762.2
676

О. . Волко-

ПРОЕКТИ - Е

П ● ЫНОГО ЗДАН

„ВЫЩА ШКОЛА"



ББК 38 762 2 02я73
В67

УДК 697 9

В учебном пособии изложены методики определения количества выделяющихся вредностей (теплоты влаги газы пыль) объемов местной вытяжки от разнообразного технологического оборудования составления тепловоздушных балансов Даны расчеты воздухораспределения воздухораспределителей и воздухоприемников схемы организации воздухообмена цехов

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1989 г

Для студентов обучающихся по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Табл 117 Ил 94 Библиогр 51 назв

Рецензенты кафедра теплогазоснабжения и вентиляции Киевского инженерно-строительного института кафедра отопления и вентиляции Днепропетровского инженерно строительного института

Редакция научно технической литературы
Зав редакцией *Л А Гаврилова*

Учебное пособие

ВОЛКОВ Олег Дмитриевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗДАНИЯ

Редактор *А Т Пашко*
Художник *С В Варавин*
Художественный редактор *В А Рилка*
Технический редактор *Г П Александрова*
Корректор *А Г Долгова*

ИБ № 1186

Сдано в набор 25 02 88 Подписано в печать 01 89 БЦ 15562 Формат 60×90/16. Бумага тип № 2 Гарнитура литературная Печать высокая Усл печ л 16 Усл. кр отт 16 Уч изд л 16 Тираж 10 000 экз Изд № 1 06 Заказ 8 880 Цена 85 к.

Издательство при Харьковском государственном университете издательского объединения «Выща школа» 310003 Харьков ул Университетская 16

Книжная фабрика им М В Фрунзе 310057 Харьков ул Донец Захаржевского 6 8

В $\frac{3308000000-005}{M226\,(04)-89}$ КУ—3—484—88

© Издательское объединение «Выща школа», 1989

ISBN 5 11 000656 3

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 4

Глава 1 **Оформление и содержание курсового проекта. Выбор расчетных данных**

1.1 Расчетно-пояснительная записка 6
1.2 Графический материал 9
1.3 Параметры наружного климата и воздуха в помещении 28

Глава 2 **Поступления и потери теплоты**

2.1 Расчет теплопоступлений 32
2.2 Определение потерь теплоты 65

Глава 3 **Выделения влаги, газов и пыли**

3.1 Определение влаговыделений 74
3.2 Определение выделений газов и паров 75
3.3 Определение пылевыделений 84

Глава 4 **Местные вытяжные и приточные системы вентиляции**

4.1 Вытяжные шкафы 84
4.2 Вытяжные зонты 88
4.3 Отсасывающие панели 97
4.4 Бортовые отсосы 99
4.5 Местные отсосы 113
4.6 Защита окружающей среды от загрязнений вентиляционными выбросами 134
4.7 Расчет воздушного душирования 136
4.8 Регенерация теплоты в вентиляции 140
4.9 Расчет воздушной завесы 144

Глава 5 **Воздухообмен и воздухораспределение в промышленных цехах**

5.1 Расчет воздухообменов общеобменной вентиляции 148
5.2 Рекомендации по выбору исходных данных при выполнении расчета воздухообмена 152
5.3 Расчет аэрации 163
5.4 Расчет воздухораспределения в промышленных цехах 165

Глава 6 **Расчет воздуховодов равномерной раздачи и равномерного всасывания**

6.1 Воздуховоды равномерной раздачи [20, 49] 195
6.2 Воздуховоды равномерного всасывания 204

Глава 7 **Рекомендации по устройству отопления и вентиляции в промышленных цехах различного назначения**

7.1 Механические цехи 209
7.2 Сварочные цехи (отделения) 210
7.3 Кузнечные и термические цехи 213
7.4 Гальванические и травильные цехи 215
7.5 Литейные цехи 218
7.6 Окрасочные цехи 223
7.7 Предприятия деревообрабатывающего производства 225
7.8 Цехи переработки и транспортирования рудных и нерудных материалов заводов огнеупоров 230
7.9 Предприятия трикотажного производства [22] 231
7.10 Предприятия по обслуживанию автомобилей 235

Список используемой литературы 238
Предметный указатель 240

ПРЕДИСЛОВИЕ

Всесторонняя интенсификация экономики опирается на огромные возможности научно-технической революции, зависит от всемерного ускорения научно-технического прогресса. В связи с этим необходимо резко поднять роль науки и техники, повысить организационную и технологическую гибкость производства, внедрить автоматизированные системы в различные сферы хозяйственной деятельности, и в первую очередь в проектирование, управление оборудованием и технологическими процессами. В проектах следует предусматривать «...широкое применение прогрессивных научно-технических достижений, ресурсо- и энергосберегающих технологий и оборудования, экономичных объемно-планировочных решений, конструкций, материалов, передовых методов организации производства и труда» [1].

Основная задача выполнения проекта промышленной вентиляции — обеспечение эффективной работы вентиляционных систем, способствующих улучшению условий труда, повышению его производительности и качества выпускаемой продукции, снижению текучести кадров, производственного травматизма и профессиональных заболеваний, защита окружающей среды от производственных загрязнений. Эффективность работы систем во многом зависит от правильности выполнения инженерных расчетов, применения новейшего оборудования, средств автоматизации, условий эксплуатации.

В книге дано описание состава, оформления и содержания расчетно-пояснительной записки и чертежей курсового проекта. Изложены сведения и рекомендации о защите воздушного бассейна от загрязнений вентиляционными выбросами. Приведены методики расчета воздушных душей, воздушных завес, аэрации, регенерации теплоты удаляемого воздуха, составления воздушных балансов, на основе которых производится выбор расчетного воздухообмена и вентиляционного оборудования, определяющих главным образом размер капитальных затрат. С позиций требований СНиП 2.04.05—86 и ГОСТ 12.1.005—76 к обеспечению микроклимата рабочей зоны помещения средствами вентиляции написан раздел воздухораспределения. Даны подробные характеристики и условия применения различных видов воздуховодов равномерной раздачи и равномерного всасывания. С учетом справочных материалов и ведомственных разработок описаны принципиальные решения по устройству систем отопления и вентиляции промышленных цехов наиболее распространенных и часто встречающихся технологических процессов и производств. Изложение материала соответствует последовательности этапов выполнения проекта. Не рассматриваются вопросы теплотехнических расчетов ограждающих конструкций и сетей воздуховодов, поскольку они довольно подробно изучаются в предшествующем проекту вентиляции проекте отопления и вентиляции гражданского здания.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 1

ОФОРМЛЕНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА. ВЫБОР РАСЧЕТНЫХ ДАННЫХ

Цель курсового проектирования — закрепить и углубить знания, приобрести навыки расчета и конструирования вентиляции промышленных зданий различного назначения. Проект* выполняет-

Таблица 1.1

№ этапа	Этап курсового проекта	Удельный вес этапа, %	Срок выполнения
1	Ознакомление с материалом проекта, выбор расчетных параметров наружного климата и воздуха в помещении	5	
2	Теплотехнический расчет ограждающих конструкций, расчет потерь теплоты	5	
3	Определение количества выделяющихся вредностей (теплота, влага, газы); определение расхода теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха, вводимого материала, транспорта	10	
4	Выбор системы вентиляции, определение объемов местной вытяжки, выбор конструкций и расчет местных отсосов	10	
5	Расчет воздушных завес и воздушного душирования	5	
6	Определение количества воздуха для ассимиляции вредных выделений, составление тепловоздушных балансов, расчет воздухораспределения, аэрации	10	
7	Эскизные проработки по компоновке вентиляционных систем, нанесению трассы воздуховодов и вычерчиванию аксонометрических схем	5	
8	Аэродинамический расчет систем вытяжной и приточной вентиляции	5	
9	Расчет воздухонагревателя (калорифера), подбор вентиляционного оборудования, составление спецификаций вентиляционных систем	5	
10	Графические работы на ватмане по вычерчиванию планов и разрезов с нанесением систем вентиляции и отопления, аксонометрических схем, таблиц, элементов вентиляционных систем	30	
11	Расчет системы отопления (теплоснабжения воздухонагревателей), составление спецификации отопления	5	
12	Сдача проекта в пределах времени, отведенного для выполнения курсового проекта	—	
		100	

* Состав и объем курсового проекта определены на основе обобщения методических разработок строительных вузов Днепропетровска, Киева, Макеевки, Одессы, Полтавы, Харькова.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ся в соответствии с действующими Строительными нормами и Правилами (СНиП), указаниями по проектированию (СН), техническими условиями (ТУ) на монтаж и эксплуатацию систем отопления и вентиляции. Используются также учебная, справочная, техническая, журнальная литература, альбомы типовых узлов и деталей.

Темой проекта может быть одноэтажное промышленное здание общей площадью 1000...1500 м^2 с наиболее распространенными видами производств — механические, механосборочные, кузнечные, термические, литейные, сварочные, травильные, гальванические, окрасочные, деревообрабатывающие, авторемонтные и другие цехи (блоки цехов).

Студенту выдают индивидуальное задание и календарный план с указанием сроков поэтапного выполнения проекта (табл. 1.1), светокопии строительных и технологических чертежей (план, разрез) с названием помещений, подробной спецификацией установленного оборудования и его краткой характеристикой.

Проект состоит из расчетно-пояснительной записки (25...30 страниц формата 297 × 210 мм) и чертежей на двух листах.

1.1. РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Записка должна быть изложена кратко и четко на одной стороне страницы и сшита вместе с заданием. Лицевую сторону обложки оформляют как титульный лист, используя чертежный шрифт. Страницы записки нумеруют арабскими цифрами в правом верхнем углу. Титульный лист включают в общую нумерацию, не проставляя номера страницы. Введение и заключение не нумеруют. Между порядковым номером раздела и его названием ставится точка.

Подразделы, иллюстрации, таблицы, формулы нумеруют в пределах раздела, применяя двойную индексацию. Номер каждого из этих элементов состоит из номера раздела и собственного порядкового номера, разделенных точкой. Условное сокращенное обозначение иллюстраций, например рис. 1.2 (второй рисунок первого раздела), используется для связи с текстом и дается под рисунком. Слово «Таблица» и ее номер помещают в правом верхнем углу над тематическим заголовком. В тексте следует писать слово «таблица» полностью, если она одна, и сокращенно (табл. 1.2), если пронумерована. В повторных ссылках на таблицы и иллюстрации приводят слово «смотри» в сокращенном виде (например, см. табл. 2.3).

Схемы, графики и таблицы следует размещать в записке сразу после ссылки на них в тексте или на следующей странице. Номера формул располагают у правого края страницы на уровне формулы. Формулы, математические знаки и символы вписывают отчетливо и единообразно чернилами черного цвета, оставляя пробелы между формулой и основным текстом записки. Расшифровку буквенных обозначений физических величин следует приводить в экспликации в той последовательности, в какой они даны в формуле. После формулы перед экспликацией ставят запятую, затем с новой строки от

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

левого края пишут слово «где», за ним обозначение первой физической величины и после тире — его расшифровку. Единицы физических величин отделяют от текста расшифровки запятой. После каждой расшифровки ставят точку с запятой, а в конце последней — точку.

При многократно повторяющихся расчетах (определение термического сопротивления ограждений, потерь теплоты, теплопоступлений, выделений влаги, газов, объемов местной вытяжки от однотипного оборудования) формулу с расшифровкой символов и коэффициентов следует приводить один раз, а результаты расчетов сводить в таблицы.

