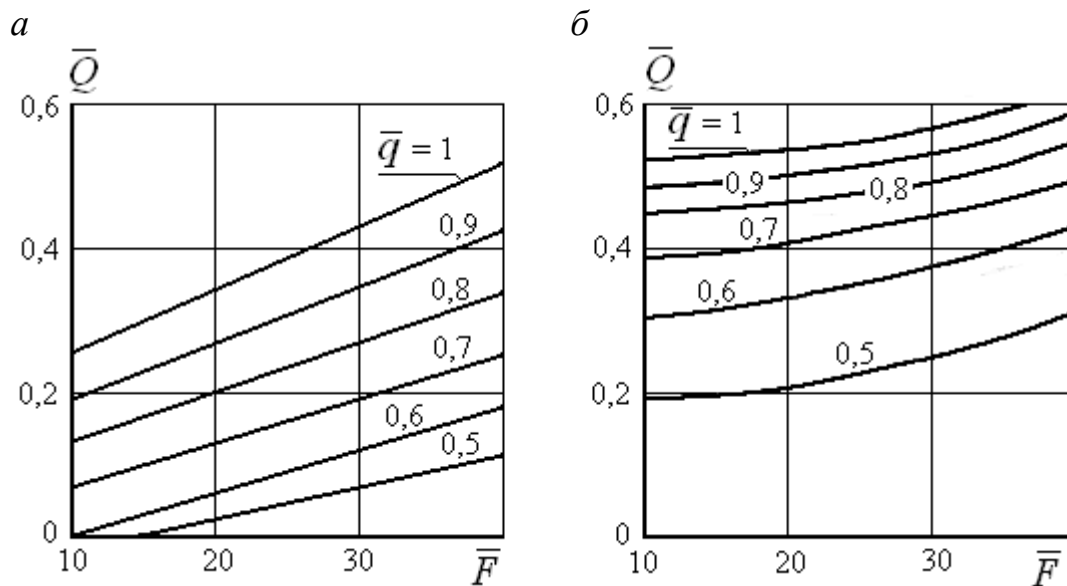


Рис. 16.2. К определению потерь теплоты с частью струи завесы шиберного типа, уходящей наружу:
a – для боковой завесы; *б* – для нижней завесы

Требуемую суммарную тепловую мощность калориферов завесы вычисляем по формуле

$$Q_3 = \frac{G_3 \cdot c_1 \cdot (t_3 - t_{нач})}{3600} = \frac{40800 \cdot 1005 \cdot (36,4 - 14)}{3600} = 255\,136 \text{ Вт.}$$

где c_1 – удельная теплоемкость воздуха, $c_1 = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, $t_{нач}$ – температура воздуха, забираемого для завесы, $^\circ\text{C}$ (на уровне всасывающего отверстия вентилятора $t_{нач}$ принимается равной температуре смеси воздуха, поступающего в помещение; из верхней зоны – равной температуре воздуха в верхней зоне; снаружи – равной температуре наружного воздуха для холодного периода, соответствующей параметрам Б).

Поскольку суммарная мощность принятой типовой конструкции согласно прил. 9 составляет 511 700 Вт, т. е. вдвое больше требуемой, то в данном случае

целесообразно в одном из агрегатов завесы не устанавливать caloriferную секцию или принять однорядную установку calorиферов.

Если в результате расчета t_3 окажется меньше $t_{нач}$, то следует использовать завесы без caloriferных секций.

Задача 17

Рассчитать аэрацию (необходимый воздухообмен) для помещения однопролетного цеха, поперечный разрез которого приведен на рис. 17.1, определить требуемую площадь открывающихся фрамуг (приточных $F_{пр}^I$ – для теплого периода года, $F_{пр}^{II}$ – для переходного периода года, $F_{пр}^{III}$ – для холодного периода года и вытяжных $F_{выт}$). Здание расположено в г. Каменск-Уральский.

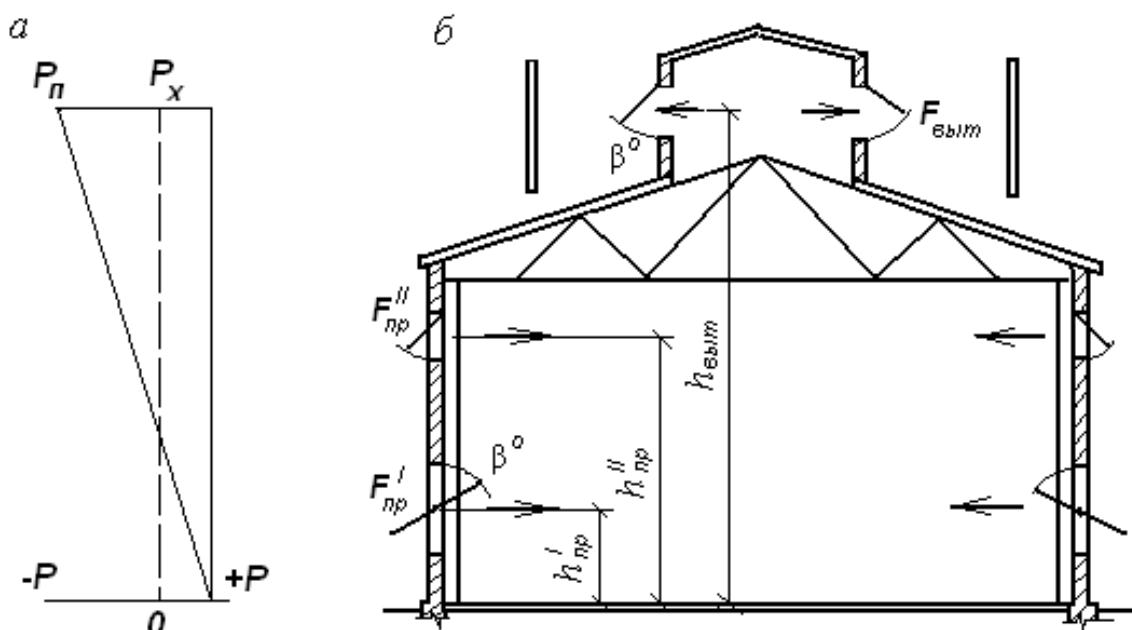


Рис. 17.1. Аэрация однопролетного цеха:
а – схема давлений; б – разрез цеха

Исходные данные для расчета аэрации:

- расчетная летняя температура наружного воздуха для расчета вентиляции, $t_n, ^\circ\text{C}$, для г. Каменск-Уральский $t_n = 22 ^\circ\text{C}$ (графа 3 табл. 2 из [1]);
- температура воздуха в рабочей зоне, $t_{рз} = 22 ^\circ\text{C}$ [12];
- высота расположения центров приточных аэрационных проемов от пола, $h_{пр}^I = 2,1$ м (для теплого периода года), $h_{пр}^{II} = 5$ м (для холодного периода года);
- высота расположения центров вытяжных аэрационных проемов от пола, $h_{выт} = 9,85$ м;
- количество избыточной теплоты, выделяющейся в помещении, $Q = 600000$ Вт;

- градиент температуры (изменение температуры по высоте помещения), $\alpha = 1,2 \text{ } ^\circ\text{C/м}$;
- теплоемкость воздуха $c_1 = 1 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$;
- коэффициент местного сопротивления приточных фрамуг, $\zeta_{\text{пр}} = 3,2$ (для среднеподвесных створок при $\beta = 60^\circ$) по табл. 5.1 из [10, 13];
- коэффициент местного сопротивления вытяжных фрамуг $\zeta_{\text{выт}} = 5,9$ для П-образного светоаэрационного фонаря с верхнеподвесными створками и ветрозащитными панелями при угле открывания $\beta = 70^\circ$, табл. 5.2 из [10, 13].

Решение

Для расчета аэрации следует определить:

- температуру удаляемого воздуха, t_{yx} , $^\circ\text{C}$;
- среднюю температуру воздуха в цехе, t_{cp} , $^\circ\text{C}$;
- плотность воздуха $\rho_{\text{н}}$, ρ_{yx} , ρ_{cp} , при $t_{\text{н}}$, t_{yx} , t_{cp} .

$$t_{\text{yx}} = t_{\text{пз}} + \alpha \cdot (h_{\text{выт}} - h_{\text{п.з}}) = 22 + 1,2 \cdot (9,85 - 2,0) = 31,42 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_{\text{yx}} + t_{\text{пз}}}{2} = \frac{31,42 + 22}{2} = 26,71 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\rho_{\text{н}} = \frac{353}{273 + t_{\text{н}}} = \frac{353}{273 + 22} = 1,197 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{yx}} = \frac{353}{273 + t_{\text{yx}}} = \frac{353}{273 + 31,42} = 1,160 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{\text{cp}} = \frac{353}{273 + t_{\text{cp}}} = \frac{353}{273 + 26,71} = 1,178 \text{ кг/м}^3.$$

Необходимый воздухообмен в помещении по избыткам тепла, кг/ч:

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{yx}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{изб}}}{c \cdot (t_{\text{yx}} - t_{\text{пр}})} = \frac{3,6 \cdot 600000}{1 \cdot (31,42 - 22)} = 229299 \text{ кг/ч.}$$

Условные внешние давления на уровне середины приточных и вытяжных проемов. Если принять за уровень отсчета отметку пола цеха, эти условные давления будут равны:

- на уровне середины нижних приточных проемов

$$P_{\Pi} = g h_{\text{пр}} (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ср}}) = 9,81 \cdot 2,1 \cdot (1,197 - 1,178) = 0,391 \text{ Па};$$

– на уровне середины вытяжных проемов

$$P_{\text{выт}} = g h_{\text{выт}} (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ср}}) = 9,81 \cdot 9,85 \cdot (1,197 - 1,178) = 1,836 \text{ Па.}$$

Расчетная разность давлений ΔP между приточными и вытяжными проемами, за счет которой будет происходить поступление наружного воздуха в помещение

$$\Delta P = P_{\Pi} - P_{\text{выт}} = 0,391 - 1,836 = -1,445 \text{ Па.}$$

Чтобы обеспечить невысокие скорости поступления наружного воздуха и устойчивость восходящих конвективных потоков, площадь приточных проемов принимают возможно большей. В приточных проемах рекомендуется расходовать от 0,1 до 0,3 расчетной разности давлений ΔP , т. е.

$$\Delta P_{\Pi} = 0,3 \Delta P = 0,3 \cdot (-1,445) = -0,4335 \text{ Па,}$$

оставшаяся часть расчетной разности давлений будет потрачена на проход воздуха через вытяжные проемы.

Давление внутри помещения

$$P_{\text{х}} = P_{\Pi} - \Delta P_{\Pi} = 0,391 - (-0,4335) = 0,8245 \text{ Па.}$$

Массовая скорость воздуха ($V_{\text{пр}} \cdot \rho$), проходящего через приточные фрамуги снаружи внутрь помещения:

$$(V_{\text{пр}} \cdot \rho) = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{н}} \cdot |P_{\Pi} - P_{\text{х}}|}{\zeta_{\text{пр}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,197 \cdot |0,391 - 0,8245|}{3,2}} = 0,569 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Массовая скорость воздуха ($V_{\text{ух}} \cdot \rho$), проходящего через вытяжные проемы из помещения наружу:

$$(V_{\text{ух}} \cdot \rho) = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{ух}} \cdot |P_{\text{выт}} - P_{\text{х}}|}{\zeta_{\text{выт}}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,160 \cdot |1,836 - 0,8245|}{5,9}} = 0,631, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Площадь приточных проемов (открывающихся фрамуг):

$$F_{\text{пр}}^I = \frac{G_{\text{пр}}}{3600 \cdot (V_{\text{пр}} \cdot \rho)} = \frac{229299}{3600 \cdot 0,569} = 111,94 \text{ м}^2;$$

площадь вытяжных проемов (открывающихся фрамуг фонаря):

$$F_{\text{выт}} = \frac{G_{\text{yx}}}{3600 \cdot (V_{\text{yx}} \cdot \rho)} = \frac{229299}{3600 \cdot 0,631} = 100,94, \text{ м}^2.$$

В переходный период года ($t_{\text{н}} = 10^{\circ}\text{C}$) приточный воздух следует подавать в помещение, как и в холодный период года, не ниже 4 м от пола до низа вентиляционных проемов. Расчет аэрации для переходного периода года проводим в той же последовательности, принимая значения $\rho_{\text{н}} = 1,247 \text{ кг/м}^3$, $h_{\text{пр}} = 5 \text{ м}$, $\zeta_{\text{пр}} = 3,7$ (верхнеподвесные створки при $\beta = 45^{\circ}$) соответствующими переходному периоду года, температура удаляемого воздуха, $t_{\text{yx}} = 31,42^{\circ}\text{C}$; средняя температура воздуха в цехе, $t_{\text{ср}} = 26,71^{\circ}\text{C}$; $\rho_{\text{ср}} = 1,178 \text{ кг/м}^3$.

Плотность наружного воздуха для переходного периода:

$$\rho_{\text{н}} = \frac{353}{273 + t_{\text{н}}} = \frac{353}{273 + 10} = 1,247 \text{ кг/м}^3.$$

Необходимый воздухообмен в помещении в переходный период по избыткам тепла:

$$G_{\text{пр}} = G_{\text{yx}} = \frac{3,6 \cdot Q_{\text{изб}}}{c \cdot (t_{\text{yx}} - t_{\text{пр}})} = \frac{3,6 \cdot 600000}{1 \cdot (31,42 - 10)} = 100840 \text{ кг/ч.}$$

Условные внешние давления на уровне середины приточных и вытяжных проемов:

– на уровне середины верхних приточных проемов

$$P_{\text{п}} = g h_{\text{пр}} (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ср}}) = 9,81 \cdot 5 \cdot (1,247 - 1,178) = 3,384 \text{ Па};$$

– на уровне середины вытяжных проемов

$$P_{\text{выт}} = g h_{\text{выт}} (\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ср}}) = 9,81 \cdot 9,85 \cdot (1,247 - 1,178) = 6,667 \text{ Па.}$$

Расчетная разность давлений ΔP между приточными и вытяжными проемами, за счет которой будет происходить поступление наружного воздуха в помещение:

$$\Delta P = P_{\text{п}} - P_{\text{выт}} = 3,384 - 6,667 = -3,283 \text{ Па.}$$

Потери давления в приточных проемах

$$\Delta P_{\text{п}} = 0,3 \Delta P = 0,3 \cdot (-3,283) = -0,985 \text{ Па,}$$

оставшаяся часть расчетной разности давлений будет потрачена на проход воздуха через вытяжные проемы.