Библиографический список размещают в конце записки. Это тематически отобранный систематизированный перечень библиографических сведений об использованной литературе, связанных с основным текстом цифровыми порядковыми номерами, заключенными в квадратные скобки. Библиографические сведения о литературных источниках должны оформляться в соответствии с ГОСТ 7.1—84 «Библиографическое описание документа» (введен 01.01.86) и ГОСТ 7.12—77 «Сокращение русских слов и словосочетаний в библиографическом описании» (введен 01.01.78). Приведем несколько примеров.

Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие для студентов втузов.— М.: Наука, 1982.— 432 с.

Луус Р. А. Исследование оборудования с пневмовакуумным приводом для захвата: Дис. ... канд. техн. наук.— М., 1982.— 212 с.

Крюков Б. В., Хозин Н. П. Вопросы машинного проектирования информационных систем // Техн. средства обраб. информ.— 1976.— Вып. 10.— С. 11—25.

Приложения располагают перед списком литературы в последовательности, соответствующей появлению ссылок в тексте записки. Каждое приложение следует начинать с новой страницы, в правом углу которой прописными буквами пишут слово «ПРИЛОЖЕНИЕ», ниже приводят тематический заголовок. Приложения нумеруют арабскими цифрами без знака №.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать следующие рубрики* .

Введение: в краткой форме рассматривается значение вентиляции в санитарной нормализации воздушной среды производственных помещений, ее социальная направленность — улучшение условий и повышение производительности труда, снижение заболеваемости, травматизма и текучести кадров благодаря уменьшению или ликвидации вредных факторов производства; приводятся принятые решения по очистке вентиляционных выбросов, постановления по защите воздушного бассейна от вредных выбросов промышленных предприятий и другие документы, положенные в основу проекта.

---

* Объем курсового проекта может видоизменяться. Допускается заменять некоторые разделы результатами, полученными студентами в СНО или НИРС.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Исходные данные для проектирования: сведения о назначении здания и его географическом местонахождении; краткое описание технологического процесса, характеристика и интенсивность вредных выделений, характеристика здания по взрыво- и пожароопасности; расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха для холодного и теплого периодов года, а также для переходных условий, данные об источнике теплоснабжения, теплоносителе и его параметрах.

Тепловой режим помещений: а) теплотехнические расчеты — определение (выбор) требуемых и принимаемых сопротивлений теплопередачи ограждающих конструкций, а также коэффициентов теплопередачи; проверка отсутствия конденсации влаги на внутренних поверхностях наружных ограждений для помещений с выделением влаги; б) расчеты потерь теплоты — ограждающими конструкциями, на нагрев инфильтрационного воздуха, ввозимых материалов, средств транспорта, воздуха, проникающего через периодически или постоянно открытые проемы в наружных ограждениях, испарение влаги; в) расчеты поступлений теплоты от людей, механического оборудования, остывающего материала, источников освещения, теплового оборудования (печи, ванны и т. д.), горячих коммуникаций, солнечной радиации; г) составление теплового баланса помещений для теплого, холодного периодов года и переходных условий без учета вентиляции.

Расчет поступления в воздух помещения вредных выделений — газов, водяных паров и пыли.

Вентиляция и кондиционирование воздуха: а) выбор, обоснование и краткое описание систем вентиляции и кондиционирования воздуха; б) определение объемов местной вытяжной вентиляции, выбор конструкций местных отсосов; в) расчет воздушных завес, воздушного душирования, вентиляции кабин машинистов крана; г) определение количества воздуха для ассимиляции вредных выделений, составление тепловоздушных балансов, выбор расчетного воздухообмена, расчет аэрации; д) расчет воздухораспределения и уточнение ранее принятых перепадов температур и скоростей воздуха при входе его в рабочую зону; е) аэродинамический расчет двух-трех вытяжных и одной приточной систем вентиляции, расчет остальных систем рекомендуется выполнять с использованием ЭВМ; ж) защита атмосферного воздуха от загрязнений вентиляционными выбросами — подбор пылеуловителей, фильтров, расчет факельного выброса, соблюдение нормативов выброса вредных веществ в атмосферу (ПДВ); и) расчет и подбор оборудования для систем вентиляции и кондиционирования воздуха — фильтры для очистки наружного воздуха от пыли, воздухонагреватели (калориферы), вентиляторы, электродвигатели, типовые приточные камеры, установки кондиционирования (расчет форсуночной камеры).

Отопление: а) выбор, обоснование и краткое описание принятой системы отопления — центральное водяное (горизонтальная,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

с верхней или нижней разводкой), воздушное (отопительно-рециркуляционные агрегаты), воздушное совмещенное с вентиляцией; выбор и расчет поверхности нагревательных приборов; б) гидравлический расчет (1—2 кольца) трубопроводов системы отопления или теплоснабжения воздухонагревателей (калориферов).

1.2. ГРАФИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Графическая часть проекта выполняется в карандаше на чертежной бумаге формата 24 (594 × 841 мм). Буквенные обозначения, шрифт, правила графики, порядок нанесения размеров следует принимать по Единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Листы ограничивают по контуру рамкой, в правом нижнем углу располагают штамп.

Для большей выразительности чертежей рекомендуется отмывка акварельными красками или раскраска карандашами воздуховодов и всех элементов систем и оборудования, по которым проходит воздух.

Рекомендуются следующие цвета: светло-зеленый — каналы с неподогретым наружным воздухом; розовый — каналы приточных систем с подогретым воздухом; голубой — каналы вытяжных систем; фиолетовый — каналы для рециркуляционного воздуха.

Для водяного отопления: красный — нагревательные приборы и подающие трубопроводы; синий — обратные трубопроводы. Для парового отопления: зеленый — нагревательные приборы и конденсатопроводы; желтый — паропроводы высокого давления, оранжевый — низкого.

На чертежах приводят условные обозначения и необходимые примечания.

Лист 1. План цеха (масштаб 1 : 100; 1 : 200) с расположением воздуховодов, технологического и вентиляционного оборудования; разрезы (масштаб 1 : 100; 1 : 50), таблица местных отсосов от технологического оборудования (табл. 1.2); характеристика отопительно-вентиляционных систем (табл. 1.3).

Планы зданий (сооружений) располагают, как правило, по длине вдоль горизонтальной стороны листа в положении, принятом на генеральном плане, или с поворотом по отношению к этому положе-

Таблица 1.2

Технологическое оборудование			Характеристика выделяющихся вредностей	10
Позиция	Наименование	Количество		10
15	70	15	95	

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Окончание табл. 1.2

Объем вытяжки, м³/ч		Характеристика местного отсоса		№ вентиляционной системы	Примечания	10
На единицу оборудования	Всего	Обозначение	Применяемые документы			10
20	20	30	70	15	45	

Таблица 1.3

Обозначение системы	Количество систем	Наименование обслуживаемого помещения (технологического оборудования)	Тип установки, агрегата	Вентилятор					10
				Исполнение по искрозащите	№	Схема исполнения	Положение, вращение	L, м³/ч	15
15	10	50	20	15	10	15	15	15	

Продолжение табл. 1.3

Вентилятор		Электродвигатель			Воздухонагреватель					10
P, Па	n, об/мин	Тип, исполнение по искрозащите	N, кВт	n, об/мин	Тип	№	Количество, шт.	Температура нагрева, °С		10
								от	до	5
15	15	30	10	15	15	10	10	15	15	

Продолжение табл. 1.3

Воздухонагреватель		Фильтр				Воздухоохладитель					10
Расход теплоты, Вт	P, Па	Тип	№	Количество, шт.	P, Па	Тип	№	Количество, шт.	Температура охлаждения		10
									от	до	5
20	10	25	10	10	10	20	10	10	15	15	

Окончание табл. 1.3

Воздухоохладитель											Примечания	10
Расход холода, Вт	Количество форсунок на 1 м²	Диаметр сопла, мм	P, Па	Насос			Электродвигатель					5
				Тип	L, м³/ч	P, Па	Тип	N, кВт	n, об/мин			10
15	15	10	10	15	10	10	20	10	15	30		

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

нию. При многоэтажном здании планы наносят на лист в порядке нумерации этажей снизу вверх или слева направо. На чертежах не должно быть излишней детализации, необоснованных повторений и очевидных пояснений.

План изображают в виде разреза систем горизонтальной плоскостью, проходящей под перекрытием или покрытием этажа. В наименовании плана указывают отметку чистого пола этажа или номер этажа, например: «план на отм. 0.000», «план второго этажа». При выполнении части плана систем в наименовании указывают оси, ограничивающие эту часть плана, например: «план на отм. 0.000 между осями 1—8 и А — В».

На планы наносят также названия помещений, позиции технологического оборудования, снабженного местными отсосами, марки вентиляционных установок.

Принята следующая маркировка установок: а) с механическим побуждением: П — приточные и душирующие, В — вытяжные, У — воздушные завесы, А — агрегаты отопительные; б) с естественным побуждением: ПЕ — приточные, ВЕ — вытяжные.

К маркам добавляют порядковый номер в пределах марки, например: П1, П2, В1, В2, А3, У2.

Элементы систем вентиляции — воздуховоды, воздухораспределители, фильтры, вентиляционные агрегаты, циклоны — вычерчиваются с соблюдением масштаба в виде упрощенных графических изображений. Фасонные части воздуховодов приведены на рис. 1.1, 1.2.

Контуры воздуховодов и отопительно-вентиляционного оборудования, расположенных в верхней части помещения (под перекрытием), на плане изображают сплошными толстыми основными линиями, строительные конструкции и технологическое оборудование— сплошными тонкими, невидимые контуры аэрационных фонарей, шахт, дефлекторов, крышных вентиляторов — утолщенными штрихпунктирными, подпольные каналы и приямки — штриховыми линиями.

На планы и разрезы наносят также координатные оси здания и расстояния между ними.