Давление внутри помещения

$$P_x = P_n - \Delta P_n = 3,384 - (-0,985) = 4,369 \text{ Па.}$$

Массовая скорость воздуха ($V_{пр} \cdot \rho$), проходящего через приточные фрамуги снаружи внутрь помещения:

$$(V_{пр} \cdot \rho) = \sqrt{\frac{2\rho_n \cdot |P_n - P_x|}{\zeta_{пр}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,247 \cdot |3,384 - 4,369|}{3,7}} = 0,815 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Массовая скорость воздуха ($V_{yx} \cdot \rho$), проходящего через вытяжные проемы из помещения наружу:

$$(V_{yx} \cdot \rho) = \sqrt{\frac{2\rho_{yx} \cdot |P_{выт} - P_x|}{\zeta_{выт}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1,160 \cdot |6,667 - 4,369|}{5,9}} = 0,951, \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Площадь приточных проемов (открывающихся фрамуг):

$$F_{пр}^{II} = \frac{G_{пр}}{3600 \cdot (V_{пр} \cdot \rho)} = \frac{100840}{3600 \cdot 0,815} = 34,37 \text{ м}^2;$$

площадь вытяжных проемов (открывающихся фрамуг фонаря):

$$F_{выт} = \frac{G_{yx}}{3600 \cdot (V_{yx} \cdot \rho)} = \frac{100840}{3600 \cdot 0,951} = 29,45, \text{ м}^2.$$

Расчет аэрации для холодного периода года обычно не проводят. Аэрационные проемы, открываемые в этот период, расположены на тех же отметках, что и открываемые в переходный период, а их площади $F_{пр}^{III}$ и $F_{выт}$ определяются условиями эксплуатации (часть проемов закрывают или изменяют угол открывания створок).

Задача 18

Для условий задачи 17 произвести расчет аэрации для холодного периода года.

4. ОСВЕЩЕНИЕ

Задача 19

Определить коэффициент естественного освещения на рабочих местах, расположенных у противоположной окнам стены помещения. Помещение прямоугольное в плане с размерами: длина (от окон до противоположной стены) помещения $L = 6$ м, ширина $B = 4,5$ м, высота окна $h_o = 2$ м, ширина окна $b_o = 1,8$ м; окон в помещении $n = 2$, от пола до уровня подоконника $h_n = 1,2$ м.

Решение

Предварительную величину коэффициента естественного освещения (для помещения, не заполненного производственным оборудованием) определяем, используя рис. 19.1, на котором d_n – длина помещения, A_n – площадь помещения, h_{o1} – высота верхней грани окна над уровнем условной рабочей поверхности, A_{o1} – площадь окон; УРП – уровень условной рабочей поверхности (размеры в метрах).

Рис. 19.1 выполнен для окон с двумя слоями листового оконного стекла в спаренных металлических открывающихся переплетах. Если установлены другие типы заполнителей световых проемов, то найденное по рис. 19.1 значения КЕО необходимо умножить на коэффициент пересчета K_1 , значения которого приведены в табл. 19.1.

Последовательность определения КЕО:

1) суммарная площадь световых проемов, м²:

$$A_o = h_o \cdot b_o \cdot n = 2 \cdot 1,8 \cdot 2 = 7,2;$$

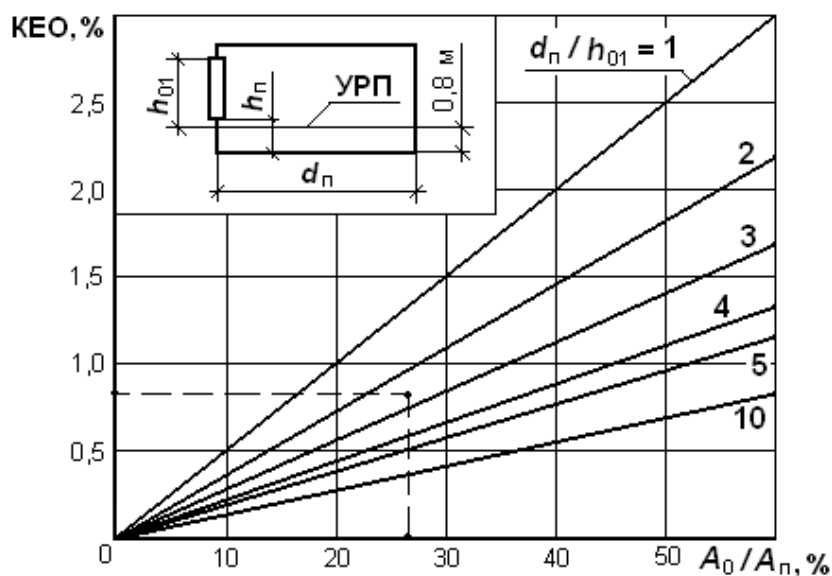


Рис. 19.1. Определение предварительной величины КЕО

Коэффициент пересчета КЕО,
зависящий от вида заполнителей световых проемов

Вид заполнителей световых проемов	K_1
Однослойное остекление в стальных одинарных глухих переплетах	1,26
Однослойное остекление в стальных одинарных открывающихся переплетах	1,05
Один слой оконного стекла в деревянных открывающихся переплетах	1,05
Два слоя оконного стекла в стальных двойных открывающихся переплетах	0,75
Пустотелые стеклянные блоки	0,7

2) освещаемая площадь пола помещения $A_{\text{п}}$, м²:

$$A_{\text{п}} = L \cdot B = 6 \cdot 4,5 = 27;$$

3) значение $A_{\text{о}}/A_{\text{п}}$, %:

$$A_{\text{о}}/A_{\text{п}} = (7,2 / 27) \cdot 100 = 26,7;$$

4) высота верхней грани световых проемов над уровнем условной рабочей поверхности, м:

$$h_{01} = h_{\text{о}} + h_{\text{п}} - 0,8 = 2 + 1,2 - 0,8 = 2,4;$$

5) значение $d_{\text{п}} / h_{01} = L / h_{01} = 6 / 2,4 = 2,5$.

По рассчитанным $A_{\text{о}}/A_{\text{п}} = 26,7$ и $d_{\text{п}} / h_{01} = 2,5$ по рис. 19.1 определяем значение коэффициента естественного освещения КЕО. КЕО = 0,8.

Задача 20

Определить для условий задачи 19 КЕО для рабочих мест, расположенных на расстоянии $l = 4$ м от окон (в этом случае при определении $d_{\text{п}} / h_{01}$ размер $d_{\text{п}}$ следует принимать равным l).

Задача 21

Определить для условий задачи 19, на каком расстоянии от окон будет обеспечен нормативный КЕО для работников, выполняющих работу малой точности (разряд зрительной работы V, естественное освещение – боковое, нормативный КЕО = 1 [14]).

Задача 22

Определить число светильников для создания искусственной освещенности $E_{\text{н}} = 300$ лк в производственном помещении. Размеры помещения: длина A

= 16 м; ширина $B = 10$ м; высота $h = 4,1$ м; высота свеса светильников $h_c = 0,1$ м; высота расчетной поверхности $h_{\text{п}} = 0,8$ м. Коэффициент отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$, стен $\rho_c = 30\%$, рабочей поверхности $\rho_p = 10\%$.

Применить светильники ЛСП02-2×40-10 подвесные, источник света в светильнике – прямые трубчатые люминесцентные лампы ЛБ-40, количество ламп в светильнике $n = 2$ штуки, мощность каждой лампы $P_{\text{л}} = 40$ Вт. Кривая силы света светильника ЛСП02 – Д, КПД светильника 60% [15].

Принять коэффициент запаса $K_3 = 1,8$; коэффициент неравномерности $Z = 1,1$; светильник ЛСП02-2×40-10 имеет коэффициент полезного действия $\eta = 0,6$. При решении задачи применить оба метода расчета по световому потоку (метод удельной мощности и метод коэффициента использования).

Решение

I. Расчет по методу удельной мощности

Удельной мощностью называют мощность осветительной установки, отнесенную к единице площади пола помещения (Вт/м²):

$$W = \frac{P_{\text{л}} \cdot n}{S},$$

где $P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, Вт; n – число ламп; S – площадь помещения, м².

Для создания равномерной освещенности $E = 100$ лк светильниками с люминесцентными лампами ЛБ-40 при $K_{3,т} = 1,5$, $Z = 1,1$ и условном коэффициенте полезного действия $\eta_{\text{усл}} = 100\%$ требуется удельная мощность $W_{100} = 2,9$ Вт/м² [15].

Производим пропорциональный пересчет на заданные в задаче условия. Потребная удельная мощность для создания равномерной освещенности $E_{\text{н}} = 300$ лк:

$$W_{\text{п}} = \frac{W_{100} \cdot K_3 \cdot E_{\text{н}}}{K_{3,т} \cdot \eta \cdot E} = \frac{2,9 \cdot 1,8 \cdot 300}{1,5 \cdot 0,6 \cdot 100} = 17,4 \text{ Вт/м}^2.$$

Необходимое число светильников ЛСП02-2×40-10, штук:

$$n = \frac{W_{\text{п}} \cdot S}{P} = \frac{W \cdot A \cdot B}{P} = \frac{17,4 \cdot 16 \cdot 10}{40 \cdot 2} = 35.$$

К установке принимаем 3 ряда по 12 светильников, всего 36 светильников. Удельная мощность осветительной установки помещения:

$$W_{\text{у}} = \frac{P \cdot n}{S} = \frac{(40 \cdot 2) \cdot 36}{160} = 18 \text{ Вт/м}^2.$$

Запас мощности

$$W_3 = \frac{W_y - W_{\text{п}}}{W_{\text{п}}} \cdot 100 = \frac{18 - 17,4}{17,4} \cdot 100 = 3,4 \%, \quad \text{что допустимо.}$$

II. Расчет по методу коэффициента использования

Коэффициент использования светового потока – это отношение светового потока, падающего на расчетную плоскость, к суммарному световому потоку источников света:

$$U_{\text{оу}} = \frac{F_{\text{п}}}{n \cdot F_{\text{л}}},$$

где $F_{\text{п}}$ – световой поток, падающий на расчетную плоскость, лм; $F_{\text{л}}$ – световой поток одной лампы, лм; n – число ламп в помещении.

Коэффициент $U_{\text{оу}}$ зависит от светораспределения светильников и их размещения в помещениях, от размеров освещаемого помещения и отражающих свойств его поверхностей, а также от отражающих свойств рабочей поверхности.

Соотношение размеров освещаемого помещения и высота подвеса светильников в нем характеризуются индексом помещения

$$i_{\text{п}} = \frac{A \cdot B}{h_{\text{р}} \cdot (A + B)},$$

где A – длина помещения, м; B – ширина помещения, м; $h_{\text{р}} = h - h_{\text{п}} - h_{\text{с}}$ – расчетная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м.

Для помещений практически неограниченной длины можно считать

$$i_{\text{п}} = B / h_{\text{р}}.$$

Коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка – $\rho_{\text{п}}$ и стен – $\rho_{\text{с}}$ приведены в прил. 10. Коэффициент отражения рабочей поверхности в большинстве случаев принимается $\rho_{\text{р}} = 0,1$.

Необходимый световой поток $F_{\text{р}}$, лм, для создания освещенности рабочей поверхности $E_{\text{н}}$ вычисляем по формуле

$$F_{\text{р}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{U_{\text{оу}}},$$

где $E_{\text{н}}$ – минимальная нормируемая освещенность рабочей поверхности, выбранная по нормам, лк; S – площадь пола помещения, м²; K_3 – коэффициент за-

паса, который учитывает снижение освещенности в период эксплуатации, зависит от условий эксплуатации светильника (прил.11), эксплуатационной группы светильников (прил. 12) и группы твердости светотехнических материалов (прил. 13); Z – коэффициент, который характеризует неравномерность освещения (для ламп ЛН и ДРЛ при расстоянии L между лампами, не превышающем рекомендуемых значений ($L \leq 0,5h_p$), принимается для люминесцентных ламп при расположении светильников в виде светящихся линий $Z = 1,10$; для отраженного освещения полагается $Z = 1,0$; при расчете на среднюю освещенность Z не учитывается); U_{oy} – коэффициент использования светового потока.

Для светильников с типовыми кривыми силы света (равномерной М и косинусной Д) значения коэффициентов использования светового потока приведены в прил. 14, для других светильников U_{oy} можно найти в справочной литературе.

Число светильников (ламп), устанавливаемых в помещении, шт:

$$n = F_p / F_1 ,$$

где F_1 – световой поток одного светильника (лампы).

Расчетная высота подвеса светильников над рабочей поверхностью, м:

$$h_p = h - h_{\pi} - h_c = 4,1 - 0,1 - 0,8 = 3,3;$$

индекс помещения (округляем до ближайшего табличного значения):

$$i_{\pi} = \frac{A \cdot B}{h_p \cdot (A + B)} = \frac{16 \cdot 10}{3,2 \cdot (16 + 10)} = 1,9 \approx 2.$$

При заданных условиях задачи коэффициентах отражения потолка $\rho_{\pi} = 50\%$, стен $\rho_c = 30\%$, рабочей поверхности $\rho_p = 10\%$, кривой силы света Д и вычисленном индексе помещения $i_{\pi} = 1,9$ коэффициент использования светового потока принимаем по прил. 14 равным 68%.

Необходимый световой поток для создания освещенности рабочей поверхности $E_n = 300$ лк вычисляем по формуле

$$F_p = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{U_{oy}} = \frac{300 \cdot 160 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{0,68} = 139764 \text{ лм.}$$

Световой поток одной лампы ЛБ-40 – $F_{л} = 3200$ лм.

Необходимое число ламп в помещении

$$n = \frac{F_p}{F_{л}} = \frac{139764}{3200} = 44,7 \approx 45.$$

Поскольку в светильнике ЛСП02-2×40-10 по 2 лампы ЛБ-40, к установке принимаем четное число ламп, т. е. 46 штук или 23 светильника.

Задача 23

Помещение площадью $S = 100 \text{ м}^2$ высотой $H_{\text{п}} = 5 \text{ м}$ освещается четырьмя светильниками с лампами ДРЛ мощностью 400 Вт каждая (световой поток каждой лампы $F_{\text{л}} = 24000 \text{ лм}$), светильник – круглосимметричный точечный излучатель, имеющий кривую силы света $I_{\alpha} = f(\alpha)$ со световым потоком $F_{\text{л}} = 1000 \text{ лм}$, заданную в табличной форме (табл. 23.1).

Таблица 23.1

Сила света светильника с условным световым потоком $F_{\text{л}} = 1000 \text{ лм}$ с лампой ДРЛ с типовой кривой силы света Д [15]

$\alpha, ^\circ$	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85
$I_{\alpha}, \text{кд}$	285	282	273	255	228	189	121	59	30	5

Высота подвеса светильников над полом $H = 4,5 \text{ м}$.

Схема расположения светильников приведена на плане помещения, рис. 23.1.