Координатные оси показывают тонкими штрихпунктирными линиями, которые состоят из штрихов (5...30 мм) и точек между ними. По длине здания координатные оси обозначают арабскими цифрами, по ширине — прописными буквами русского алфавита, за исключением букв З, Й, О, Х, Ъ, Ы, Ь, в кружках размером 6...12 мм. Обозначения координатных осей наносят на левой и нижней сторонах здания. При несовпадении осей противоположных сторон плана их обозначения в местах расхождения дополнительно показывают на верхней и (или) правой сторонах. Размер шрифта для обозначения координатных осей должен быть больше размера цифр размерных чисел в полтора — два раза. Последовательность цифровых и буквенных обозначений принимают по плану слева направо и снизу вверх.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Кроме того, наносят такие элементы: отметки чистых полов этажей и основных площадок; размерные привязки к координатным осям или элементам строительных конструкций установок систем,

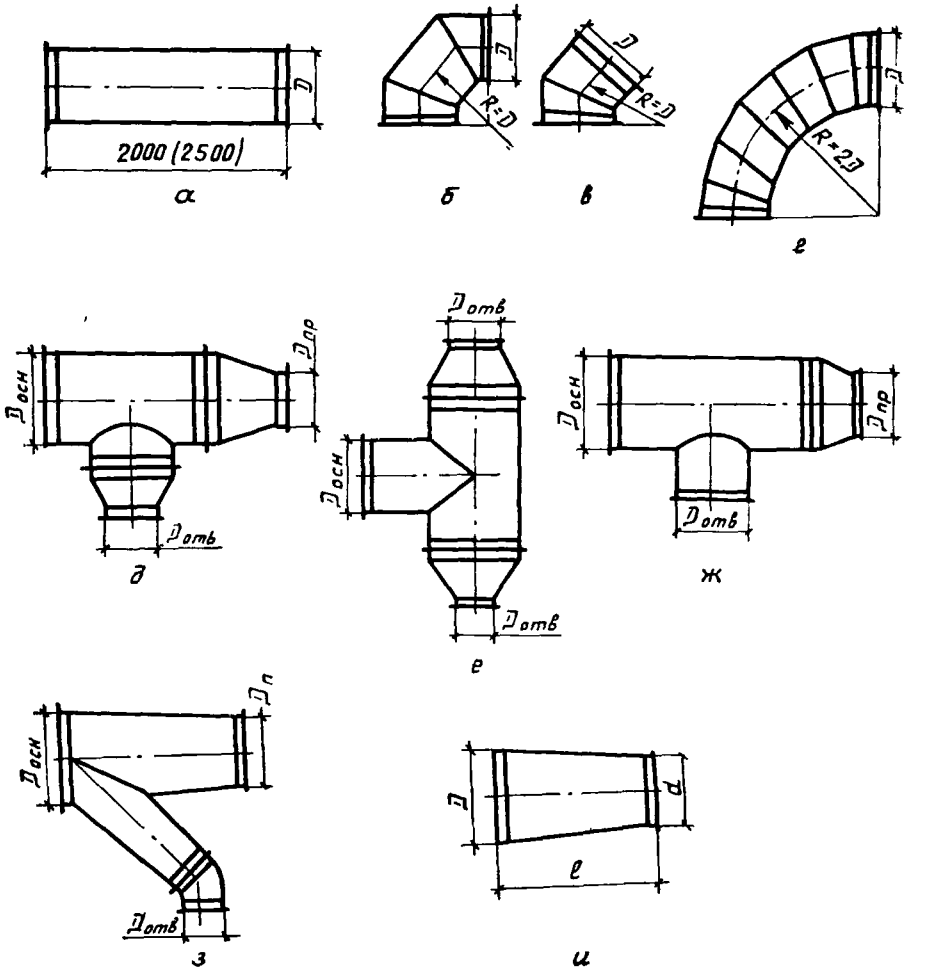


Рис. 1.1. Унифицированные детали круглых воздуховодов.

а — прямой участок, *б, в,* — отводы для систем вентиляции общепромышленного назначения; *г* — отвод для систем аспирации и пневмотранспорта, *д, е, ж* — тройники для систем вентиляции общепромышленного назначения, *з* — тройник для систем аспирации и пневмотранспорта, *и* — переход

воздуховодов, основных трубопроводов, технологического оборудования, неподвижных опор, компенсаторов; диаметры воздуховодов и сечения каналов (первая цифра обозначает ширину канала, вторая — высоту); категории производств по взрывной и пожарной опасности (в прямоугольнике размером 5 × 8 мм), наименование

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

помещений и категорию производств допускается приводить в экспликации помещений; отметки уровней осей круглых воздуховодов, нижней стенки прямоугольных каналов, опорных конструкций отопительно-вентиляционных установок, верха выхлопных труб вытяжных систем

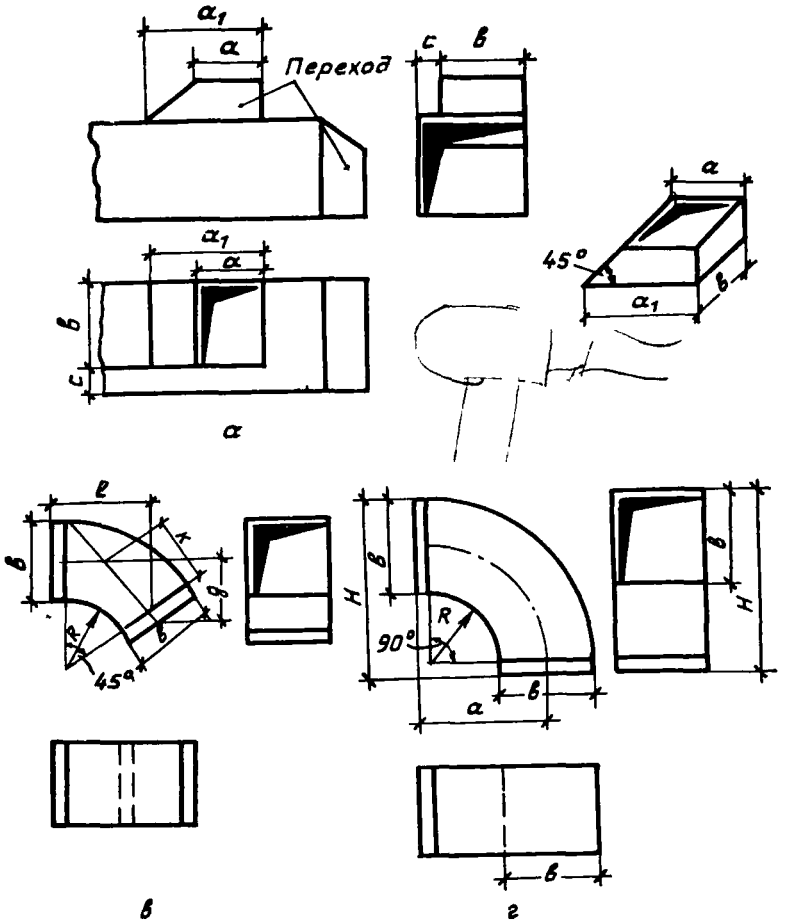


Рис. 1.2. Унифицированные детали прямоугольных воздуховодов:
а — прямой тройник; *б* — переход; *в* — отвод с центральным углом 45°; *г* — отвод с центральным углом 90°

Места разрезов и их число выбирают с учетом обеспечения наглядности высоты забора воздуха, вытяжных труб, расположения площадок под вентиляционное оборудование, прокладки, крепления приточных и вытяжных воздуховодов и т. д. Разрезы выполняют по плану снизу вверх и справа налево. В наименовании разрезов указывают их порядковый номер, например, разрез 1—1.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Масштаб на чертежах (планы и разрезы) не проставляют, за исключением чертежей изделий и случаев, оговоренных соответствующими стандартами систем проектной документации для строительства (СПДС). Примеры оформления планов и разрезов помещений с нанесением отопительно-вентиляционных систем представлены на рис. 1.3, 1.4, 1.5 [28].

Для сокращения объема графических работ план отопления и других коммуникаций, как правило, совмещают с планом вентиляции. Если при этом происходит наложение воздуховодов на трубопроводы и нагревательные приборы, целесообразно параллельно наружной стене общего плана здания повторить только план стены с нанесением системы отопления. При расположении трубопроводов друг над другом ближе к стене вычерчивают тот трубопровод, который расположен внизу, затем параллельно те, что выше.

Номера стояков, число секций радиаторов и сведения о других типах нагревательных приборов располагают с внешней стороны стен. Нумерацию стояков следует начинать с левого верхнего угла плана здания и далее по часовой стрелке.

Видимые участки проектируемого трубопровода системы обозначают сплошной основной линией, соответствующей его оси, невидимые (подземные, в перекрытиях, каналах и т. д.) — штриховой линией той же толщины. Функционирующие трубопроводы обозначают соответственно сплошной штриховой тонкой линией.

Буквенно-цифровые обозначения проставляют в разрывах линий (— Т1 — ; —Т2—) или на полках линий-выносок.

Буквенно-цифровые обозначения трубопроводов (по ГОСТ 21.106—78)

Теплопровод общего обозначения	**Т0**
Трубопровод* горячей воды для отопления и вентиляции (в том числе кондиционирования воздуха), а также общий для отопления, вентиляции, горячего водоснабжения и технологических процессов:	
подающий	**Т1**
обратный	**Т2**
Трубопровод** горячей воды для горячего водоснабжения:	
подающий	**Т3**
циркуляционный	**Т4**
Трубопровод горячей воды для технологических процессов:	
подающий	**Т5**
обратный	**Т6**
Трубопровод:	
пара (паропровод)	**Т7**
конденсата (конденсатопровод)	Т8

При разных параметрах теплоносителя следует принимать такие обозначения: *От Т11 до Т19 и от Т21 до Т29. ** От Т31 до Т39 и от Т41 до Т49

Количество обозначений на линиях трубопроводов должно быть минимальным, но обеспечивающим понимание чертежа и удобства пользовании им.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