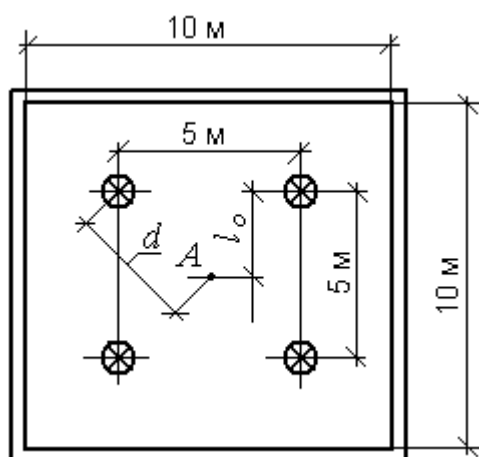


Рис. 23.1. План помещения

Определить освещенность горизонтальной и вертикальной освещенности в расчетной точке А, расположенной на полу в центре помещения.

Расчет произвести точечным методом.

Точечный метод расчета применяют во всех случаях, когда не применим метод коэффициента использования и в качестве проверочного при расчете освещенности отдельных участков рабочей поверхности. При выполнении этого расчета полагают, что источник света является точечным, если его размеры не превышают 0,2 расстояния до освещаемой точки. В практике расчетов точечный светильник принимают за светящуюся точку с условно выбранным световым центром, характеризуемую распределением силы света по всем направлениям, которое называется кривой силы света (КСС) источника света. В данной

работе приведено представление КСС в табличной форме, прил. 15, где α – угол между направлением силы света и вертикалью.

Решение

Порядок расчета освещенности в точке A (рис. 23.2) следующий:

– подсчитывается тангенс угла падения световых лучей:

$$\operatorname{tg} \alpha = d / H = \frac{\sqrt{p^2 + b^2}}{H} = \frac{\sqrt{2,5^2 + 2,5^2}}{4,5} = 0,786 ;$$

– по найденному тангенсу определяем угол α и $\cos^3 \alpha$; $\alpha = 38^\circ$, $\cos^3 \alpha = 0,486$;

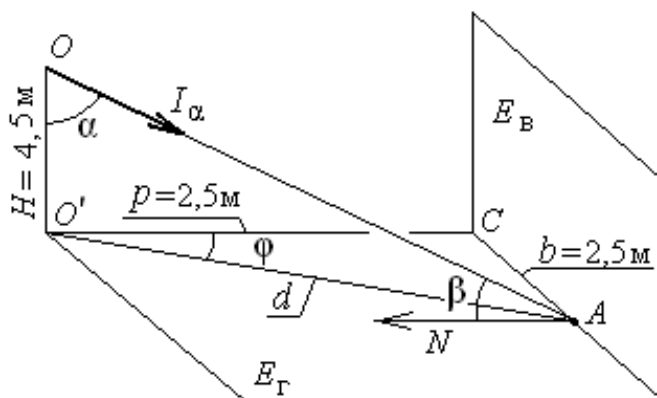


Рис. 23.2. Схема к точечному методу расчета осветительной установки

– из кривой силы света светильника (табл. 23.1) определяем по найденному углу α силу света условной лампы со световым потоком $F_{\text{л}} = 1000$ лм, $(I_{\alpha})_{1000} = 214$ кд;

– определяем силу света лампы ДРЛ-400 со световым потоком 24000 лм в направлении точки A :

$$I_{\alpha} = (I_{\alpha})_{1000} \cdot \frac{F_{\text{л}}}{1000} = 216 \cdot \frac{24000}{1000} = 5184 \text{ кд};$$

– по найденным значениям I_{α} , $\cos^3 \alpha$ и заданной высоте H подвеса светильника над расчетной точкой подсчитываем освещенность в расчетной точке A по закону квадрата расстояния.

Освещенность от одного светильника горизонтальной плоскости, в которой лежит точка A , в точке A :

$$E_{\text{Г1}} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha}{H^2 \cdot K_3} = \frac{5184 \cdot 0,486}{4,5^2 \cdot 1,5} = 83 \text{ лк},$$

где K_3 – коэффициент запаса для одного светильника.

Горизонтальная плоскость в точке A освещается четырьмя светильниками. Каждый из четырех светильников создает в расчетной точке одинаковую освещенность, поэтому суммарная горизонтальная освещенность в точке A составит

$$E_r = 4 E_{r1} = 4 \cdot 83 = 332 \text{ лк.}$$

Рассчитываем освещенность вертикальной плоскости, в которой лежит точка A , в точке A , учитывая, что расчетная точка освещается эффективно только двумя светильниками:

$$E_v = 2 \cdot E_{r1} \cdot \frac{d}{H} = 2 \cdot 83 \cdot \frac{\sqrt{2,5^2 + 2,5^2}}{4,5} = 130 \text{ лк.}$$

Задача 24

Подобрать 4 светильника для помещения, рис. 23.1, если для точки A нормативная освещенность рабочей горизонтальной поверхности $E_n = 400$ лк. Высота подвеса светильников над рабочей поверхностью $H_p = 4,5$ м. Светильник – круглосимметричный точечный, каждый из светильников создает освещенность в точке A по 100 лк, КСС типа Д.

Решение

Определяем необходимую силу света каждого из четырех светильников в направлении точка A при $\alpha = 38^\circ$:

$$I_\alpha = \frac{E_n \cdot H_p^2 \cdot K_3}{\cos^3 \alpha} = \frac{100 \cdot 4,5^2 \cdot 1,5}{0,486} = 6250 \text{ кд.}$$

Световой поток светильника должен быть

$$F_n = \frac{I_\alpha \cdot 1000}{(I_\alpha)_{1000}} = \frac{6250 \cdot 1000}{216} = 28935 \text{ лм.}$$

К установке выбираем светильник РСП13-700-001 с лампой ДРЛ700(10)-3, световой поток которой лампы 41000 лм. Учитывая КПД светильника 71%, получим световой поток светильника 29000 лм, что соответствует поставленной задаче.

Задача 25

В помещении строящегося здания производят укладку напольного покрытия. Размеры помещения: длина $A = 18$ м, ширина $B = 9$ м, высота $H = 4,2$ м. Потолок помещения – железобетонные плиты, стены кирпичные, пол темный. Коэффициент отражения потолка $\rho_{\text{п}} = 50\%$, стен $\rho_{\text{с}} = 30\%$, пола $\rho_{\text{р}} = 10\%$.

Для временного освещения помещения следует применить лампы ЛН и светильники НСП21-100-001, тип КСС – Д, защитный угол 15° , высота подвески светильника $h_{\text{с}} = 1$ м, т. е. расстояние от пола до светильника составляет $h_{\text{р}} = 3,2$ м. Следует определить мощность ламп ЛН, их количество и разместить светильники в помещении. Нормируемый уровень освещения для пола принять $E_{\text{н}} = 30$ лк.

Решение

Определяем постоянную (индекс) помещения

$$i_{\text{п}} = \frac{A \cdot B}{h_{\text{р}} \cdot (A + B)} = \frac{18 \cdot 9}{3,2 \cdot (18 + 9)} = 1,88.$$

По прил. 14 определяем коэффициент использования светового потока, $U_{\text{оу}} = 64\%$.

Необходимый световой поток для создания освещенности пола $E_{\text{н}} = 30$ лк вычисляем по формуле

$$F_{\text{р}} = \frac{E_{\text{н}} \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{U_{\text{оу}}} = \frac{30 \cdot 18 \cdot 9 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,64} = 11694 \text{ лм.}$$

Определим требуемое количество источников света (ИС) при использовании ламп накаливания мощностью 100 Вт. Световой поток лампы Б215-225-100 составляет 1380 лм.

Количество ИС с лампами 100 Вт составит

$$n = F_{\text{р}} / F_{\text{л}} = 11694 / 1380 = 8,5,$$

округляем до большего четного значения для более удобного размещения светильников в плане помещения.

Располагаем светильники в два ряда равномерно по помещению, см. рис. 25.1.

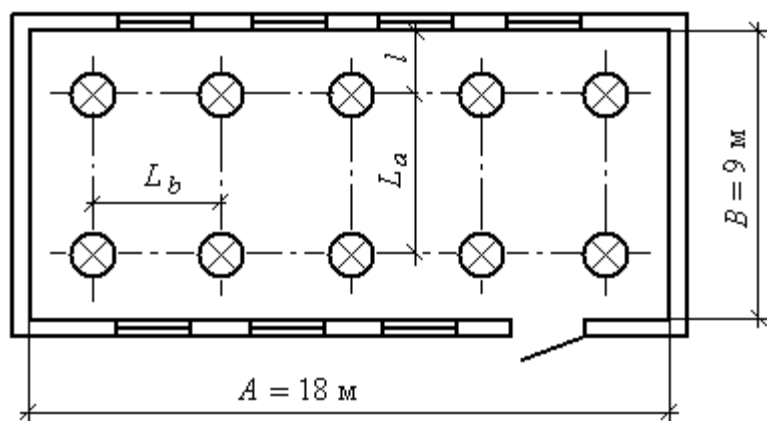


Рис. 25.1. Прямоугольное расположение светильников

Наивыгоднейшее расстояние L_a между рядами светильников (при больших размерах помещения – $A > 10$ м, $B > 8$ м) как при прямоугольном (рис. 25.1), так и при шахматном расположении (рис. 25.2) определяют из отношения

$$\lambda_c = \frac{L_a}{h_p},$$

где h_p – расстояние между светильниками и рабочей поверхностью.

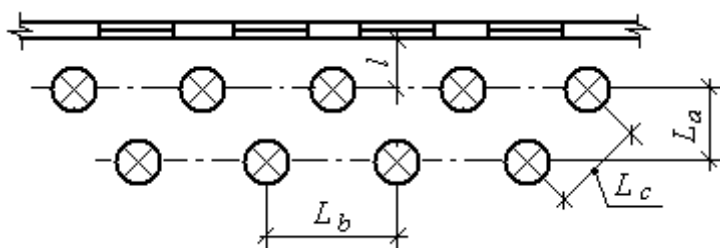


Рис. 25.2. Шахматное расположение светильников

Для равномерного светораспределения светильника $\lambda_c = 2$, для косинусного светораспределения также $\lambda_c = 2$, однако экономически выгодное светораспределение для равномерного $\lambda_c = 2,5$, для косинусного – $\lambda_c = 1,6$. Расстояние от стен принимают $l = (0,3 \dots 0,5)L_a$.

Поскольку светильник НСП21 имеет косинусную кривую светораспределения (КСС – Д),

$$L_a = \lambda_c \cdot h_p = 1,6 \cdot 3,2 = 5,12 \approx 5 \text{ м};$$

$$l = 0,4 \cdot L_a = 0,4 \cdot 5 = 2 \text{ м}.$$

Определяем расстояние между лампами в ряду:

$$L_b = \frac{A - 2 \cdot l}{n - 1} = \frac{18 - 2 \cdot 2}{5 - 1} = 3,5 \text{ м,}$$

где n – число ламп в ряду.

Фактическая освещенность помещения на уровне пола:

$$E_{\phi} = \frac{U_{oy} \cdot F_{л} \cdot n}{Z \cdot K_3 \cdot S} = \frac{0,64 \cdot 1380 \cdot 10}{1,1 \cdot 1,4 \cdot 18 \cdot 9} = 35,4 \text{ лк.}$$

Фактический уровень E_{ϕ} запроектированного освещения отличается от нормы на 18%, что соответствует нормам, так как допустимо отклонение (–10%...+20%) от $E_{н}$.

Задача 26

Светильниками СПК 3-10000 с ксеноновыми лампами нужно обеспечить освещенность $E = 5$ лк на открытой, не занятой составами, территории железнодорожной станции. Световые приборы устанавливаются на высоте $H = 30$ м. Определить наивыгоднейший угол наклона оптической оси светильников, используя кривые равной относительной освещенности, рис. 26.1.

Решение

Определяем необходимую относительную освещенность для обеспечения требуемой освещенности на территории железнодорожной станции

$$\varepsilon = E \cdot H^2 \cdot 10^{-3} = 5 \cdot 30^2 \cdot 10^{-3} = 4,5 \text{ клк} \cdot \text{м}^2.$$

Из кривых относительной освещенности (рис. 26.1) с использованием интерполяции находим при $\varepsilon = 4,5 \text{ клк} \cdot \text{м}^2$:

– для $\Theta = 20^\circ$ $x/H = 3,25$;

– для $\Theta = 30^\circ$ $x/H = 1,9$;

– для $\Theta = 40^\circ$ $x/H = 2,2$,

где x – расстояние по горизонтали от прожекторной мачты до точки, в которой создается требуемое значение освещенности.

Соответственно при $\Theta = 20^\circ$ $x = 97,5$ м; при $\Theta = 30^\circ$ $x = 57$ м; при $\Theta = 40^\circ$ $x = 63$ м.

Следовательно, наивыгоднейшим углом наклона является $\Theta = 20^\circ$, при котором нормированное значение освещенности обеспечивается на расстоянии около 100 м.

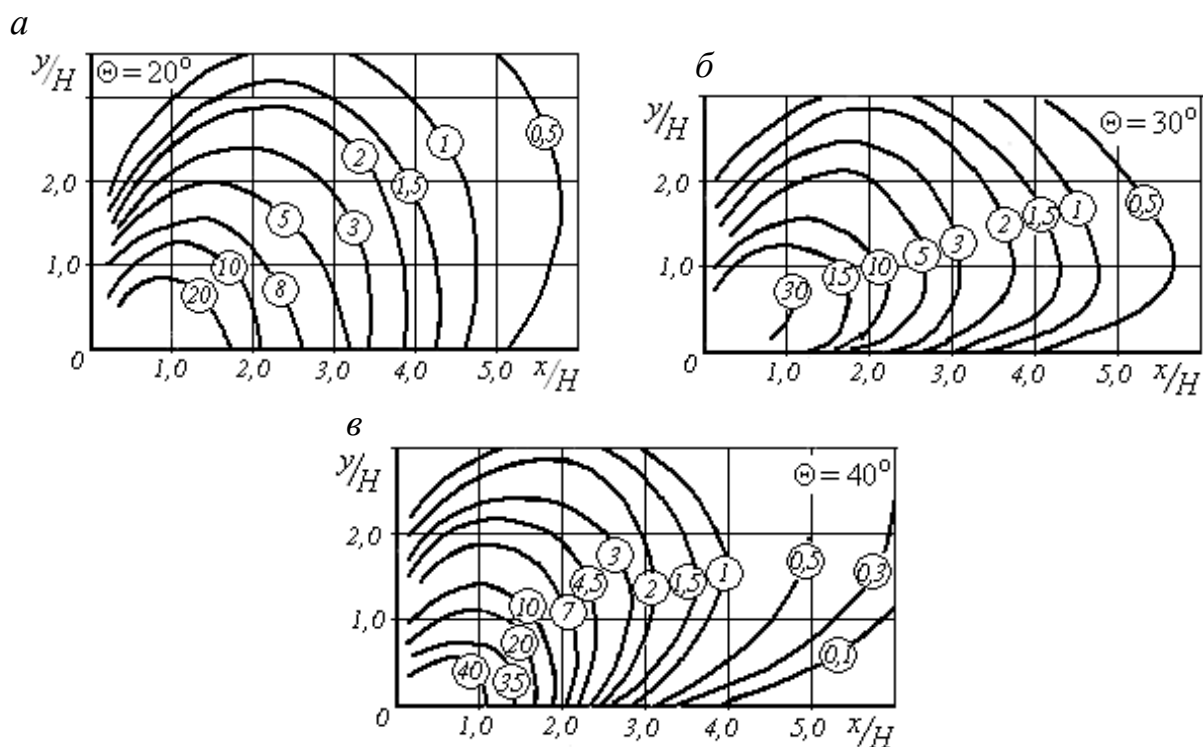


Рис. 26.1. Кривые равной относительной освещенности ($E \cdot H^2 \cdot 10^{-3}$, клк·м²) светильников СПК-3-10000 с различными углами наклона оптической оси

Задача 27

Определить число прожекторов ПЗР-400 с лампами ДРЛ400 мощностью 400 Вт, и их размещение – на мачтах для освещения площадки размером $S = 120 \times 90$ м². Минимальная освещенность площадки $E_n = 5$ лк. Световой поток лампы выбранного прожектора $F = 24000$ лм, КПД прожектора 45%, коэффициент запаса – $K_3 = 1,5$. Расчет произвести методом удельной мощности. Определить минимально допустимую высоту установки прожектора.

Решение

Определяем удельную мощность

$$W = m \cdot E_n \cdot K_3 = 0,12 \cdot 5 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ Вт/м}^2,$$

где m – коэффициент, зависящий от вида ламп, для прожекторов с лампами ДРЛ и галогенными лампами накаливания равен 0,12...0,16 Вт/лм.

Установленная мощность всех прожекторов

$$P_y = W \cdot S = 0,9 \cdot 120 \cdot 90 = 9720 \text{ Вт.}$$

Необходимое число прожекторов, шт:

$$N = P_y / P_{\text{л}} = 12150 / 400 = 30,4.$$

В качестве опорных конструкций приемлемыми являются железобетонные мачты высотой 15 м, которые размещаются по углам площадки. По конструктивным особенностям на каждой из мачт с одной стороны площадки может быть установлено не более 8 прожекторов. К установке принимаются 32 прожектора ПЗР с лампами ДРЛ 400(6), установленных на четырех мачтах высотой 15 м, по 8 прожекторов на каждой, всего 32 прожектора. Прожекторы на мачтах установить веером.

Минимально допустимая высота H_{min} установки прожектора определяется из условия ограничения слепящего действия по формуле

$$H_{\text{min}} = \sqrt{I_{\text{max}} / c} = \sqrt{19000 / 400} = 6,9 \text{ м},$$

где I_{max} – максимальная сила света прожектора, $I_{\text{max}} = 19000$ кд, прил. 16; c – коэффициент, зависящий от нормируемой освещенности, $c = 400$, табл. 26.1.

Таблица 26.1

Коэффициент c для расчета минимально допустимой высоты установки прожектора

Нормируемая освещенность $E_{\text{н}}$, лк	0,5	1,0	2,0	3,0	5,0	10	30	50
Значение коэффициента c	100	150	250	300	400	700	2100	3500
При одинаковом направлении осевых сил света нескольких световых приборов допустимые значения c , приведенные в таблице, следует разделить на число этих световых приборов.								

Выбранная высота $H = 15$ м мачт соответствует требованиям ограничения слепящего действия осветительной установки.

Задача 28

Рассчитать показатель ослепленности машиниста маневрового локомотива для условий: минимальная (или нормированная) освещенность на поверхности междупутья $E = 5$ лк, угол направления максимальной силы света $\alpha = 70^\circ$, максимальная сила света светильника $I_{\text{max}} = 19000$ кд. Высота установки светильника над уровнем головки рельса $H = 15$ м.

Решение

Угол действия блестящего источника, рис. 28.1:

$$\Theta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 70 = 20,$$

где α – направление максимальной силы света светильника, град.

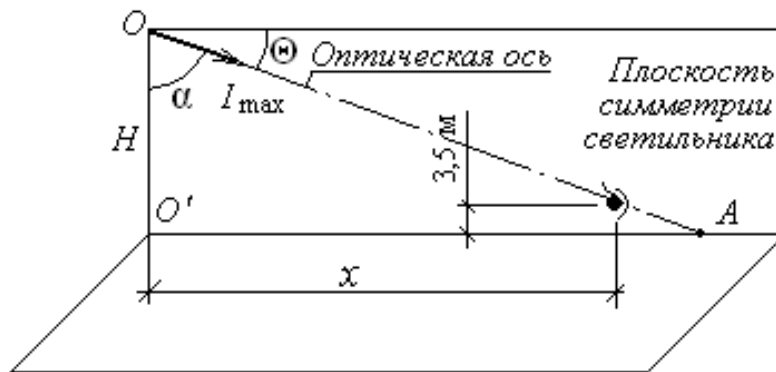


Рис. 28.1. Схема к расчету ослепленности

Расстояние по горизонтали от светильника вдоль оси междупутья до точки, в которой сила света максимальна, на уровне глаз машиниста над уровнем головки рельса:

$$x = (H - 3,5) \cdot \operatorname{tg} \alpha = (15 - 3,5) \cdot \operatorname{tg} 70^\circ = 31,6.$$

Освещенность на зрачке машиниста можно рассчитать, пользуясь кривой силы света светильника, по уравнению

$$E_{\text{зр}} = \frac{I_{\text{max}} \cdot \sin^3 \alpha}{x^2} = \frac{19000 \cdot \sin^3 70}{31,6^2} = 15,8 \text{ лк.}$$

Яркость фона

$$L_{\text{ф}} = \frac{E \cdot \rho}{\pi} = 0,032 \cdot E = 0,032 \cdot 5 = 0,16,$$

где E – минимальная (или нормированная) освещенность на поверхности междупутья, которую обеспечивает осветительная установка; ρ – коэффициент отражения поверхности междупутья (принимают равным 0,1); $\pi = 3,14$.

Показатель ослепленности P :

$$\begin{aligned} P &= [(1 + 0,45 E_{\text{зр}} / \Theta^2 L_{\text{ф}})^{0,5} - 1] \cdot 1000 = \\ &= [(1 + 0,45 \cdot 15,8 / 20^2 \cdot 0,16)^{0,5} - 1] \cdot 1000 = 54. \end{aligned}$$

Допустимый уровень показателя ослепленности $P_{\text{доп}} = 800 > P = 54$, светильники размещены верно, на допустимой высоте.

5. ШУМ

Задача 29

Определить уровень звукового давления, создаваемого железнодорожными составами на границе жилой застройки, при следующих условиях. Расстояние от оси колеи до границы жилой застройки $L = 400$ м. Интенсивность движения пассажирских поездов – 3 пары в час со скоростью 60 км/ч, электропоездов – 2 пары в час со скоростью 55 км/ч, грузовых поездов – 10 пар в час со скоростью 80 км/ч. Движение поездов – круглосуточное, железная дорога имеет два пути.

При превышении нормативного уровня шума определить ширину полосы зеленых насаждений между линией железной дороги и жилой застройкой для снижения уровня звука.

Решение

Уровень звука L_A , дБА, в расчетной точке на территории защищаемого от шума объекта определяют по формуле [16]:

$$L_A = L_{\text{экв}} - L_{\text{рас}} - L_{\text{зел}},$$

где $L_{\text{экв}}$ – шумовая характеристика источника шума, дБА; $L_{\text{рас}}$ – снижение уровня звука в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой, дБА; $L_{\text{зел}}$ – снижение уровня звука зелеными насаждениями, дБА.

Уровень звука L_A в расчетной точке должен соответствовать требованиям СН 2.2.4/2.1.8.562–96 [17], а именно в период с 7 до 23 ч – не выше 55 дБА, в период с 23 до 7 ч – не выше 45 дБА. Поскольку железнодорожные составы движутся круглосуточно, принимаем для расчетной точки за предельно-допустимый уровень шума $L_{A \text{ ПДК}} = 45$ дБА.

Шумовые характеристики источников шума принимаем по СНиП [16], см. прил. 17, 18.

На расстоянии $l = 7,5$ м от оси колеи, ближней к расчетной точке, с учетом поправки на скорость к эквивалентному уровню звука пассажирские поезда при интенсивности движения 3 пары в час создают эквивалентный уровень звука, равный 71 дБА, электропоезда 2 пары в час – 74 дБА, грузовые поезда при интенсивности движения – 10 пар в час – 87 дБА.

Поскольку составы проходят последовательно друг за другом, к расчету принимаем уровень шума, создаваемый грузовыми составами, $L_{\text{экв}} = 87$ дБА.

Расстояние между точкой, для которой в прил. 16 приведен эквивалентный уровень шума от состава, и границей жилой зоны:

$$L_{\text{расч}} = L - l = 400 - 7,5 = 392,5 \text{ м.}$$

Снижение уровня звука в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой определяем по рис. 29.1, $L_{\text{рас}} = 26$ дБА.

Уровень звука L_A , дБА, на границе жилой зоны при отсутствии защитных зеленых насаждений:

$$L_A = L_{\text{экв}} - L_{\text{рас}} = 87 - 26 = 61 \text{ дБА.}$$

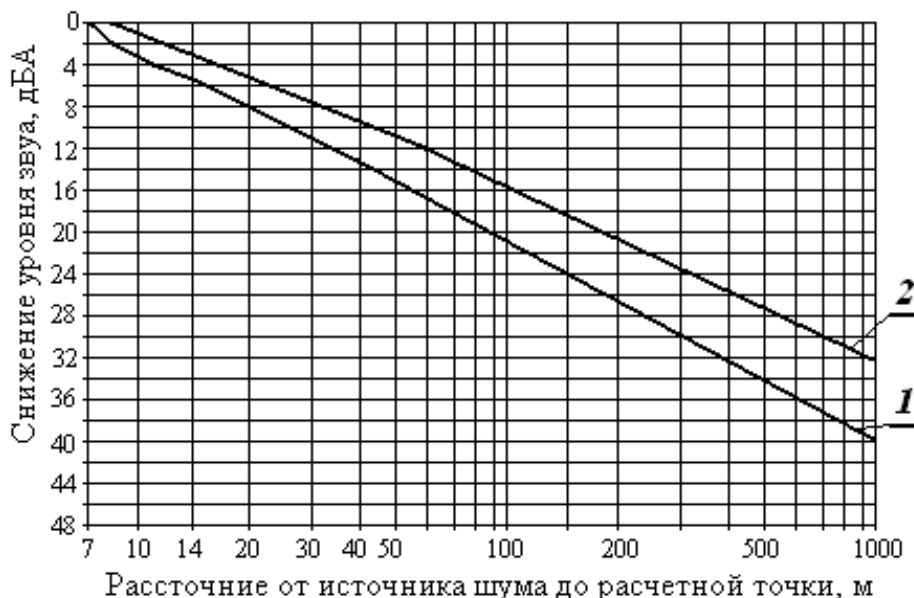


Рис. 29.1. График для определения снижения уровня звука в зависимости от расстояния между источником шума и расчетной точкой:

- 1 – источники шума внутри групп жилых домов, трансформаторы;
- 2 – транспортные потоки, железнодорожные поезда

Превышение уровня звука над нормативным уровнем

$$\Delta L = L_A - L_{A \text{ ПДК}} = 61 - 45 = 16 \text{ дБА,}$$

которые необходимо погасить полосой зеленых насаждений из пород быстрорастущих деревьев и кустарников, устойчивых к условиям воздушной среды и произрастающих в соответствующей климатической зоне, прил. 19.

Достаточно будет четыре однорядных полосы зеленых насаждений шириной 10 м каждая при шахматной посадке деревьев внутри полосы, расстояние между рядами 3 м, общая ширина лесополосы $10 + 3 + 10 + 3 + 10 + 3 + 10 = 49$ м. Высота деревьев должна быть не менее 5–8 м.

Задача 30

Рассчитать эквивалентный уровень звука методом использования поправок на время действия каждого уровня звука для условий, когда уровни шума за

8-часовую рабочую смену составляли $L_1 = 80$, $L_2 = 86$, $L_3 = 94$ дБА в течение 5, 2 и 1 ч соответственно.

Решение

Расчет производим следующим образом. К каждому измеренному уровню звука добавляется (с учетом знака) поправка по табл. 30.1, соответствующая времени его действия (в часах или процентах от длительности смены).

Таблица 30.1

Поправка к расчету эквивалентного уровня звука

Время	ч	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5	15 мин	5 мин
	%	100	88	75	62	50	38	25	12	6	3	1
Поправка в дБ		0	-0,6	-1,2	-2	-3	-4,2	-6	-9	-12	-15	-20

Этим промежуткам времени соответствуют поправки по табл. 30.1, равные $\Delta L_1 = -2$, $\Delta L_2 = -6$, $\Delta L_3 = -9$ дБ. Складывая их с уровнями шума, получаем $L_{\text{экв1}} = L_1 - 2 = 78$, $L_{\text{экв2}} = L_2 - 6 = 80$, $L_{\text{экв3}} = L_3 - 9 = 85$ дБА.

Затем полученные уровни звука складываются попарно последовательно с учетом разности двух уровней с использованием табл. 30.2.

Таблица 30.2

Добавка уровня звука при определении среднего уровня звука

Разность слагаемых уровней $L_1 - L_2$, дБ ($L_1 \geq L_2$)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Добавка ΔL , прибавляемая к большему из уровней L_i , дБ	3	2,5	2,2	1,8	1,5	1,2	1	0,8	0,6	0,4

Для уровней 78 и 80 дБА разность составляет 2 дБА, поправка 2,2 дБА, которую добавляем к большему уровню, т. е. уровень $L_{1,2} = 80 + 2,2 = 82,2$ дБА. Полученный уровень звука $L_{1,2}$ суммируем с $L_{\text{экв3}}$, разность между ними $85 - 82,2 = 2,8$, соответственно, добавка к большему уровню 1,9 дБА. Уровень звука $L_{1,2,3} = 85 + 1,9 = 86,9 \approx 87$ дБА.

Таким образом, воздействие шумов, приведенных в условии задачи, равносильно действию шума с постоянным уровнем 87 дБА в течение 8 ч.

Задача 31

Рассчитать уровень звукового давления постоянного шума в точке C на поверхности ограждающей конструкции от двух точечных источников, один из которых расположен в точке A на расстоянии 30 м и создает уровень звука 85 дБА, другой – в точке B на расстоянии 50 м и создает уровень звука 90 дБА. Источники расположены на поверхности земли, на промышленной площадке.