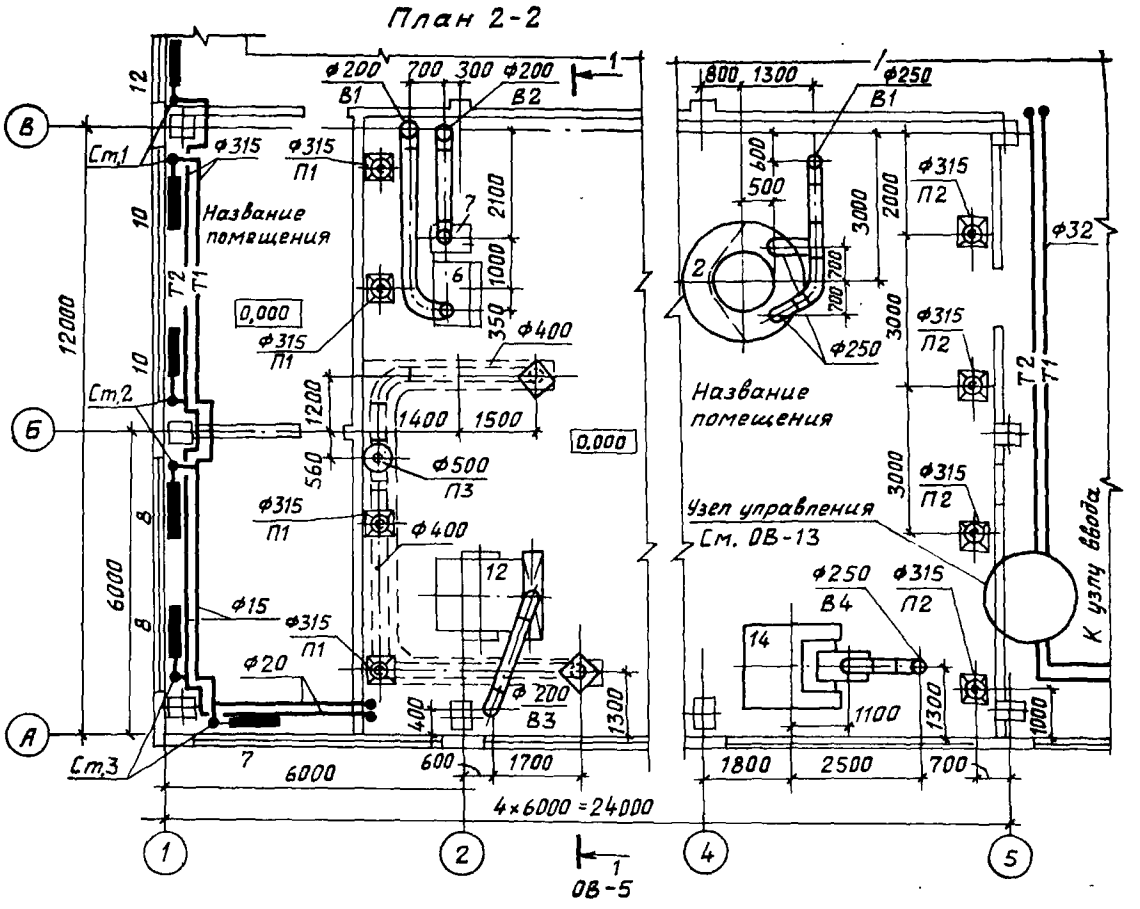


Рис. 1.3. План 2—2

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

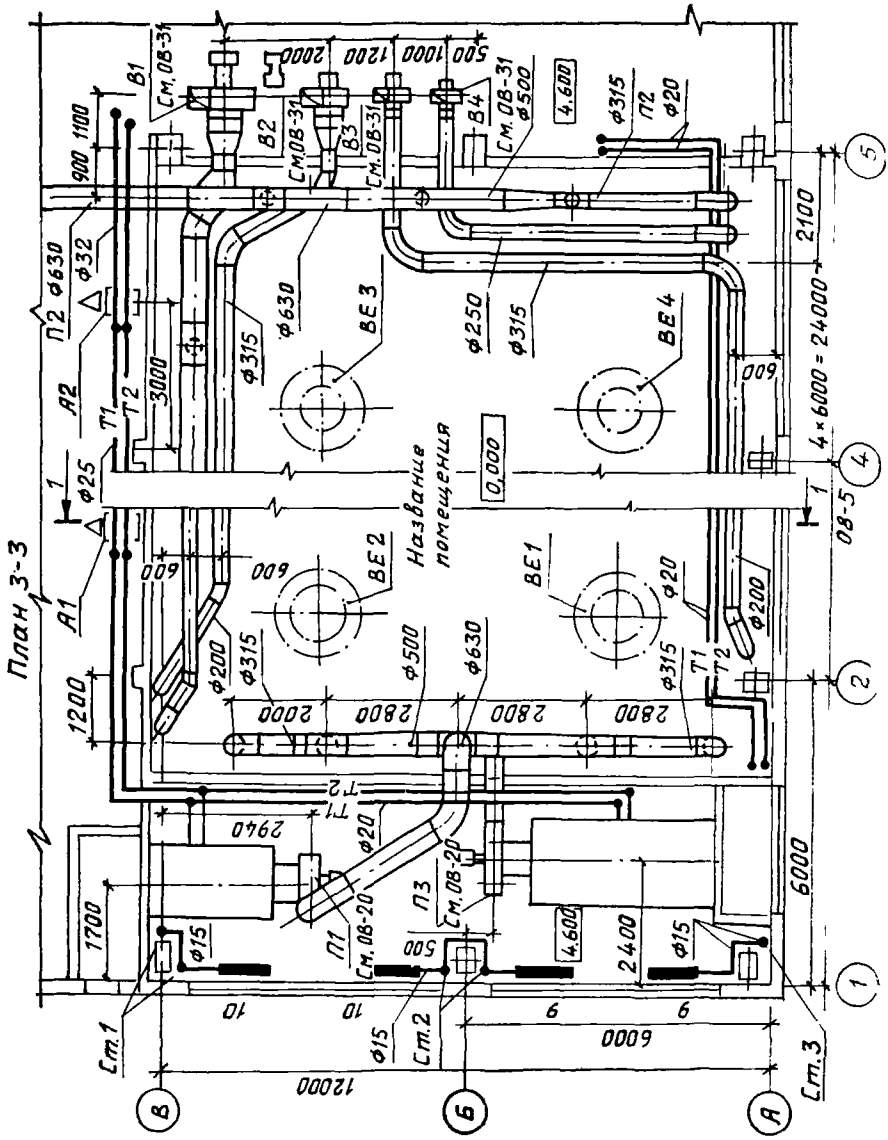


Рис. 1.4. План 3—3

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Лист 2. Схемы воздуховодов систем вентиляции и трубопроводов систем отопления, чертеж конструктивного элемента системы вентиляции, спецификация системы отопления и вентиляции, спецификация отопительно-вентиляционных установок, условные обо-

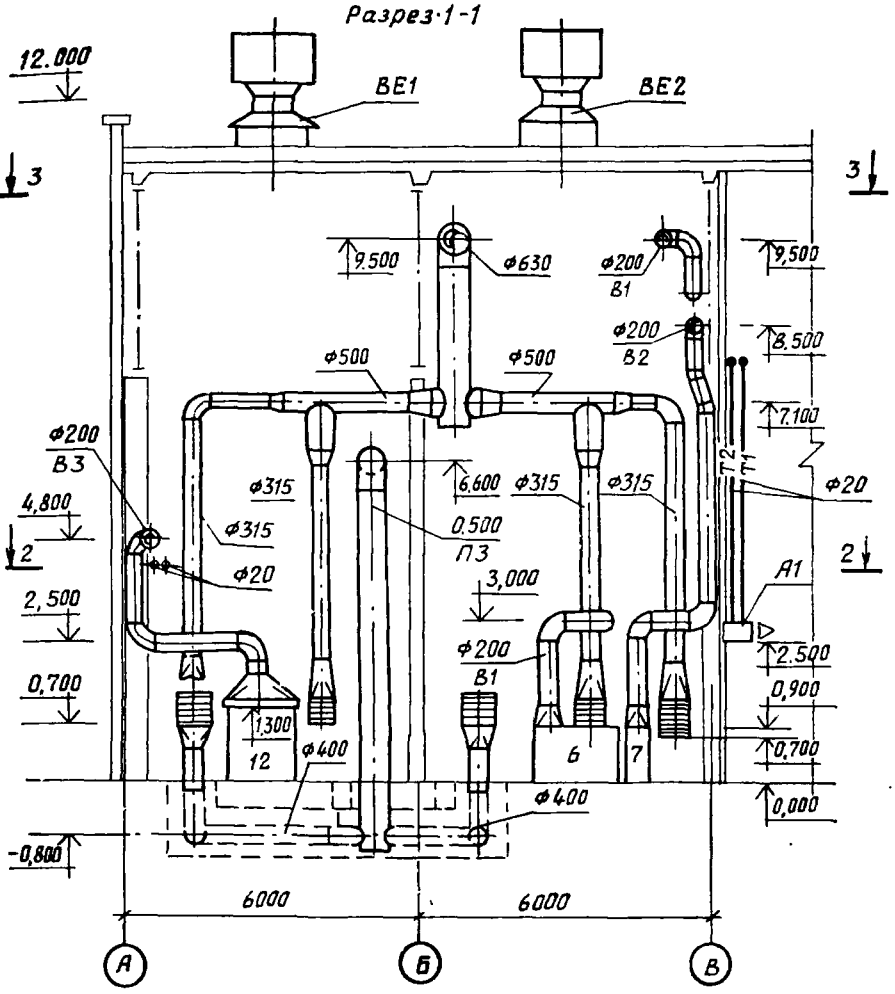


Рис. 1.5. Разрез 1 — 1

значения, поясняющие примечания. Примеры заполнения спецификаций для систем отопления и вентиляции приведены в табл. 1.4, для отопительно-вентиляционных установок — в табл. 1.5.

Схемы воздуховодов вентиляционных систем вычерчивают одной сплошной линией в аксонометрической проекции с соблюдением масштаба (1 : 100) длин по осям. Горизонтальные линии на схемах должны соответствовать горизонтальному расположению

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 1.4

№ марки, позиции	Обозначение серий, стандартов, ГОСТов	Элементы системы	Количество элементов	Масса, кг		Примечание
				одного элемента	общая	
		Отопление				
1	—	Агрегат отопительный АПВ 280-190, шт.	1	703	703	
2	—	Вентиль муфтовый 15ч8бр, $d_y = 15$, шт.	10	0,75	7,5	
3	ГОСТ 8690—75	Радиатор чугунный отопительный М-140А, экм	3	7,44	29,32	
4	ГОСТ 3262—75	Трубы стальные водогазопроводные, обыкновенные, $d_y = 15$, м	50	1,28	64,0	
		Вентиляция				
1	Сер. А8-156И	Агрегат вентиляторный А5100-1, шт.: вентилятор радиальный Ц4-70 № 5, исполнение 1, положение В; электродвигатель 4А80А6, $N = 0{,}75$ кВт, $n = 930$ об/мин	1	120	120,0	
2	ГОСТ 19904—74	Воздуховоды прямоугольного сечения из тонколистовой стали $\delta = 0{,}7$ мм 400×400, м	32	16	458,0	
		То же 500×500, м	16,5	14,3	264,0	
3	Сер. 5.904-13в. 1	Заслонка воздушная прямоугольного сечения, 400Р×400Р, шт.	5	10,5	52,5	
4	Сер. 2.904-24	Воздухораспределители перфорированные круглые ВК-2 № 6, шт.	4	51,6	206,4	

воздуховодов на планах, а линии, развернутые под углом 45°, — вертикальным линиям плана. При накладке линий допускаются разрывы, которые обозначаются строчными буквами и соединяются тонкой пунктирной или точечной связкой.

На схемах показывают вентиляционное оборудование (условно), диаметры воздуховодов и размеры сторон каналов, количество проходящего воздуха на каждом участке, отметки оси круглых и низа прямоугольных воздуховодов, местные отсосы (в сложных случаях — контуры технологического оборудования, имеющего местные отсосы), воздухораспределители, регулирующие устройства, лючки для замера параметров воздуха и для чистки воздуховодов, обозначаемые соответственно марками ЛП и ЛВ. Примеры оформления схем даны на рис. 1.6, 1.7.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 1.5

№ марки, позиции	Обозначение серий, стандартов, ГОСТов	Наименование элементов системы	Количество элементов	Масса, кг		Примечание
				одного элемента	общая	
П2.1	П2	Агрегат вентиляторный А6,3100-1	1	199	199	
	Сер. А8-156И	Вентилятор радиальный Ц4-70 № 6,3, исполнение 1, положение В Электродвигатель 4А100В6, $N = 2,2$ кВт, $n = 930$ об/мин				
П2.2	ГОСТ 7.202—80	Калорифер КВБ-6П	2	72,7	145,4	
П2.3	—	Масляный ячейковый фильтр конструкции Рекка	6	7,9	47,4	Размер одной ячейки 510×510
П2.4	ОВ-02-03.6	Утепленный клапан СУ-3 (990×950)	1	29,7	29,7	
П2.5	ОВ-1 109-114	Смесительный клапан (1200×200)	1	19,0	19,0	
П2.6	ТД сер. 62л-16	Жалюзийная решетка (990×950)	1	21,3	21,3	
П2.7	ОВ-02-12в	Виброоснование 1Д051	1	15,06	15,06	
П2.8	ГОСТ 19904—74	Шибер к вентилятору (520×520)	1	14,2	14,2	
П2.9	Сер. 2.494-8 Вып. 1	Вставка гибкая	1	10,22	10,22	
П2.10	—	Присоединение вентилятора к стенке камеры тип. Ш	1	2,89	2,89	
П2.11	Сер. 4.904-25	Подставка под калорифер	8	2,1	16,8	
П2.12	» 4.904-62	Дверь герметическая утепленная Ду 1,25×0,5	1	36,0	36,0	
П2.13	То же	Дверь герметическая неутепленная Ду 1,25×0,5	2	24,5	49,0	
П2.14	ГОСТ 8509—72	Каркас ∠ 50×5; м	45	3,77	169,7	Ст3
П2.15	ГОСТ 19904—74	Зашивка	—	—	—	Ст3 δ = 2
П2.16	ГОСТ 8240—72	Рама [5 (1050×1580)	1	24,7	24,7	Ст3
П2.17	ГОСТ 18904—74	Патрубок (1264×710—1360×720, $l = 150$)	1	9,76	9,76	Ст3 δ = 2
П2.18	ГОСТ 8509—72	Фланец (1268×714)	1	7,56	7,56	Ст3 ∠32×4
П2.19	То же	То же (1045×1565)	1	9,97	9,97	То же
П2.20	»	То же (по воздуховоду)	—	—	—	»
П2.21	ГОСТ 2823—73*	Термометр технический угловой УЧ1160 104	1	—	—	
П2.22	То же	Оправа для термометра угловая	1	—	—	
П2.23	Сер. 1.494-27	Блок-ролик А-П	3	1,9	5,7	
П2.24	То же	Лебедка ручная	1	—	—	
П2.25	ГОСТ 3031—74	Трос типа ТК ∅ 3,7 мм, м	7,0	0,11	0,77	