Решение

Октавные уровни звукового давления L в дБ в расчетных точках, если источник шума и расчетные точки расположены на территории жилой застройки или на площадке предприятия, следует определить по формуле

$$L = L_p - 15 \cdot \lg r + 10 \cdot \lg \Phi - \frac{\beta_a r}{1000} - 10 \cdot \lg \Omega, \text{ дБ},$$

где L_p – октавный уровень звуковой мощности в дБ источника шума; Φ – фактор направленности источника шума, безразмерный, определяется по опытным данным (для источников шума с равномерным излучением звука $\Phi = 1$); r – расстояние в м от источника шума до расчетной точки; β_a – затухание звука в атмосфере в дБ/км, принимаемое по прил. 20 (при расстояниях $r \leq 50$ м затухание звука в атмосфере в расчетах не учитывается); Ω – пространственный угол излучения звука, принимаемый для источников шума, расположенных:

- в пространстве (на мачте, на трубе) – $\Omega = 4\pi$;
- на поверхности территории, на земле или на ограждающих конструкциях зданий и сооружений – $\Omega = 2\pi$;
- в двухгранном углу, образованном ограждающими конструкциями зданий и сооружений или ограждающими конструкциями зданий и поверхностью земли, – $\Omega = \pi$.

Ожидаемый уровень шума в точке C от источника, расположенного в точке A :

$$L_{CA} = 85 - 15 \lg 30 + 10 \lg 1 - 10 \lg 2\pi = 85 - 15 \cdot 1,477 - 10 \cdot 0,798 = 54,9 \text{ дБА},$$

от источника, расположенного в точке B :

$$L_{CB} = 90 - 15 \lg 50 + 10 \lg 1 - 10 \lg 2\pi = 90 - 15 \cdot 1,699 - 10 \cdot 0,798 = 56,5 \text{ дБА}.$$

Уровень шума в точке C , создаваемый двумя источниками, расположенными в точках A и B :

$$L_{C(A+B)} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i} = 10 \lg [10^{0,1 \cdot 54,9} + 10^{0,1 \cdot 56,5}] = 58,8 \approx 59 \text{ дБА}.$$

Задача 32

Определить среднюю звукоизолирующую способность перегородки с окном на частоте 1000 Гц. Перегородка, размер которой $S_{\Pi} = 3 \times 2,5 \text{ м}^2$, на этой частоте имеет звукоизолирующую способность $R_c = 40$ дБА. Окно с размерами $S_o = 1 \times 1,2 \text{ м}^2$, установленное в перегородке, выполнено из силикатного стекла толщиной 4 мм и имеет звукоизолирующую способность $R_o = 29$ дБА.

Решение

Среднюю звукоизолирующую способность сложного ограждения определяют по формуле

$$R_{\text{ср}} = 10 \cdot \lg \frac{\sum_{k=1}^m S_k}{\sum_{k=1}^m S_k \cdot 10^{-0,1 \cdot R_k}},$$

где S_k – площадь отдельного элемента сложного ограждения (глухой части стены, окна или др.), м^2 ; R_k – звукоизолирующая способность этого элемента, дБ.

Площадь глухой части перегородки, м^2 :

$$S_{\text{п.гл}} = S_{\text{п}} - S_{\text{о}} = 3 \cdot 2,5 - 1 \cdot 1,2 = 6,3.$$

Средняя звукоизолирующая способность перегородки с окном, дБ:

$$R_{\text{ср}} = 10 \cdot \lg \frac{[6,3 + 1,2]}{[6,3 \cdot 10^{-0,1 \cdot 40} + 1,2 \cdot 10^{-0,1 \cdot 29}]} = 35,4.$$

Задача 33

Помещение ткацкого цеха в плане представляет собой правильный прямоугольник длиной 55 м и шириной 20 м. Высота помещения 3,5 м. Объем цеха 3850 м^3 , площади ограждающих поверхностей: стен – 525 м^2 , потолка 1100 м^2 , пола 1100 м^2 (общая площадь поверхностей 2725 м^2).

Спектр уровня звукового давления в расчетной точке, находящейся в зоне отраженного звука, представлен в табл. 33.1.

Рассчитать акустическую обработку помещения.

Таблица 33.1

Спектр уровня звукового давления в расчетной точке

Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Эквивалентный уровень звука, дБА
Уровень звукового давления до акустической обработки помещения, дБ	88	88	90	92	96	91	87	83	98,7
Нормативный уровень звукового давления	95	87	82	78	75	73	71	69	80

Решение

Анализ спектра уровней звукового давления показывает, что конструкция звукопоглощающей облицовки должна иметь высокий коэффициент звукопо-

глощения в области частот 250–8000 Гц. Такими свойствами обладает конструкция № 25 из прил. 2 к СНиП II-12–77 [16], см. табл. 33.2.

Таблица 33.2

Характеристика звукопоглощающей конструкции

Конструкция	Средняя плотность звукопоглощающего материала, кг/м ³	Толщина звукопоглощающего материала, мм	Воздушный промежуток, мм	Реверберационный коэффициент звукопоглощения $\alpha_{обл}$ в октавных полосах со среднегеометрической частотой в Гц							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1-супертонкое волокно (ТУ 21-01-224–69); 2-стеклоткань типа Э-01 (ГОСТ 19907–74*); 3-просечно-вытяжной лист толщиной 2 мм, перфорация 74% (ГОСТ 8706–58)	15	100	0	0,15	0,47	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95

Определяем акустическую постоянную помещения V_{1000} на частоте 1000 Гц, по табл. 33.3.

Таблица 33.3

Постоянная помещения V_{1000}

Тип помещения	Описание помещения	Постоянная помещения $V_{1000}, \text{м}^2$
1	С небольшим количеством людей (металлообрабатывающие цехи, вентиляционные камеры, генераторные, машинные залы, испытательные стенды)	$V/20$
2	С жесткой мебелью и большим количеством людей, или с небольшим количеством людей и мягкой мебелью (лаборатории, ткацкие и деревообрабатывающие цехи, кабинеты и т.п.)	$V/10$
3	С большим количеством людей мягкой мебелью (рабочие помещения зданий управлений, залы конструкторских бюро, аудитории учебных заведений, залы ресторанов, торговые залы магазинов, залы ожидания аэропортов и вокзалов, номера гостиниц, классные помещения в школах, читальные залы библиотек, жилые помещения и т. п.)	$V/6$
4	Помещения со звукопоглощающей облицовкой потолка и части стен	$V/1,5$

$$V_{1000} = V/10 = 3850 / 10 = 385, \text{м}^2.$$

Для определения постоянной помещения по частотам используем частотный множитель μ , значение которого см. в табл. 33.4.

Таблица 33.4

Частотный множитель μ

Объем помещения, $V, \text{ м}^3$	Среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$V < 200$	0,8	0,75	0,7	0,8	1	1,4	1,8	2,5
$V = 200-1000$	0,65	0,62	0,64	0,75	1	1,5	2,4	4,2
$V > 1000$	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6

Дальнейший расчет сведем в табл. 33.5.

Таблица 33.5

Расчет звукопоглощения при устройстве звукопоглощающей облицовки потолка

№ п/п	Показатели	Значения показателей							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2	Постоянная помещения $B_{1000}, \text{ м}^2$					385			
3	Частотный множитель μ , табл. 33.4	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
4	Постоянная помещения по частотам $B = B_{1000} \cdot \mu, \text{ м}^2$	192,5	192,5	211,8	269,5	385	616	1155	2310
5	Общая площадь ограждающих поверхностей $S, \text{ м}^2$	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725
6	Эквивалентный коэффициент звукопоглощения до акустической обработки $\bar{\alpha} = \frac{B}{B + S}$	0,066	0,066	0,072	0,090	0,124	0,184	0,298	0,459
7	Эквивалентная площадь звукопоглощения $A = \frac{B \cdot S}{B + S}, \text{ м}^2$	180	180	196,2	245,2	337,9	501,4	812	1250
8	Реверберационный коэффициент звукопоглощения $\alpha_{\text{обл}}$ выбранной облицовки, табл. 33.2	0,15	0,47	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95
9	Площадь облицовки (потолок) $S_{\text{обл}}, \text{ м}^2$	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100
10	Эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой $A_1 = \bar{\alpha} \cdot (S - S_{\text{обл}}), \text{ м}^2$	107,2	107,2	117	146,2	201,5	299	484,2	745,9
11	Величина добавочного поглощения	165	517	1100	1100	1100	1100	1100	1045

№ п/п	Показатели	Значения показателей							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	2								
	$\Delta A = \alpha_{\text{обл}} \cdot S_{\text{обл}}, \text{ м}^2$								
12	Средний коэффициент звукопоглощения после акустической обработки $\bar{\alpha}_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S}$	0,10	0,23	0,45	0,46	0,48	0,51	0,58	0,66
13	Постоянная помещения после акустической обработки $B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{(1 - \bar{\alpha}_1)}, \text{ м}^2$	302,4	810,6	2213	2308	2503	2855	3772	5267
14	Снижение уровня звукового давления $\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B}, \text{ дБ}$	2,0	6,2	10,2	9,3	8,1	6,7	5,1	3,6
15	Уровень звукового давления до звукопоглощающей облицовки по- мещения, $L_{\text{н}}, \text{ дБ}$	88	88	90	92	96	91	87	83
16	Уровень звукового давления после об- лицовки $L = L_{\text{н}} - \Delta L, \text{ дБ}$	86	81,8	79,2	82,7	87,9	84,3	81,9	79,4
17	Нормативный уровень звукового дав- ления	95	87	82	78	75	73	71	69

Таблица 33.6

Расчет звукопоглощения при устройстве звукопоглощающей
облицовки потолка и стен

№ п/п	Показатели	Значения показателей							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	2								
1	Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2	Постоянная помещения $B_{1000}, \text{ м}^2$					385			
3	Частотный множитель μ , табл. 33.4	0,5	0,5	0,55	0,7	1	1,6	3	6
4	Постоянная помещения по частотам $B = B_{1000} \cdot \mu, \text{ м}^2$	192,5	192,5	211,8	269,5	385	616	1155	2310
5	Общая площадь ограждающих поверхностей $S, \text{ м}^2$	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725	2725
6	Эквивалентный коэффициент звукопоглощения до акустической обработки $\bar{\alpha} = \frac{B}{B + S}$	0,066	0,066	0,072	0,090	0,124	0,184	0,298	0,459
7	Эквивалентная площадь звукопоглощения								

№ п/п	Показатели	Значения показателей							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	$A = \frac{B \cdot S}{B + S}, \text{ м}^2$	180	180	196,2	245,2	337,9	501,4	812	1250
8	Реверберационный коэффициент звукопоглощения $\alpha_{\text{обл}}$ выбранной облицовки, табл. 33.2	0,15	0,47	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,95
9	Площадь облицовки (потолок + стены) $S_{\text{обл}}, \text{ м}^2$	1625	1625	1625	1625	1625	1625	1625	1625
10	Эквивалентная площадь звукопоглощения поверхностями, не занятыми звукопоглощающей облицовкой $A_1 = \bar{\alpha} \cdot (S - S_{\text{обл}}), \text{ м}^2$	72,6	72,6	79,2	99	136,4	202,4	327,8	504,9
11	Величина добавочного поглощения $\Delta A = \alpha_{\text{обл}} \cdot S_{\text{обл}}, \text{ м}^2$	243,8	763,8	1625	1625	1625	1625	1625	1544
12	Средний коэффициент звукопоглощения после акустической обработки $\bar{\alpha}_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{S}$	0,116	0,307	0,625	0,633	0,646	0,671	0,717	0,752
13	Постоянная помещения после акустической обработки $B_1 = \frac{A_1 + \Delta A}{(1 - \bar{\alpha}_1)}, \text{ м}^2$	357,9	1207	4545	4698	4976	5554	6900	8262
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14	Снижение уровня звукового давления $\Delta L = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B}, \text{ дБ}$	2,7	8,0	13,3	12,4	11,1	9,6	7,8	5,5
15	Уровень звукового давления до звукопоглощающей облицовки помещения, $L_{\text{н}}, \text{ дБ}$	88	88	90	92	96	91	87	83
16	Уровень звукового давления после облицовки $L = L_{\text{н}} - \Delta L, \text{ дБ}$	85,3	80	76,7	79,6	84,9	81,4	79,2	77,5
17	Нормативный уровень звукового давления	95	87	82	78	75	73	71	69

Рассчитаем эквивалентный уровень звукового давления в помещении ткацкого цеха до проведения мероприятий по снижению шума и после. Расчет сведем в табл. 33.7.

Эквивалентный уровень звукового давления, $L_{\text{экв}}$, в помещении определяем по формуле

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i}, \text{ дБА},$$

где L_i – уровень звукового давления при i -той частоте.

Таблица 33.7

Расчет эквивалентного уровня звукового давления

№ п/п	Показатели	Значения показателей							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2	Уровень звукового давления до звукопоглощающей облицовки помещения, L_n , дБ	88	88	90	92	96	91	87	83
3	Уровень звукового давления после облицовки потолка, $L_{\text{п}}$, дБ	86	81,8	79,2	82,7	87,9	84,3	81,9	79,4
4	Уровень звукового давления после облицовки потолка и стен, $L_{\text{пс}}$, дБ	85,3	80	76,7	79,6	84,9	81,4	79,2	77,5
5	Стандартная частотная характеристика шкалы А шумомера, Δ , дБ	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1	-1,1
6	Спектральные составляющие уровня шума, дБА:								
	– до облицовки помещения, $L_n + \Delta$, дБ	61,8	71,9	81,4	88,8	96	92,2	88	81,9
	– после облицовки потолка, $L_{\text{п}} + \Delta$, дБ	59,8	65,7	70,6	79,5	87,9	85,5	82,9	78,3
	– после облицовки потолка и стен $L_{\text{пс}} + \Delta$, дБ	59,1	63,9	68,1	76,4	84,9	82,6	80,2	76,4

Эквивалентный уровень звукового давления в помещении ткацкого цеха:

– до акустической обработки помещения

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \cdot \lg [10^{0,1 \cdot 61,8} + 10^{0,1 \cdot 71,9} + 10^{0,1 \cdot 81,4} + 10^{0,1 \cdot 88,8} + 10^{0,1 \cdot 96} + 10^{0,1 \cdot 92,2} + 10^{0,1 \cdot 88} + 10^{0,1 \cdot 81,9}] = 98,7 \text{ дБА};$$

– после акустической обработки потолка

$$L_{\text{ЭКВ}} = 10 \cdot \lg [10^{0,1 \cdot 59,8} + 10^{0,1 \cdot 65,7} + 10^{0,1 \cdot 70,6} + 10^{0,1 \cdot 79,5} + 10^{0,1 \cdot 87,9} + 10^{0,1 \cdot 85,5} + 10^{0,1 \cdot 82,9} + 10^{0,1 \cdot 78,3}] = 91,3 \text{ дБА};$$

– после акустической обработки потолка и стен

$$L_{\text{экв}} = 10 \cdot \lg [10^{0,1 \cdot 59,1} + 10^{0,1 \cdot 63,9} + 10^{0,1 \cdot 68,1} + 10^{0,1 \cdot 76,4} + 10^{0,1 \cdot 84,9} + 10^{0,1 \cdot 82,6} + 10^{0,1 \cdot 80,2} + 10^{0,1 \cdot 76,4}] = 88,4 \text{ дБА},$$

из чего следует, что с увеличением площади звукопоглощающей облицовки уровень звукового давления в помещении снижается. Однако пропорционального снижения уровня шума увеличению площади облицовки не наблюдается.