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Окончание табл. 1.5

№ марки, позиции	Обозначение серий, стандартов, ГОСТов	Наименование элементов системы	Количество элементов	Масса, кг		Примечание
				одного элемента	общая	
П2.26	—	Болт с гайкой М 8×25	20	0,024	0,48	Ст. 3
П2.27	—	Фундаментная подушка (1555×920, $h = 100$ мм)	1	—	—	Бетон М100
П2.28	ОВ-02л.47	Поддон	1	—	—	Ст. 3

Примечание. 1. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.
2. Допускается заполнение одной спецификации к нескольким схемам систем отопления и вентиляции.
3. В графе «Обозначение...» допускается указывать завод-изготовитель.

На расчетных схемах в пояснительной записке дополнительно проставляют номера и длины участков. Над чертежом схемы указывают марку и номер системы, например П2, В1.

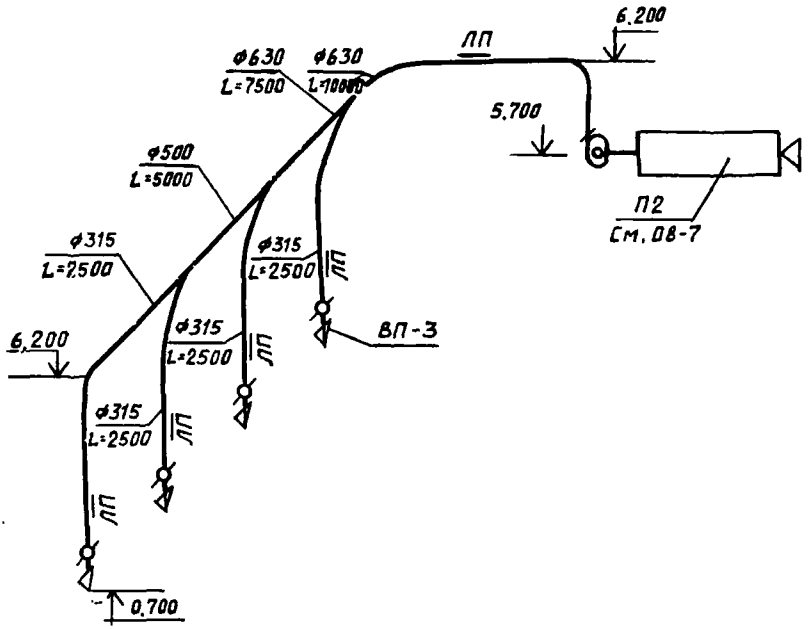


Рис. 1.6. Аксонометрическая схема воздуховодов приточной установки

На аксонометрическую схему системы отопления (теплоснабжения отопительно-вентиляционных установок) наносят номера стояков, диаметры и отметки уровня осей трубопроводов, уклоны, размеры горизонтальных участков трубопроводов (при наличии раз-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

рывов), компенсаторы, неподвижные опоры, запорно-регулирующую арматуру, нагревательные приборы, контрольно-измерительные приборы и другие элементы систем (рис. 1.8, 1.9, 1.10).

На расчетных схемах, приводимых в пояснительной записке, проставляют также номера участков, длины и тепловые нагрузки.

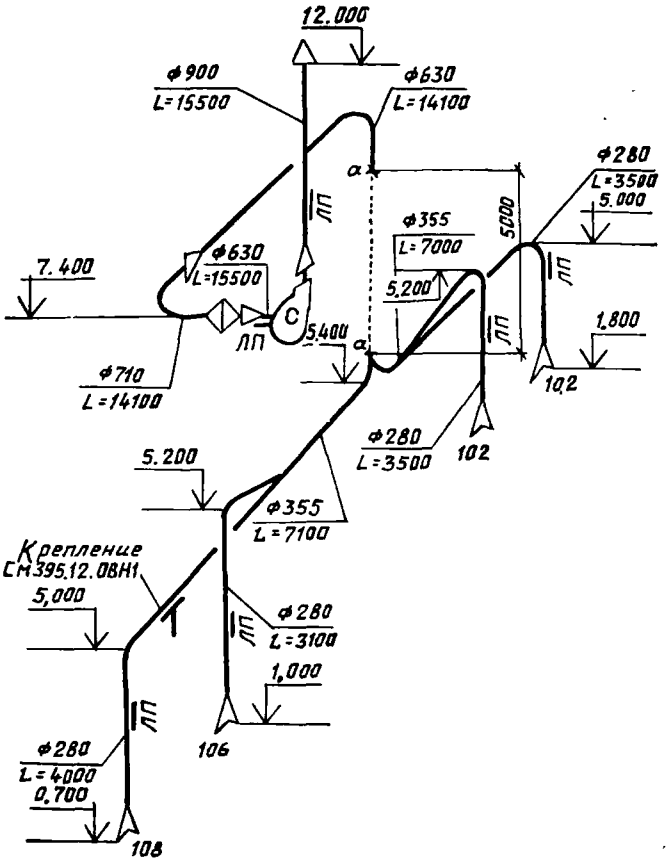


Рис. 1.7. Аксонометрическая схема воздуховодов вытяжной установки

Чертежи отдельных конструктивных элементов или деталей систем вентиляции выполняются в масштабе 1 : 10 или 1 : 5. К таким чертежам относятся следующие: местный отсос (зонт, кожух), приточный или душирующий патрубки, элементы воздушной завесы, крепления вытяжного вентилятора, дефлектора или крышного вентилятора, чертеж приточной (вытяжной) установки системы. Конструктивный элемент выбирается по указанию руководителя проекта.

Чертеж приточной (вытяжной) установки системы (план и разрезы) выполняют в масштабе 1 : 50 или 1 : 100, узлы установок —

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

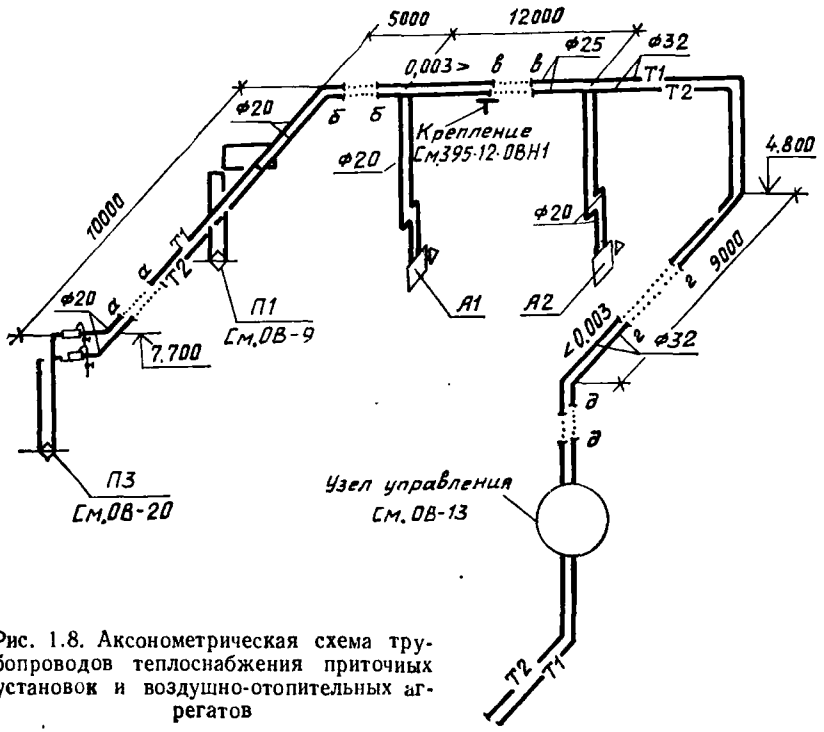


Рис. 1.8. Аксонометрическая схема трубопроводов теплоснабжения приточных установок и воздушно-отопительных агрегатов