Задача 34

Рассчитать звукоизолирующий кожух для привода виброплощадки. Октавный уровень звукового давления в расчетной точке, полученный по результатам измерения, приведен в табл. 34.1.

Таблица 34.1

Октавный уровень звукового давления в расчетной точке до устройства звукоизолирующего кожуха

Показатели	Значения показателей							
Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Уровень звукового давления при отсутствии звукоизолирующего кожуха L_n , дБ,	102	96	94	85	82	79	78	72

Применим кожух в виде плоских поверхностей, состоящий из металлического каркаса из листовой стали толщиной $h = 1,5$ мм и ребер жесткости из угловой стали 25×25 . Снаружи кожух покрываем вибродемпфирующей мастикой марки Антивибрит-2 или пластиком № 378, или линолеумом негорящим НЛ толщиной 2–3 мм. Изнутри кожух облицовываем звукопоглощающим материалом толщиной до 30 мм, например, матами из сверхтонкого стекловолокна или оболочками из стеклоткани, или любым другим пористым материалом с аналогичными звукопоглощающими свойствами. Конструкцию кожуха устанавливаем на виброизолирующие прокладки, снижающие вибрацию кожуха, и, следовательно, уменьшающие шум (рис. 34.1).

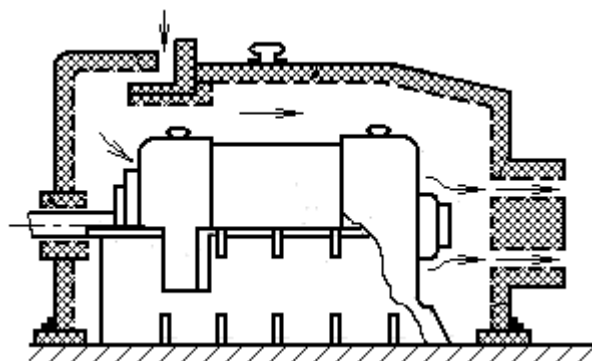


Рис. 34.1. Звукоизолирующий кожух

Определяем требуемую частотную характеристику изоляции воздушного шума стенками кожуха в октавных полосах по формуле

$$R_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}} - 10 \lg \alpha + 5 \text{ дБ},$$

где L – октавный уровень звукового давления в расчетной точке, получен по результатам измерений шума, дБ; $L_{\text{доп}}$ – допустимый октавный уровень звукового давления на рабочих местах по СН 2.2.4/2.1.8–562 [17]; α – реверберационный коэффициент звукопоглощения внутренней облицовки кожуха, определяемый по табл. 1 прил. 2 СНиП II-12–77 «Защита от шума» [16].

Результаты вычислений сведем в табл. 34.2.

Таблица 34.2

Октавный уровень звукового давления в расчетной точке до устройства звукоизолирующего кожуха

№ п/п	Показатели	Значения показателей							
		3	4	5	6	7	8	9	10
1	2	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
1	Среднегеометрическая частота, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
2	Уровень звукового давления при отсутствии звукоизолирующего кожуха $L_{\text{н}}$, дБ,	102	96	94	85	82	79	78	72
3	Допустимый уровень звукового давления $L_{\text{доп}}$ по [14]	95	87	82	78	75	73	71	69
4	Реверберационный коэффициент α	0,1	0,4	0,85	0,98	1,0	0,93	0,97	1,0
5	$10 \lg \alpha$	-10	-4	-0,7	-0,09	0	-0,3	-0,13	0
6	$R_{\text{тр}} = L - L_{\text{доп}} - 10 \lg \alpha + 5 \text{ дБ}$	22	18	17,7	12,08	12	11,3	12,13	5

Частотную характеристику звукоизоляции выбранного кожуха от воздушного шума определяем графически по методике из СНиП II-12–77 [16], рис. 34.2.

Частотная характеристика звукоизоляции однослойных ограждений для некоторых материалов приведена в табл. 34.3.

Таблица 34.3

Частотная характеристика звукоизоляции однослойных ограждений

Материал	f_B	f_C	R_B	R_C
Сталь	6000/ h	12000/ h	39	31
Алюминиевые сплавы	6000/ h	12000/ h	32	22
Стекло	6000/ h	12000/ h	35	29
Стекло органическое	17000/ h	34000/ h	37	30
Асбоцементные листы	17000/ h	22000/ h	36	30

h – толщина каркаса кожуха без учета ребер жесткости, мм

Частотную характеристику звукоизоляции однослойных ограждающих конструкций из металла, стекла, сухой штукатурки определяют графическим способом. Частотная характеристика звукоизоляции кожуха $R_{\text{кож}}$ представлена в виде ломаной линии $ABCD$, рис. 34.2.

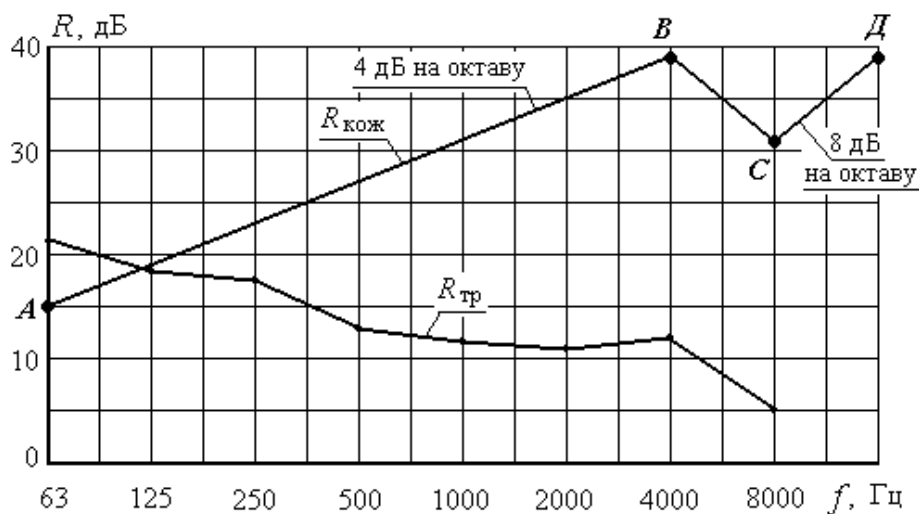


Рис. 34.2. Схема графического построения кривой фактической звукоизоляции кожуха $R_{\text{кож}}$ и график требуемой звукоизоляции $R_{\text{гр}}$

Определяем координаты точек B и C , затем от них строим прямые BA и CD . Точки B и C соединяются прямой линией.

Наклон отрезка BA на графике, рис. 34.2, следует принимать равным 5 дБ на каждую октаву для глухих однослойных ограждений из силикатного и органического стекла и 4 дБ на каждую октаву для ограждений, выполненных из других материалов. Наклон отрезка CO составляет 8 дБ на каждую октаву.

Определяем абсциссы точек B и C :

$$f_B = 6000 / h = 6000 / 1,5 = 4000 \text{ Гц};$$

$$f_C = 12000 / h = 12000 / 1,5 = 8000 \text{ Гц}.$$

По табл. 34.3 принимаем ординаты точек B и C : $R_C = 31$ дБ, $R_B = 39$ дБ. Зная правило построения отрезков BA и CD , строим фактическую характеристику изоляции $R_{\text{кож}}$ от воздушного шума металлическим кожухом с толщиной стенки в 1,5 мм.

Как видно из рис. 34.2, фактическая звукоизоляция кожуха на всех частотах, за исключением частоты 63 Гц, больше, чем требуемая по нормам.

В конструкции кожуха предусмотрены вентиляционные каналы, облицованные пористым материалом толщиной не менее 50 мм.

6. ВИБРАЦИЯ

Задача 35

Дизель-генератор массой $m = 2000$ кг установлен на шести резинометаллических амортизаторах с суммарной жесткостью $k_{\text{ж}} = 18 \cdot 10^5$ Н/м. Частота вращения вала $n = 750$ мин⁻¹. Определить допустимость вибрации в соответствии с нормами.

Решение

Круговая частота ω вынужденных колебаний:

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot \frac{n}{60} = 2\pi \cdot \frac{750}{60} = 78,5 \text{ Гц.}$$

Статическая осадка амортизаторов:

$$Z_{\text{ст}} = \frac{mg}{k_{\text{ж}}} = \frac{2000 \cdot 9,81}{18 \cdot 10^5} \approx 0,011 \text{ м.}$$

Круговая частота собственных колебаний:

$$\omega_0 = 2\pi \cdot 0,5 / \sqrt{Z_{\text{ст}}} = 2\pi \cdot 0,5 / \sqrt{0,011} \approx 30 \text{ Гц.}$$

Полагая, что $\sin \omega t = 1$, определяем максимальную амплитуду колебаний

$$Z = Z_{\text{ст}} \left(\frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} \right) = 0,011 \left(\frac{1}{1 - \frac{78,5^2}{30^2}} \right) \approx 0,0019 \text{ м.}$$

Частота вынужденных колебаний

$$f = \omega / 2\pi = 78,5 / 2\pi = 12,5 \text{ Гц.}$$

Определяем, к какой октавной полосе ($f_{\text{ср.г}} = 1; 2; 4; 8; 16; 31,5; 63$ Гц) относится частота 12,5 Гц. Принимаем, что $f_{\text{ср.г}} = 16$ Гц. При этом нижняя граница выбранной октавной полосы

$$f_1 = \frac{f_{\text{ср.г}}}{1,41} = \frac{16}{1,41} \approx 11,3;$$

верхняя граница той же октавной полосы

$$f_2 = 2 \cdot f_1 = 2 \cdot 11,3 = 22,6,$$

из чего следует, что октавная полоса выбрана верно. Сравнительную оценку вибрации ведем для среднегеометрической частоты $f_{\text{ср.г}} = 16$ Гц.

Определяем виброскорость

$$V = 2\pi \cdot f \cdot Z = 2\pi \cdot 12,5 \cdot 0,0019 \approx 0,149 \text{ м/с};$$

и виброускорение

$$a = (2\pi \cdot f)^2 \cdot Z = (2\pi \cdot 12,5)^2 \cdot 0,0019 \approx 11,72 \text{ м/с}^2.$$

Логарифмический уровень виброскорости

$$L_V = 20 \cdot \lg \frac{V}{5 \cdot 10^{-8}} = 20 \cdot \lg \frac{0,149}{5 \cdot 10^{-8}} \approx 129 \text{ дБ};$$

логарифмический уровень виброускорения

$$L_a = 20 \cdot \lg \frac{a}{1 \cdot 10^{-6}} = 20 \cdot \lg \frac{11,72}{1 \cdot 10^{-6}} \approx 141 \text{ дБ}.$$

Допустимая величина технологической вибрации для октавной полосы со среднегеометрической частотой $f_{\text{ср.г}} = 16$ Гц в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96 [18] составляет по виброскорости 92 дБ, по виброускорению 106 дБ.

Вибрация дизель-генератора превышает допустимые значения по виброскорости на $129 - 92 = 37$ дБ, по виброускорению на $141 - 106 = 35$ дБ.

Задача 36

По дороге с характерным размером неровностей $l = 0,5$ м по всей ее длине движется автомобиль. Скорость движения автомобиля с учетом достаточно неровной дороги будет составлять $V = 50$ км/ч (13,8 м/с). Вес водителя $m_1 = 70$ кг, вес сиденья $m_2 = 15$ кг. Оценить жесткость упругого элемента виброизоляции рабочего места водителя, необходимую для обеспечения эффективной виброзащиты. Потерями на трение пренебречь.

Решение

Частота вынужденных колебаний, действующих на кресло водителя,

$$f = V / l = 13,8 / 0,5 \approx 28 \text{ Гц} .$$

Круговая частота вынужденных колебаний

$$\omega = 2\pi \cdot f = 2\pi \cdot 28 = 176 \text{ Гц.}$$

При отсутствии демпфирования виброизоляция эффективна в полосе частот

$$\omega > \sqrt{2\omega_0^2}, \quad (*)$$

где ω_0 – круговая частота собственных колебаний кресла с водителем на упругом элементе виброизоляции.

Из (*) круговая частота собственных колебаний кресла с водителем на упругом элементе виброизоляции должна соответствовать

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 / 2},$$

т. е. для условий задачи должно выполняться неравенство

$$\omega_0 < \sqrt{176^2 / 2} \approx 124 \text{ Гц.}$$

Частота собственных колебаний груза весом $m = (m_1 + m_2)$ на пружине жесткостью $k_{\text{ж}}$ должна соответствовать выражению

$$\omega_0 = \sqrt{k_{\text{ж}} / m} < 124,$$

из которого следует, что коэффициент жесткости упругого элемента виброизоляции для сиденья рабочего места водителя должен соответствовать неравенству

$$k_{\text{ж}} < 124^2 \cdot m = 124^2 \cdot 85 = 1,3 \cdot 10^6 \text{ кг/с}^2.$$

Приложения

Приложение 1

Расчет трубопроводов систем водяного отопления (см. примечания в конце таблицы)

Потери давления на трение на 1 м длины трубы, Па/м	Условный диаметр трубы, мм					
	15	20	25	32	40	50
1	2	3	4	5	6	7
1	15,2 0,021	46,7 0,036	79,5 0,037	151 0,041	219 0,046	435 0,054
1,2	18,3 0,025	49,1 0,038	82,0 0,038	168 0,045	242 0,050	480 0,060
1,4	21,3 0,029	52,0 0,040	86 0,040	182 0,049	264 0,054	523 0,065
1,6	24,4 0,033	54,3 0,042	93,0 0,043	197 0,053	284 0,059	563 0,070
1,8	27,4 0,038	57 0,044	99,0 0,046	210 0,057	303 0,063	600 0,075
2	30,5 0,042	58,2 0,045	105 0,049	223 0,060	321 0,066	636 0,079
2,4	33,0 0,045	59,3 0,045	116 0,054	246 0,066	355 0,073	701 0,088
2,8	35,2 0,048	64,2 0,049	126 0,059	268 0,072	386 0,080	762 0,095
3,2	37,0 0,05	69,2 0,053	136 0,064	288 0,078	415 0,086	820 0,102
3,6	38,1 0,052	74,0 0,057	145 0,068	307 0,083	443 0,091	873 0,109
4	40,0 0,054	78,5 0,060	154 0,072	325 0,088	469 0,097	924 0,115
5	43,2 0,059	89,0 0,068	174 0,081	366 0,099	528 0,109	1040 0,130
6	45,2 0,062	98,0 0,075	192 0,090	404 0,109	582 0,120	1147 0,143
7	48,0 0,066	107 0,082	209 0,098	440 0,119	633 0,131	1245 0,155
8	52,0 0,071	115 0,088	225 0,105	472 0,128	680 0,140	1336 0,167
10	58,5 0,080	130 0,099	254 0,119	532 0,144	766 0,158	1504 0,188
12	64,5 0,088	143 0,109	279 0,131	586 0,158	842 0,174	1654 0,207
14	70,2 0,096	155 0,119	303 0,142	636 0,172	914 0,189	1794 0,224
16	75,5 0,104	167 0,128	326 0,152	683 0,185	981 0,202	1924 0,240
18	82,5 0,110	178 0,136	347 0,162	726 0,196	1044 0,215	2046 0,265