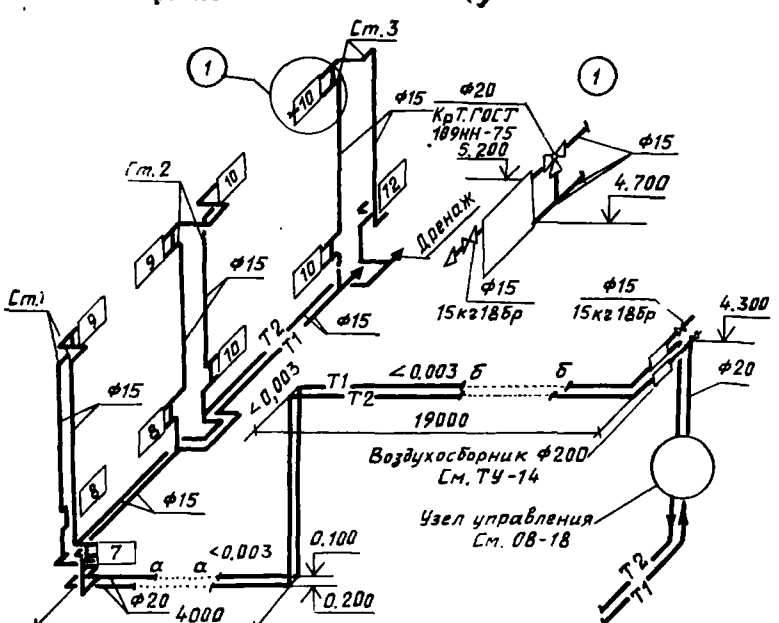


Рис. 1.9. Аксонометрическая схема трубопроводов отопления

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

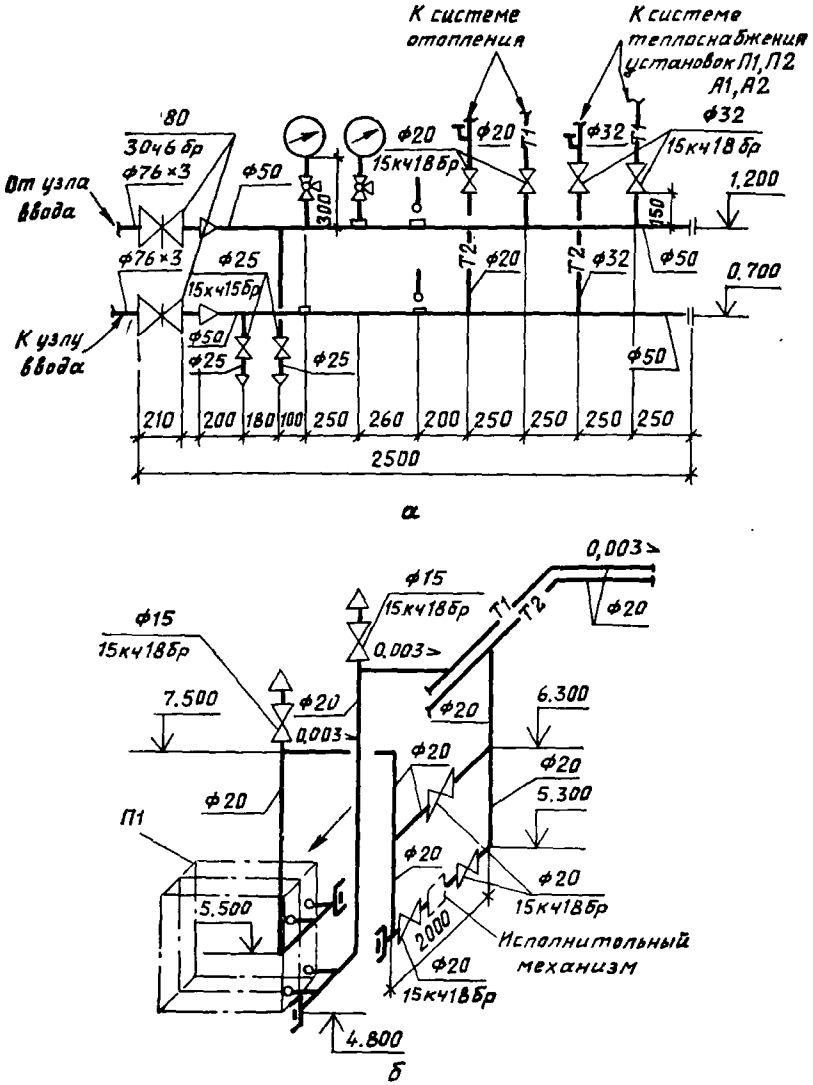


Рис. 1.10. Аксонометрические схемы:
а-узел управления; *б*-обвязка калориферов

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

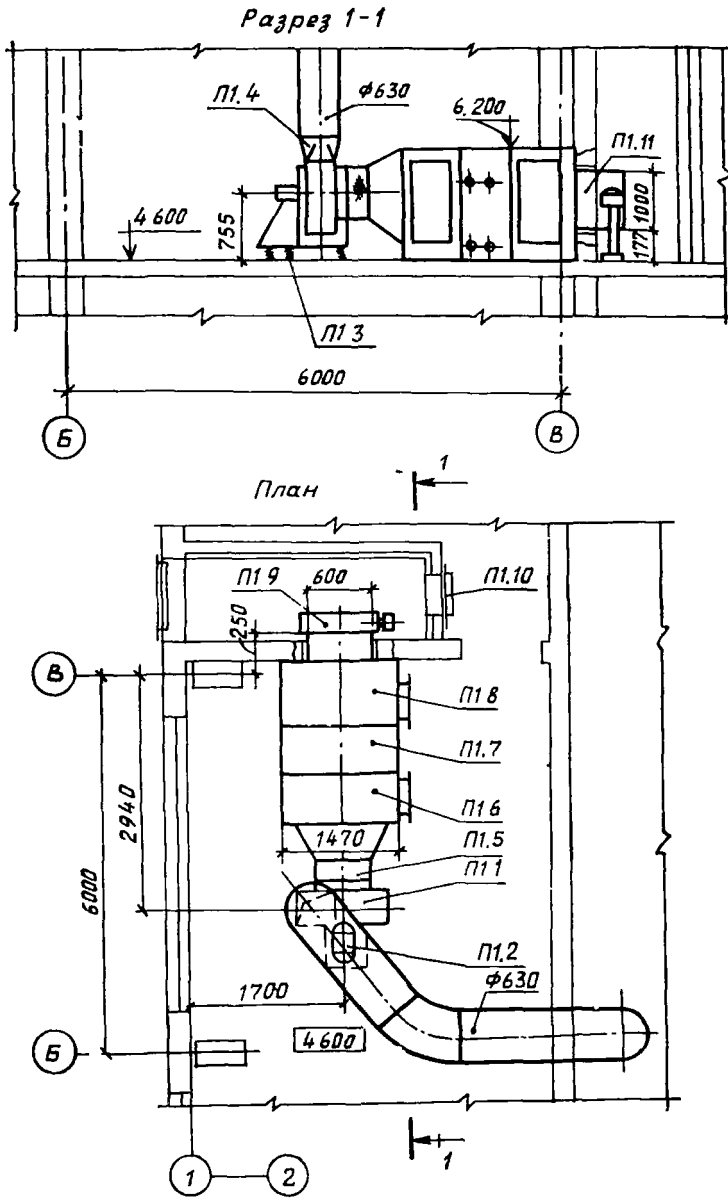


Рис. 1.11. Приточная установка П1 с типовой камерой

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

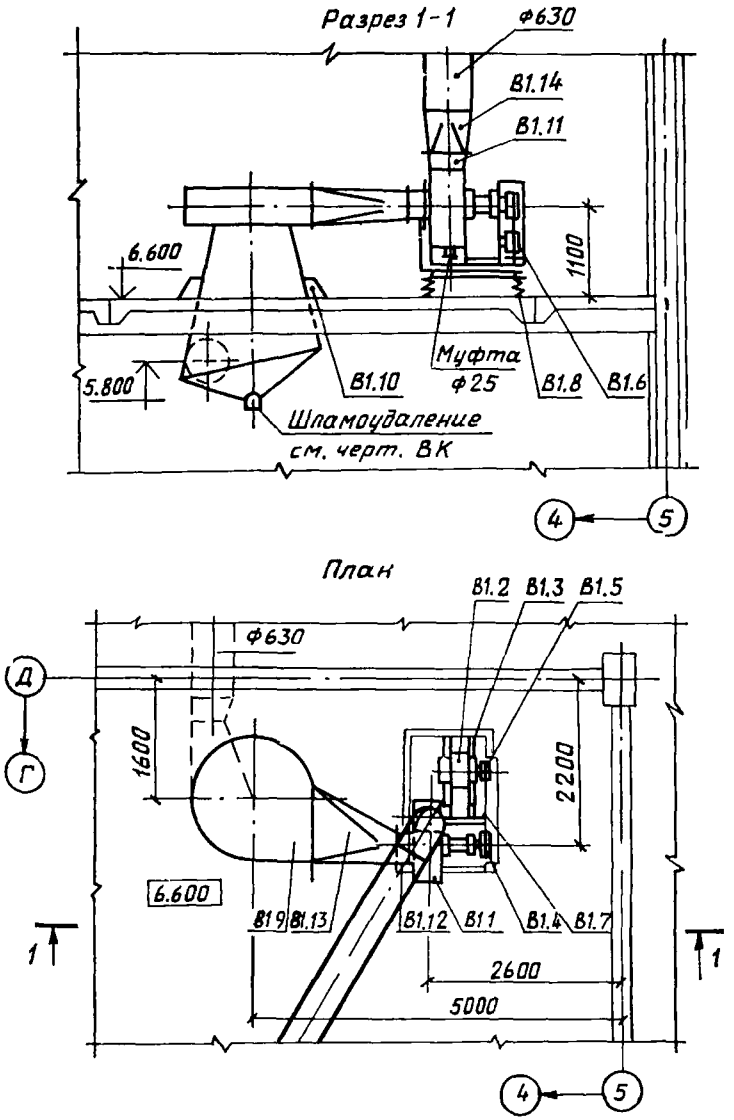


Рис. 1.12. Вытяжная установка В1

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

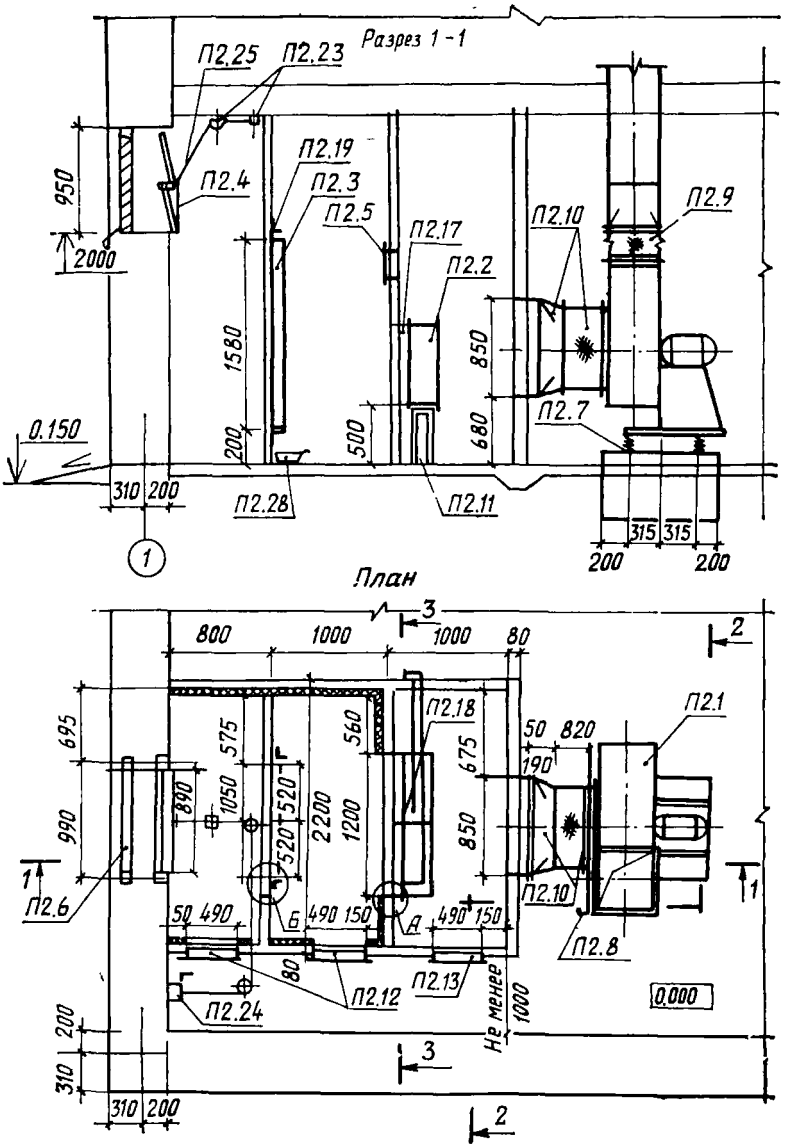
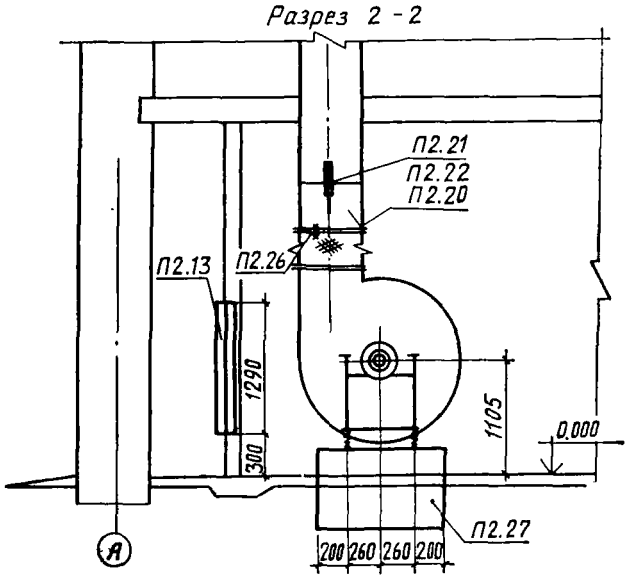
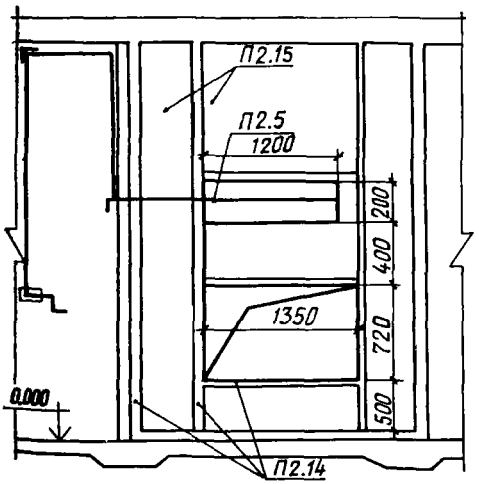
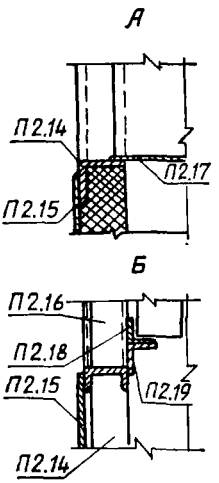