20	85,3 0,117	188 0,144	367 0,172	768 0,208	1103 0,228	2162 0,270
24	94 0,129	207 0,159	404 0,189	844 0,228	1212 0,250	2375 0,297
28	102 0,140	225 0,172	438 0,205	915 0,247	1314 0,271	2573 0,321
32	110 0,150	241 0,183	470 0,220	982 0,265	1409 0,291	2758 0,344
34	113 0,155	249 0,191	485 0,227	1013 0,274	1454 0,300	2846 0,355
36	117 0,160	260 0,197	500 0,234	1044 0,282	1498 0,309	2931 0,366
40	123 0,169	272 0,208	528 0,247	1103 0,298	1582 0,327	3095 0,387
45	131 0,180	288 0,221	561 0,262	1171 0,317	1680 0,347	3286 0,410
50	139 0,190	305 0,234	593 0,277	1237 0,334	1774 0,366	3470 0,433
60	152 0,209	336 0,257	652 0,305	1360 0,368	1950 0,403	3811 0,476
70	166 0,227	364 0,279	706 0,330	1473 0,398	2111 0,436	4125 0,515
80	178 0,244	390 0,299	757 0,354	1577 0,427	2262 0,467	4418 0,552
90	189 0,259	414 0,318	804 0,376	1676 0,453	2402 0,496	4693 0,586
100	200 0,274	438 0,336	849 0,397	1770 0,478	2536 0,524	4952 0,618
120	220 0,301	481 0,369	933 0,436	1942 0,525	2783 0,575	5433 0,678
140	238 0,326	521 0,399	1010 0,472	2102 0,568	3012 0,622	5878 0,734
160	255 0,350	558 0,428	1082 0,506	2251 0,608	3225 0,666	6292 0,786
180	271 0,372	593 0,454	1149 0,538	2390 0,646	3424 0,707	6689 0,834
200	286 0,392	626 0,480	1213 0,567	2522 0,682	3613 0,746	7048 0,880
220	301 0,412	657 0,503	1273 0,595	2647 0,716	3791 0,783	7517 0,939
240	314 0,431	687 0,527	1331 0,623	2767 0,748	3963 0,818	7851 0,980
260	328 0,449	716 0,549	1386 0,649	2882 0,779	4128 0,852	8171 1,020
280	340 0,467	744 0,570	1440 0,674	2993 0,809	4286 0,885	8480 1,059

300	353 0,483	770 0,590	1492 0,698	3100 0,838	4512 0,931	8777 1,096
320	365 0,500	796 0,610	1541 0,721	3203 0,866	4660 0,962	9065 1,132

П р и м е ч а н и я :

1. Верхняя строка – количество воды, протекающей по трубе, кг/ч; нижняя строка – скорость воды в трубе, м/с.
2. При расходах теплоносителя меньше указанных в таблице, значения потерь давления на трение и скорости воды принимать по первой строке таблицы.
3. При необходимости применения для системы отопления здания трубопроводов больших диаметров для гидравлического расчета следует использовать расчетные таблицы из справочной литературы [4].

Коэффициенты местных сопротивлений

Местное сопротивление		Значения коэффициентов местных сопротивлений при условном диаметре труб, мм								
Название	Условное изображение	15	20	25	32	40	50	70	80	100
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Радиатор чугунный		1,3	1,4	1,5	–	–	–	–	–	–
Конвектор «Комфорт-20»		1,6	5,4	14,4	–	–	–	–	–	–
Воздухосборник		1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Вентиль обыкновенный		16	10	9	9	8	–	–	–	–
Трехходовой кран:										
при прямом проходе		2	1,5	2	–	–	–	–	–	–
при проходе с поворотом		3	3	4,5	–	–	–	–	–	–
Кран регулирующий проходной		4	2	2	2	–	–	–	–	–
Кран пробковый		4	2	2	2	–	–	–	–	–
Кран воздуховыпускной		–	–	–	–	–	–	–	–	–
Задвижка параллельная		–	–	–	–	–	0,5	0,5	0,5	0,5
Поворот на 90°		0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2
«Утка» (два поворота на 45°)		0,8	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Спускная трубка с пробковым краном		–	–	–	–	–	–	–	–	–
Тройник с пробкой		–	–	–	–	–	–	–	–	–
Внезапное расширение*	–	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Внезапное сужение*	–	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Дроссель-шайба		Сопротивление дроссель-шайбы определяют расчетом								
* – относится к большей скорости										

Коэффициенты $\zeta_{\text{прох}}$ тройников для стальных водогазопроводных труб при слиянии или делении потоков

Схема	$\bar{G}_{\text{прох}} = \frac{G_{\text{прох}}}{G_{\text{ств}}}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$\zeta_{\text{прох}}$	70	16	6,7	3,56	2,2	1,61	1	0,86	0,76	0,7

Коэффициенты $\zeta_{\text{отв}}$ тройников для стальных водогазопроводных труб

Схема	$\frac{d_{\text{отв}}}{d_{\text{ств}}}$	Значения при $\zeta_{\text{отв}}$ при $\bar{G}_{\text{отв}} = G_{\text{отв}} / G_{\text{ств}}$									
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	1	-65	-10	-2,66	0,625	2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	0,74	-25	-3,62	0	1	1,4	1,6	1,8	1,9	2	2
	0,66	-15,2	-1,29	0,55	1	1,2	1,4	1,55	1,7	1,73	1,73
	0,59	-8	0,3	0,8	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,4	1,5
	0,52	-5	0,4	0,9	1	1,1	1,2	1,25	1,3	1,32	1,34
	0,44	-2	0,5	0,9	1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
	0,3	-0,4	0,6	0,9	1	1,65	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	1	90	25	12,5	1,75	5,4	4,15	3,3	2,8	2,55	2,55
	0,74	33	9,4	4,7	3	2	1,5	1,2	1,05	1	1
	0,66	23	6,88	3,52	2,25	1,6	1,25	1	0,9	0,9	0,9
	0,59	13,5	4,73	2,88	1,8	1,34	1,1	0,95	0,83	0,8	0,8
	0,52	10	3,3	1,88	1,3	1	0,83	0,72	0,67	0,65	0,65
	0,44	5,3	1,9	1,4	0,8	0,6	0,52	0,5	0,5	0,5	0,5
	0,3	2,1	0,935	0,542	0,4	0,305	0,25	0,215	0,2	0,2	0,2
	1	80	21,5	11	7	5	3,9	3,25	2,8	2,5	2,3
	1	100	29	14,5	9	6,3	4,75	3,8	3,1	2,66	2,3

Потери давления Z , Па, в местных сопротивлениях

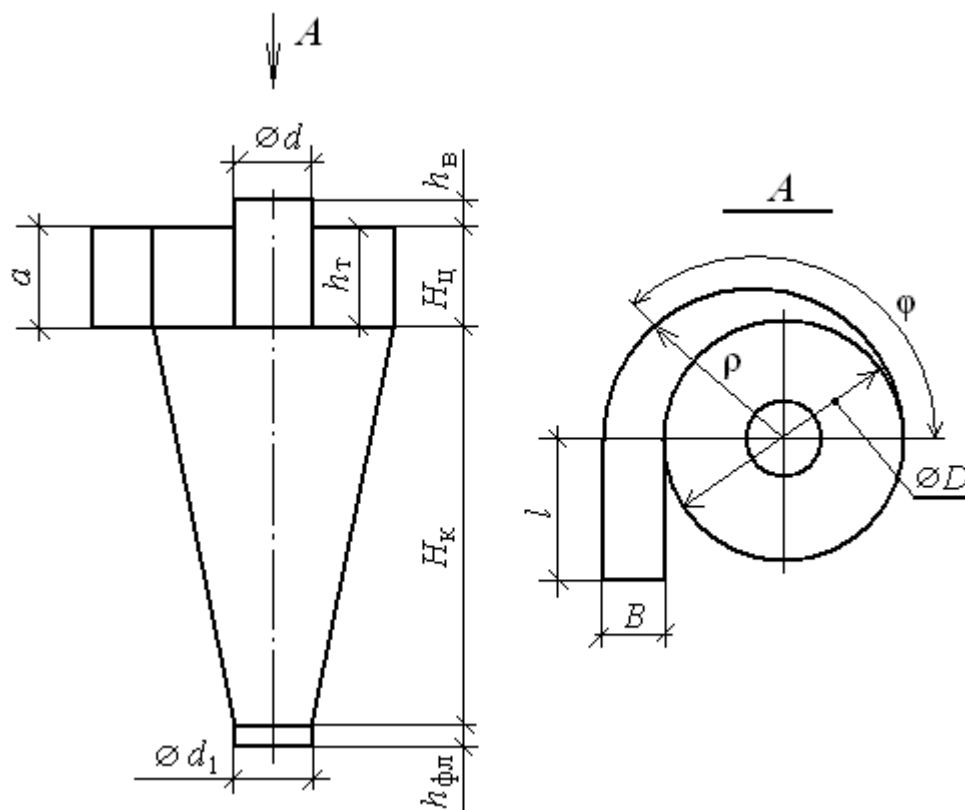
Скорость движения воды, W , м/с	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\zeta$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,04	0,78	1,56	2,35	3,13	3,91	4,69	5,48	6,26	7,04	7,82
0,06	1,76	3,52	5,28	7,04	8,8	10,6	12,3	14,1	15,8	17,6
0,08	3,13	6,26	9,39	12,5	15,6	18,8	21,9	25,0	28,2	31,5
0,10	4,89	9,78	14,7	19,6	24,4	29,3	34,2	39,1	44,0	48,9
0,12	7,04	14,1	21,1	28,2	35,2	42,2	49,3	56,3	63,4	70,4
0,14	9,58	19,2	28,7	38,3	47,9	57,5	67,1	76,7	86,2	95,8
0,16	12,5	25,0	37,5	50,1	62,6	75,1	87,6	100	113	125
0,18	16,7	33,5	50,2	67,0	83,7	100	117	133	150	167
0,20	19,6	39,1	58,7	78,2	97,8	117	136	156	176	195
0,25	30,5	61,1	91,7	122	152	183	214	244	275	305
0,30	44,0	88,0	132	176	220	264	308	352	396	440
0,35	59,9	120	180	239	299	359	419	479	539	599
0,40	78,2	156	234	313	391	469	547	626	704	782
0,45	99,0	198	297	396	495	594	693	792	891	990
0,50	122	244	367	489	611	733	855	978	1100	1222
0,55	148	296	444	591	739	887	1035	1183	1331	1479
0,60	176	352	528	704	880	1056	1232	1408	1584	1760
0,65	206	413	619	826	1032	1239	1445	1652	1859	2065
0,70	239	479	719	958	1198	1437	1677	1916	2156	2395
0,75	275	550	825	1100	1375	1650	1925	2200	2475	2750

Технические характеристики калориферов КСК3 и КСК4

Обозначение	Площадь поверхности теплообмена со стороны воздуха, f , м ²	Площадь сечения, м ²	
		фронтального, f_b , м ²	для прохода теплоносителя, f_w , м ²
КСК3-6-02АХЛЗ	13,26	0,267	0,000846
КСК3-7-02АХЛЗ	16,34	0,329	
КСК3-8-02АХЛЗ	19,42	0,392	
КСК3-9-02АХЛЗ	22,5	0,455	
КСК3-10-02АХЛЗ	28,66	0,581	
КСК3-11-02АХЛЗ	83,12	1,66	0,002576
КСК3-12-02АХЛЗ	125,27	2,488	0,003881
КСК4-6-02АХЛЗ	17,42	0,267	0,001112
КСК4-7-02АХЛЗ	21,47	0,329	
КСК4-8-02АХЛЗ	25,53	0,392	
КСК4-9-02АХЛЗ	29,57	0,455	
КСК4-10-02АХЛЗ	37,66	0,581	
КСК4-11-02АХЛЗ	110,05	1,66	0,00341
КСК4-12-02АХЛЗ	166,25	2,488	0,002205

Технические характеристики калориферов КПЗ и КП4

Обозначение	Площадь поверхности теплообмена со стороны воздуха, f , м ²	Площадь сечения, м ²	
		фронтального, f_v , м ²	для прохода теплоносителя, f_w , м ²
КПЗ 6-СК-01АУЗ	13,26	0,267	0,005082
КПЗ 7-СК-01АУЗ	16,34	0,329	
КПЗ 8-СК-01АУЗ	19,42	0,392	
КПЗ 9-СК-01АУЗ	22,5	0,455	
КПЗ 10-СК-01АУЗ	28,66	0,581	
КПЗ 11-СК-01АУЗ	83,12	1,66	0,0103
КПЗ 12-СК-01АУЗ	125,27	2,488	0,0155
КП4 6-СК-01АУЗ	17,42	0,267	0,00668
КП4 7-СК-01АУЗ	21,47	0,329	
КП4 8-СК-01АУЗ	25,52	0,392	
КП4 9-СК-01АУЗ	29,57	0,455	
КП4 10-СК-01АУЗ	37,66	0,581	
КП4 11-СК-01АУЗ	110,05	1,66	0,0136
КП4 12-СК-01АУЗ	166,25	2,488	0,0206



Спирально-конический циклон ЦН

Соотношение размеров в долях диаметра D для циклонов СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М

Наименование	Обозначение	Типы циклонов		
		СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
Внутренний диаметр цилиндрической части	D	До 4000		До 4400
Высота цилиндрической части	$H_{ц}$	0,535	0,515	0,4
Высота конической части	$H_{к}$	3,0	2,11	2,6
Внутренний диаметр выхлопной трубы	d	0,334	0,340	0,22
Внутренний диаметр пылевывпускного отверстия	d_1	0,334	0,229	0,18
Ширина входного патрубка	B	0,264	0,214	0,18
Высота внешней части выхлопной трубы	$h_{в}$	0,2–0,3	0,2–0,	0,3
Высота установки фланца	$h_{фл}$	0,1	0,1	0,1
Высота входного патрубка	a	0,535	0,515	0,4
Длина входного патрубка	l	0,6	0,6	0,6
Высота заглубления выхлопной трубы	$h_{т}$	0,535	0,515	0,4
Текущий радиус улитки	ρ	$D/2 + B\varphi/2\pi$	$D/2 + B\varphi/\pi$	

**Основные расчетные показатели конструкций боковых двусторонних
воздушно-тепловых завес**

Шифр завесы	Производительность		Ширина щели, мм	Размеры проема ворот, м		Относительная площадь
	по воздуху, кг/ч	по теплу, Вт		ширина	высота	
ЗТ.В2-25.01.УЗ	30 000	180 000	100	3	3	15
ЗТ.В2-28.01.УЗ	33 600	200 000	100	3,6	3,6	18
A5	11 300	73 700	70	2 2,4	2,4	17 17
A5-01	18 500	173 300	70	3 3,6	3	21 26
ЗВТ1.00.000	28 800	232 600	90	3	3	17
ЗВТ2.00.000				3,6		20
ЗВТ1.00.000-01	40 800	511 700	100	3,6	3	18
ЗВТ2.00.000-01						
ЗВТ1.00.000-02	28 800	232 600	75	3,6	3,6	24
ЗВТ2.00.000-02				4,2		28
ЗВТ1.00.000-03	40 800	511 700	90	3,6	3,6	20
ЗВТ2.00.000-03				4,2		23
ЗВТ3-1	39 000	368 200	150	3,6	4,2	12
ЗВТ6-1						
ЗВТ3-2	41 400	423 100	150	3,6	4,2	12
ЗВТ6-2						
ЗВТ3-3	43 700	481 600	150	3,6	3,2	12
ЗВТ6-3						
ЗВТ3-4	44 100	383 400	150	4,2	4,2	14
ЗВТ6-4						
ЗВТ3-5	52 400	522 200	150	4,2	4,2	14
ЗВТ6-5						
ЗВТ4-1	55 200	619 100	150	4,2	4,8	14
ЗВТ7-1						

Приближенные значения коэффициентов отражения стен и потолка

Отражающая поверхность	Коэффициент отражения
Побеленный потолок; побеленные стены с окнами, закрытыми белыми шторами	0,7
Побеленные стены при незанавешенных окнах; побеленный потолок в сырых помещениях; чистый бетонный и светлый деревянный потолок	0,5
Бетонный потолок в грязных помещениях; деревянный потолок; бетонные стены с окнами; стены, оклеенные светлыми обоями	0,3
Стены и потолки в помещениях с большим количеством темной пыли; сплошное остекление без штор; красный кирпич неоштукатуренный; стены с темными обоями	0,1

Приложение 11

Коэффициент запаса K_3 , учитывающий снижение освещенности в период эксплуатации и регулярность чистки светильников в год

Помещение	Коэффициент запаса K_3 Количество чисток светильников в год		
	Эксплуатационная группа светильников*		
	I...IV	V...VI	VII
Производственное помещение с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:			
а) свыше 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	$\frac{2,0}{18}$	$\frac{1,7}{6}$	$\frac{1,6}{4}$
б) от 1 до 5 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$
в) менее 1 мг/м ³ пыли, дыма, копоти	$\frac{1,5}{4}$	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$
Значительные концентрации паров, кислот, щелочей, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозирующей способностью	$\frac{1,8}{6}$	$\frac{1,6}{4}$	$\frac{1,6}{2}$
Помещения общественных и жилых зданий:			
а) пыльные, жаркие и сырые	$\frac{1,7}{2}$	$\frac{1,6}{2}$	$\frac{1,6}{2}$
б) с нормальными условиями среды	$\frac{1,4}{2}$	$\frac{1,4}{1}$	$\frac{1,4}{1}$
* эксплуатационную группу светильников см. в прил.12			

Эксплуатационные группы светильников

Конструктивно-светотехнические схемы светильников		I	II	III	IV	V	VI	VII
С лампами накаливания и ГЛВД	A							
С люминесцентными лампами	B1							—
	B2					—	—	
Группа твердости светотехнических материалов (покрытий)		T CT M	T CT M	T CT M	T CT	T CT	T CT	T
Эксплуатационная группа светильников		5 4 3	6 5 4	2 2 1	7 6	5 4	6 5	7

Группы твердости светотехнических материалов

Вид материала или покрытия	Материалы (или покрытия) отражателей или рассеивателей	
	отражающие свет	пропускающие свет
T – твердые	Покрытие силикатной эмалью	Силикатное стекло
СТ – средней твердости	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эпоксидно-порошковое покрытие 2. Покрытие нитроэмалью НЦ-25 3. Эмалевое покрытие МЛ-12 4. Алязак-алюминий, защищенный слоем жидкого стекла 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Поликарбонат 2. Полиметилметакрилат 3. Поливинилхлоридная жесткая пленка типа «Санлоид»
M – мягкие	<ol style="list-style-type: none"> 1. Эмалевое покрытие МЛ-242 2. Эмалевое покрытие АК-11022 3. Покрытие акриловой эмалью 4. Алюминий, распыленный в вакууме, с защитой лаком УВЛ-3 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Полиэтилен высокого давления 2. Полистирол

**Коэффициент использования светового потока для светильников
с типовыми КСС, излучающих свет в нижнюю полусферу**

Типо- вая КСС	Равномерная М								Косинусная Д							
	70				50		30	0	70				50		30	0
$\rho_n, \%$	50		30		50	30	10	0	50		30		50	30	10	0
$\rho_p, \%$	30	10	30	10	10		10	0	30	10	30	10	10		10	0
Значе- ние i_n	Коэффициент использования $U_{oy}, \%$															
	0,5	28	28	21	21	25	19	15	13	36	35	30	30	34	28	25
0,6	35	34	27	26	31	24	18	17	43	42	35	34	40	33	28	27
0,7	44	39	32	31	39	31	25	24	48	47	41	38	45	38	33	31
0,8	49	46	38	36	43	36	29	28	54	51	45	43	49	43	37	36
0,9	51	48	40	39	46	39	31	30	57	55	48	46	52	46	41	39
1,0	54	50	43	41	48	41	34	32	60	57	52	50	55	49	45	42
1,1	56	52	46	43	50	43	35	33	64	60	55	52	58	51	47	44
1,25	59	55	49	46	53	45	38	35	69	63	60	56	61	55	50	48
1,5	64	59	53	50	56	49	42	39	75	69	67	62	67	61	55	53
1,75	68	62	57	53	60	53	45	42	79	72	71	66	70	65	60	57
2,0	73	65	61	56	63	56	48	45	83	75	75	69	73	68	64	61
2,25	76	68	65	60	66	59	51	48	86	77	79	73	76	71	66	64
2,5	79	70	68	63	68	61	54	51	89	80	82	75	78	73	69	66
3,0	83	75	73	67	72	65	58	55	93	83	86	79	81	77	73	71
3,5	87	78	77	70	75	68	61	59	96	86	90	82	83	80	76	73
4,0	91	80	81	73	78	72	65	62	99	88	93	84	85	83	79	76
5,0	95	83	86	77	80	75	69	65	105	90	98	88	88	85	81	79

Кривые силы света светильников (сила света, кд)

Угол * α, °	Тип КСС															
	М	Д-1	Д	Д-2	Г-1	Г-2	Г-3	Г	Г-4	К-1	К-2	К-3	К	С	Л	Л-Ш
0	233,4	330,0	333,5	377,3	503,0	670,7	800,0	894,2	1192	1583	2120	2400	0	154,8	119,6	78,3
5	232,9	328,7	332,0	375,5	499,8	664,8	791,7	883,8	1173	1549	2062	2323	17,9	155,5	119,0	78,6
10	229,2	325,0	328,2	370,3	490,2	647,5	767,1	852,5	1118	1449	1893	2097	35,6	158,2	118,6	79,4
15	228,5	318,8	321,2	361,6	474,4	618,5	726,5	801,1	1026	1288	1595	1737	53,1	164,5	120,2	81,4
20	224,7	310,1	311,8	349,8	452,7	579,5	670,9	731,2	902	1052	1261	1265	70,1	175,5	126,0	81,7
25	220,0	299,1	300,0	334,3	425,1	530,2	601,5	643,8	750	810	832	712	86,6	190,7	134,0	83,3
30	214,1	285,8	285,5	316,0	392,1	471,4	519,6	541,3	574	515	249	113	102,5	210,8	145,0	87,2
35	207,1	270,3	268,8	294,7	354,1	404,7	426,9	439,9	380	196	0	0	117,6	235,1	159,6	94,8
40	199,3	252,8	249,8	270,7	311,7	330,9	325,4	301,0	174	0			131,8	261,8	180,4	105,4
45	190,6	233,3	228,9	244,2	265,3	251,4	217,2	168,8	0				145,0	281,6	209,7	121,3
50	180,0	212,1	206,0	215,4	215,5	167,3	104,4	32,6					157,0	282,1	243,4	137,1
55	170,5	189,3	181,7	184,6	162,9	81,8	0	0					168,0	257,2	269,7	162,0
60	159,2	165,0	155,4	152,0	108,3	0							201,9	212,9	275,0	199,0
65	147,1	139,5	128,1	118,2	52,6								185,8	161,7	247,6	230,0
70	134,3	112,9	99,8	83,1	0								192,6	113,6	194,0	252,0
72	129,0	102,0	88,0	68,9									195,0	95,9	167,0	243,2
74	123,6	91,0	76,3	54,6									197,1	79,4	139,0	225,0
75	121,0	85,4	70,6	47,4									198,0	71,5	125,2	212,3
76	118,1	79,8	64,5	40,2									199,0	63,8	111,1	199,0
78	112,6	68,6	52,6	25,7									199,0	49,1	84,5	165,5
80	106,9	57,3	40,8	11,2									201,9	35,8	60,4	127,7
82	101,2	45,9	28,7	0									203,0	23,8	39,5	89,1
84	95,4	34,5	16,6										203,9	13,8	22,5	53,6
86	89,6	23,0	4,56										204,5	6,2	10,1	25,0
88	83,6	11,5	0										204,9	1,6	2,5	6,4
90	77,7	0											205,0	0	0	0

Основные характеристики прожекторов

Типы		Сила света макси- мальная, ккд	Минимальная допустимая высота установки прожектора при нормируемой освещенности							
прожектора	лампы		0,5	I	2	3	5	10	30	50
ПСМ-50-1	Г220-1000	120	35	25	22	20	17	17	7	6
	ДРЛ-700	52	23	19	14	13	11	8	5	4
	ДРЛ-400	19,5	14	11	9	8	7	5	3	3
ПСМ-40-1	Г220-500	70	25	21	17	15	13	10	5	4
	Ш220-500	280	50	43	33	30	25	20	11	9
ПСМ-30-1	Г220-200	33	18	15	11	10	9	7	4	3
ПЗР-400	ДРЛ-400	19	14	11	8	8	7	5	3	3
ПЗР-250	ДРЛ-250	11	10	8	6	6	5	4	3	3
ПЗС-43	Г220-1000	130	35	29	22	20	18	13	7	6
	ДРЛ-400	14	12	10	7	7	5	4	3	3
	МГЛ-700	600	-	65	50	45	40	30	16	13
ПЗМ-35	Г220-500	40	20	16	12	11	10	7	4	4
ПЗМ-25	Г220-200	10	10	8	6	6	5	4	3	3
ПКН-1500-1	КГ220-1500	90	30	25	20	17	15	11	6	5
ПКН-1000-1	КГ220-1000	52	23	19	14	13	11	8	5	4

Шумовые характеристики потоков железнодорожных поездов
на расстоянии 7,5 м от оси колеи, ближней к расчетной точке

Поезда	Интенсивность движения, пар/ч											
	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20	25	30
	Эквивалентный уровень звука, $L_{э\text{кв}}$, дБА											
Пассажирские	66	69	71	72	73	74	75	76	78	79	80	81
Электропоезда	72	75	77	78	79	80	81	82	84	85	86	87
Грузовые	76	79	81	82	83	84	85	86	88	89	90	91

Поправка к эквивалентному уровню звука $L_{\text{ЭКВ}}$, дБА, в зависимости от скорости движения поездов

Средняя скорость движения поездов, км/ч:											
пассажирских и грузовых	–	–	–	40	50	60	80	100	–	–	–
электропоездов	40	43	47	50	55	60	70	75	80	90	100
Поправка к эквивалентному уровню звука $L_{\text{ЭКВ}}$, дБА:	–5	–4	–3	–2	–1	0	+1	+2	+3	+4	+5

Снижение уровня звука зелеными насаждениями

Полоса зеленых насаждений	Ширина полосы, м	Снижение уровня звука, $L_{\text{зел}}$, дБА
Однорядная при шахматной посадке деревьев внутри полосы	10–15	4–5
То же	16–20	5–8
Двухрядная при расстояниях между рядами 3–5 м; ряды аналогичны однорядной посадке	21–25	8–10
Двух- или трехрядная при расстояниях между рядами 3 м; ряды аналогичны однорядной посадке	26–30	10–12
Примечание. Высоту деревьев следует принимать не менее 5–8 м/		

Затухание звука от источников, расположенных на территории жилой застройки или на площадке предприятия, в атмосфере

Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
β_a , дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48
Примечание. При расстояниях $r \leq 50$ м затухание звука в атмосфере в расчетах не учитывается.								

Библиографический список

1. Свод правил СП 131.13330.2012. Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». – Введ. с 2013 г. – М. : Минрегион России, 2012.
2. *Строительная теплотехника*: СНиП II-3–79*. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 1998.
3. *Отопление, вентиляция, кондиционирование*: СНиП 2.04.05-91.* – М.: Минстрой России, ГПЦПП, 1996.
4. *Внутренние санитарно-технические устройства*. В 3 ч. Ч.1. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканами и др. ; Под ред. И. Г. Староверова и Ю. И Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990.
5. *Справочник проектировщика*. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Ч.1. Отопление, водопровод, канализация / В. Н. Богословский, С. Ф. Копьев, Л. И. Друскин и др.; Под ред. И. Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1975.
6. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М. О. Штейнберга. – М.: Машиностроение, 1992.
7. *Пирумов А. И.* Обеспыливание воздуха. – М.: Стройиздат, 1981.
8. *Алиев Г. М.-А.* Техника пылеулавливания и очистка промышленных газов. – М.: Металлургия, 1986.
9. *Внутренние санитарно-технические устройства*. В 3 ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 2 / В. Б. Баркалов, Н. Н. Павлов, С. С. Амирджанов и др.; Под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992.
10. *Справочник проектировщика*. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х ч. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. / В. Н. Богословский, И. А. Шепелев, В. Э. Эльтерман и др.; Под ред. И. Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1977.
11. *Нагрузки и воздействия*: СНиП 2.01.07–85*. – М. : Минстрой России, ГПЦПП, 1990.
12. *Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений*: СанПиН 2.2.4.548-96. – М.: Минздрав России, 1996.
13. *Внутренние санитарно-технические устройства*. В 3 ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1/ В. Н. Богословский, А. И. Пирумов, В. Н. Посохин и др.; Под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992.
14. *Естественное и искусственное освещение*: СНиП 23-05–95*. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003.

15. *Кнорринг Г. М., Фадин И. М., Сидоров В. Н.* Справочная книга для проектирования электрического освещения. – СПб. : Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отделение, 1992.
16. *Защита от шума: СНиП II-12–77.* М.: Госстрой СССР, Стройиздат, 1977.
17. *Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки: СН 2.2.4/2.1.8.562–96.* – М.: Минздрав России, 1996.
18. *Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий: СН 2.2.4/2.1.8.566-96.* – М. : Минздрав России, 1996.