Рис. 1.13. Приточная установка П2 (разрезы

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/







1—1, 2—2, 3—3, план, узлы соединений *А*, *Б*)

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

в масштабе 1 : 20, детальное изображение узлов — в масштабе 1 : 1, 1 : 5 или 1 : 10.

На планах и разрезах приточных (вытяжных) установок систем (рис. 1.11—1.14) показывают координатные оси здания или сооружения и расстояния между ними, основные размеры, отметки и привязки установок к координатным осям. Элементы систем установок изображают упрощенно, воздуховоды на планах — утолщенными, на разрезах — сплошными толстыми основными линиями, строительные конструкции — сплошными тонкими. Элементам установок систем присваивают позиционные обозначения, состоящие из обозначения установки и порядкового номера элемента в пределах установки: П1.1, П1.2, В3.1, В3.2.

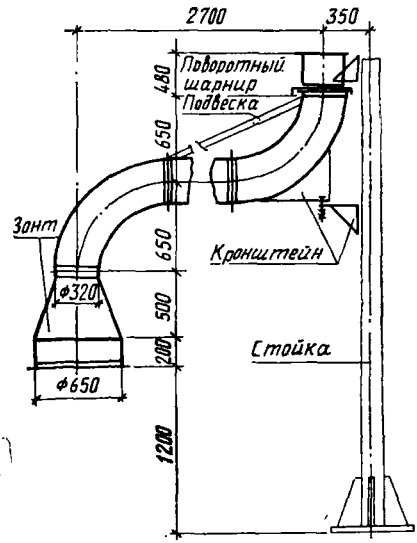


Рис. 1.14. Конструктивный чертеж элемента вентиляционной системы

1.3. ПАРАМЕТРЫ НАРУЖНОГО КЛИМАТА И ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Параметры наружного воздуха принимаются согласно рекомендациям [42] в соответствии с географическим районом расположения объекта. Различают два варианта наружного климата при проектировании вентиляции — параметры А и Б, выбор которых обусловливается следующими положениями.

Для холодного периода года: параметры А принимают при общеобменной вентиляции (с естественным и механическим побуждением), предназначеиной для удаления избытков теплоты, влаги, в том числе вентиляции с испарительным (адиабатическим) охлаждением воздуха;

параметры Б — при общеобменной вентиляции, предназначенной для удаления вредных веществ любого класса опасности, компенсации воздуха, удаляемого местными отсосами и технологическим оборудованием, при вентиляции с испарительным (адиабатическим) охлаждением воздуха, воздушного душирования, воздушных завес, воздушного отопления (совмещенного с приточной вентиляцией), кондиционироваиия воздуха.

В переходных условиях для всех районов страиы за наружную температуру воздуха прииимают температуру $t_н$ = 8 °С, удельную энтальпию J = 22,5 кДж/кг.

Для теплого периода года: параметры А принимают при любых вентиляционных системах, в том числе для вентиляции с адиабати-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ческим охлаждением воздуха; параметры Б — для систем кондиционирования воздуха.

Параметры внутреннего воздуха в соответствии с ГОСТ 12.1.005—76 разделяют на оптимальные и допустимые.

Оптимальные (табл. 1.6 [26]) — сочетания параметров микроклимата (температура t, относительная влажность φ, скорость движения воздуха v), которые при длительном и систематическом воздействии на человека обеспечивают сохранение нормального функционального и теплового состояния организма без напряжения реакций терморегуляции, создают ощущение теплового комфорта

Таблица 1.6

Период года	Категория работ	$t_{р.з}$, °С	$\varphi_{р.з}$, %	$v_{р.з}$, м/с
Холодный и переходные условия	I	20...23	60...40	0,2
	IIа	18...20	60...40	0,2
	IIб	17...19	60...40	0,3
	III	16...18	60...40	0,3
Теплый	I	22...25	60...40	0,2
	IIа	21...23	60.. 40	0,3
	IIб	20...22	60...40	0,4
	III	18...21	60...40	0,5

Таблица 1.7

Категория работ	$t_{р.з}$, °С	$\varphi_{р.з}$, %	$v_{р.з}$, м/с	Температура воздуха вне постоянных рабочих мест, °С
I	19...25	75	0,2	15...26
IIа	17...23	75	0,3	13...24
IIб	15...21	75	0,4	13...24
III	13...19	75	0,5	12...19

Примечание. 1. Категория I — легкие физические работы, производимые сидя или связанные с ходьбой, но не требующие систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей. Энергозатраты при этом не превышают 174 Вт. Относятся работы швейного производства, точного приборостроения, полиграфической промышленности, конторские работы.

2. Физические работы средней тяжести разбиты на две подгруппы по видам деятельности, при которых расход энергии следующий: IIа — 174...232 Вт, IIб — 232...290 Вт. К категории IIа относятся работы, связанные с постоянной ходьбой, а также выполняемые сидя, но не требующие перемещения тяжестей. К категории IIб относятся работы, связанные с ходьбой и переноской тяжестей до 10 кг. Это, например, работы в прядильно-ткацком производстве, механосборочных, сварочных, деревообделочных цехах.

3. Категория III — тяжелые физические работы, связанные с систематическим физическим напряжением, с постоянным передвижением и переноской тяжестей массой свыше 10 кг, энергозатраты превышают 290 Вт. Относятся работы, выполняемые в литейных, мартеновских, кузнечных, термических цехах.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 1.8

Категория работ	Температура воздуха, °С в помещении		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с в помещениях		Температура воздуха вне постоянных рабочих мест t, °С в помещениях	
	с незначительными избытками явной теплоты ($q < 23$ Вт/м³)	со значительными избытками явной теплоты ($q > 23$ Вт/м³)		с незначительными избытками явной теплоты	со значительными избытками явной теплоты	с незначительными избытками явной теплоты	со значительными избытками явной теплоты
I	Не более чем на 3 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более 28 °С	Не более чем на 5 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца, но не более 28 °С	При 28 °С не более 55 При 27 °С не более 60	0,2—0,5	0,2—0,5	Не более чем на 3 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца	Не более чем на 5 выше средней температуры наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца
IIа			При 26 °С не более 65	0,2—0,5	0,3—0,7		
IIб			При 25 °С не более 70 При 24 °С и ниже не более 75	0,3—0,7	0,5—1,0		
III	То же, но не более 26 °С	То же, но не более 26 °С	При 26 °С не более 65 При 25 °С не более 70 При 24 °С и ниже не более 75 °С	0,3—0,7	0,5—1,0		

Примечания. 1. Большая скорость движения воздуха соответствует максимальной температуре воздуха, меньшая — минимальной.

2. Под избытками явной теплоты подразумевают отнесенную к 1м³ внутреннего объема помещения разность между количеством поступившей в помещение теплоты (после осуществления всех строительных и технологических мероприятий по ее уменьшению) и количеством теплоты, теряемой через ограждающие конструкции, включая теплоту, уносимую с воздухом местной вытяжной и общеобменной вентиляцией. Избытки явной теплоты при $q < 23$ Вт/м³ считают незначительными, при $q > 23$ Вт/м³ — значительными.

3. Для производственных помещений, оборудованных системами вентиляции с механическим побуждением или кондиционирования воздуха и имеющих высоту $H > 6$ м, если технологические источники выделения теплоты расположены в пределах высоты $H \leqslant 6$ м, характеристику каждого помещения (т. е. величину q) по избыткам явной теплоты следует определять исходя из условного объема помещения, имеющего высоту $H = 6$ м.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4. В отапливаемых производственных помещениях, а также в помещениях со значительными избытками явной теплоты, где на каждого работающего приходится площади пола от 50 до 100 м², допускается в холодный период года и в переходных условиях такое понижение температуры воздуха вне постоянных рабочих мест против нормированных: до 12 °С — при легких работах, до 10 °С — при работах средней тяжести и до 8 °С — при тяжелых работах. При этом на рабочих местах необходимо поддерживать метеорологические условия согласно табл. 1.6, 1.7 для холодного периода года и переходных условий.

5. В производственных помещениях с площадью пола на одного работающего более 100 м² температура, относительная влажность, скорость движения воздуха, предусмотренные в табл.1.8, должны обеспечиваться только на постоянных рабочих местах.

6. В помещениях со значительным выделением влаги допускается на постоянных рабочих местах повышение относительной влажности воздуха, приведенной в табл. 1.8 для теплого периода года, в таких пределах: при тепловлажностном отношении менее 6279 кДж/кг, но более 4186 кДж/кг — не более чем на 10 %, но не выше 75 %; при тепловлажностном отношении менее 4186 кДж/кг — не более чем на 20 %, но не выше 75 %. При этом температура воздуха в помещениях не должна превышать 28 °С при легкой работе и работе средней тяжести и 26 °С — при тяжелой работе.

7. В производственных помещениях, в которых по условиям технологии производства требуется искусственное поддержание постоянной температуры или температуры и относительной влажности воздуха, допускается во все периоды года и в переходных условиях принимать температуру и относительную влажность воздуха в пределах оптимальных параметров (+2 °С, но не более 25) для теплого и холодного периодов года по данной категории работ и характеристике производственного помещения.

8. В случае, когда средняя температура наружного воздуха в 13 ч самого жаркого месяца превышает 25 °С (23 °С — для тяжелых работ), допустимые температуры воздуха в производственных помещениях на постоянных рабочих местах, указанные в табл. 1.8, можно повышать в теплый период года при сохранении указанных в той же таблице значений относительной влажности воздуха:

на 3 °С, но не выше 31 — в помещениях с незначительными избытками явной теплоты;

на 5 °С, но не выше 33 — в помещениях со значительными избытками явной теплоты;

на 2 °С, но не выше 30 — в помещениях, в которых по условиям технологии производства требуется искусственное поддержание температуры и относительной влажности воздуха, независимо от избытков явной теплоты. При выполнении тяжелой физической работы все указанные превышения допустимых температур воздуха должны приниматься на 2 °С ниже.

9. В районах с повышенной относительной влажностью наружного воздуха допускается в зданиях и сооружениях принимать при определении требуемого воздухообмена для теплого периода года относительную влажность воздуха в рабочей зоне на 10 % выше установленной в табл. 1.8.

10. В холодный период года и в переходных условиях в производственных помещениях, в которых ведутся работы средней тяжести и тяжелые, а также при использовании системы отопления и вентиляции с сосредоточенной подачей воздуха допускается повышение скорости движения воздуха до 0,7 м/с на постоянных рабочих местах при одновременном повышении температуры воздуха на 2 °С.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

и способствуют высокой работоспособности. Оптимальные параметры создаются системами кондиционирования воздуха.

Допустимые (табл. 1.7 для холодного периода года и переходных условий, 1.8 для теплого периода [26]) — сочетания параметров микроклимата, которые могут вызвать переходящие и быстро нормализующиеся изменения функционального и теплового состояния организма и напряжения реакции терморегуляции, не выходящие за пределы физиологических приспособительных возможностей. При этом не возникает повреждений или нарушений состояния здоровья, но могут наблюдаться дискомфорты теплоощущения, ухудшение самочувствия и понижение работоспособности. Допустимые параметры создаются системами вентиляции. В тех случаях, когда системы вентиляции не обеспечивают допустимых параметров, применяют кондиционирование воздуха.

Глава 2

ПОСТУПЛЕНИЯ И ПОТЕРИ ТЕПЛОТЫ

2.1. РАСЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ

Теплопоступления от людей зависят от характера выполняемой работы, температуры и подвижности окружающего воздуха. В практических расчетах, как правило, учитывают только явную теплоту (табл. 2.1), поскольку скрытая теплота, увеличивая энтальпию воздуха, значительного влияния на его температуру не оказывает.

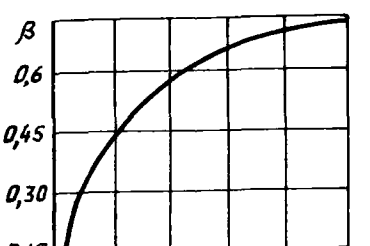


Рис. 2.1. Зависимость β от критерия F_0

Тепловыделения от остывающего металла при фазовом превращении металла из жидкого в твердое состояние определяются по формуле $Q_м = 0{,}278G_м[C_ж(t_н - t_{пл}) + i + C_{тв}(t_{пл} - t_к)]/\tau$, при отсутствии фазового превращения (жидкое и твердое состояние) $Q_м = 0{,}278G_мC(t_н - t_к)/\tau$. Здесь $G_м$ — масса остывающего металла, кг; $C_ж$ — удельная теплоемкость металла в жидком состоянии от 0 до температуры плавления $t_{пл}$, кДж/(кг · К) (табл. 2.2 [16]); $C_{тв}$ — то же в твердом состоянии от 0 до температуры $t_к$, кДж/(кг · К) (табл. 2.2); $t_н$, $t_к$ — температура металла в начале и в конце остывания, °С; i — скрытая теплота плавления металла, кДж/кг (табл. 2.2); C — теплоемкость металла, соответствующая фазовому состоянию, кДж/(кг · К); τ — время остывания металла в данном помещении, ч.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.1

Характер выполняемой работы	Температура воздуха, °С	Теплопоступления q, Вт			Влаговыделения W, г/ч	Выделение CO_2, г/ч
		явные	скрытые	суммарные		
Состояние покоя людей (в театрах, клубах, залах собраний)	15	116	29	145	40	
	20	87	29	116	40	
	25	58	35	93	50	23
	30	40	53	93	75	
	35	16	77	93	115	
Легкая	15	122	35	157	55	
учреждения, вузы, швейное производство, приборостроение, машиностроение, полиграфическая промышленность и др.	20	99	52	151	75	
	25	64	81	145	115	25
	30	40	105	145	150	
	35	8	137	145	200	
Средней тяжести	15	133	75	208	110	
ткацко-прядильное производство, механо-сборочные, деревообрабатывающие, сварочные цехи	20	104	99	203	140	
	25	70	127	197	185	35
	30	40	157	197	230	
	35	8	189	197	280	
Тяжелая	15	162	128	290	185	
кузнечные, литейные, термические, мартеновские, прокатные цехи	20	128	162	290	240	
	25	93	197	290	295	45
	30	52	238	290	355	
	35	16	274	290	415	

Примечание. 1. Данные приведены из расчета на одного взрослого мужчину. Для женщин они принимаются с коэффициентом 0,85.

2. Тепло- и влаговыделения от людей в промышленных помещениях следует учитывать, если объем помещения на одного человека составляет менее 40 м³.

Таблица 2.2

Материал	Температура плавления $t_{пл}$, °С	Теплота плавления i, кДж/кг	Теплоемкость, кДж/(кг · К)	
			$c_ж$	$c_{тв}$
Сталь	1300...1500	92...100	1,17	0,73
Чугун	1050...1500	96...100	1,05	0,76

Тепловыделения от остывающих материалов и изделий можно также подсчитать по формуле $Q_м = 0{,}278\, Gc\, (t_н - t_к)\, \beta$, где G — масса материала, кг/ч; C — его средняя теплоемкость, кДж/(кг·К); β — коэффициент, учитывающий интенсивность теплоотдачи по времени. Значение β зависит от размеров, формы, теплофизических свойств тела, продолжительности его охлаждения. Приближенно его можно определить по графику на рис. 2.1 в зависимости от критерия Фурье $Fo = \Delta\tau/cGR$, где $\Delta\tau$ — время охлаждения, с; G —

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

масса материала кг; R — полное сопротивление теплопередаче со всей поверхности тела, (м² · К)/Вт,

$$R = \frac{G}{\rho\lambda F^2} + \frac{1}{\alpha_{пов} F}.$$

Здесь ρ — плотность материала, изделия, кг/м³; λ — его теплопроводность, Вт/(м · К); F — площадь внешней теплоотдающей поверхности, м²; $\alpha_{пов}$ - коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности к окружающему воздуху, Вт/(м² · К).

Пример. Определить теплопоступления в цех от остывающей стальной отливки диаметром $d = 300$ мм и длиной $l = 900$ мм. Начальная температура отливки $t_н = 800$ °С, конечная $t_к = t_в = 20$ °С. Плотность металла отливки $\rho = 7700$ кг/м³, удельная теплоемкость $c = 0{,}73$ кДж/(кг · К) (по табл 2.2), теплопроводность $\lambda = 58$ Вт/(м · К).

Решение. Определяем массу отливки $G = V\rho = 0{,}785 d^2 l \rho = 0{,}785 \times 0{,}3^2 \cdot 0{,}9 \cdot 7700 = 490$ кг. Находим поверхность отливки $F = \pi dl = 3{,}14 \times 0{,}3 \cdot 0{,}9 = 0{,}848$ м² и коэффициент теплоотдачи от внешней поверхности

$$\alpha_{пов} = \alpha_к^г + \alpha_л = 3{,}25 \sqrt[4]{t_{пов} - t_в} + \frac{c_{пр}\left[\left(\frac{273 + t_{пов}}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + t_в}{100}\right)^4\right]}{t_{пов} - t_в} =$$

$$= 3{,}25 \sqrt[4]{800 - 20} + \frac{4{,}64\left[\left(\frac{273 + 800}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + 20}{100}\right)^4\right]}{800 - 20} = 95{,}6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Вычисляем сопротивление теплопередаче

$$R = \frac{G}{\rho\lambda F^2} + \frac{1}{\alpha_{пов} F} =$$

$$= \frac{490}{7700 \cdot 58 \cdot 0{,}848^2} + \frac{1}{95{,}6 \cdot 0{,}848} = 0{,}014 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}.$$

Находим критерий Фурье $Fo = \Delta\tau / cGR = 3600/0{,}73 \cdot 10^3 \cdot 490 \cdot 0{,}014 = 0{,}72$. По графику рис. 2.1 $\beta = 0{,}92$. Определяем тепловыделения в помещение от отливки за первый час,

$$Q_м = 0{,}278 Gc (t_и - t_к) \beta = 0{,}278 \cdot 490 \cdot 0{,}73 \cdot (800 - 20) \cdot 0{,}92 = 71\,360 \text{ Вт}.$$

Тепловыделения от металла при конвейерном литье и на плацу обычно определяются по данным технологов, или приведенным в табл. 2.3, 2.4 [17].

Тепловыделения от источников освещения находим по формуле $Q_{осв} = EFq_{осв}\eta_{осв}$, где E — освещенность рабочих поверхностей, лк [44]:

E = 150 — кузнечные, термические, прессовые, холодноштамповочные, малярные, сборочные цехи и цехи металлопокрытий; 200 — механические, сборочно-сварочные, деревообрабатывающие и модельные цехи; 75 — отделения литейных цехов (формовки, обрубки, очистки); 150 — плавильно-заливочные и выбивки; поме-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.3

Источник тепловыделений	Тепловыделения при конвейерном литье на 1 т заливаемого металла, Вт	
	Мелкое литье (15...30 кг)	Среднее литье (30...500 кг)
В помещениях заливки	23200	34800
В охладительном кожухе	17400	17400
В помещеннях выбивки:		
при удалении выбитых отливок	17400	23200
при оставлении выбитых отливок в помещении	29000	34800
В помещении очистки при подаче горячих отливок	23200	23200
То же при подаче холодных отливок	11600	11600
Теплота в горелой оборотной земле	29000	34800

Таблица 2.4

Показатель	Вид литья (на плацу)		
	Мелкое (15...30 кг)	Среднее (30...500 кг)	Крупное (500 кг)
Тепловыделения (явные) на 1 т выплавляемого металла при рассеянном литье в земляные опоки, Вт	116000	156000	197200
Тепловыделения при литье в сухие формы или в кокили, Вт	295800	295800	295800

Таблица 2.5

Светильник	Распределение светового потока, %		$q_{осв}$, Вт/(м² · лк) для помещений площадью, м²					
			50		50...200		200	
			Высота помещения, м					
	вверх	вниз	3,6	3,6	3,6	3,6	4,2	4,2
Прямого света	0...10	100.. 90	0,1	0,077	0,073	0,058	0,067	0,056
Преимущественно прямого света	10...40	90...60	0,12	0,091	0,087	0,073	0,083	0,071
Диффузного рассеянного света	40...60	60...40	0,166	0,116	0,076	0,079	0,094	0,077
Преимущественно отраженного света	60...90	40...10	0,233	0,166	0,152	0,114	0,141	0,108
Отраженного света	90...100	10...0	0,264	0,181	0,155	0,116	0,145	0,108

Примечание. При использовании ламп накаливания необходимо вводить поправочный коэффициент 2,75.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

щения гаражей: 200 — механического обслуживания и ремонта, 150 — мойки, 20 — хранения автомобилей; F — площадь пола помещения, м²; $q_{осв}$ — удельные тепловыделения от люминисцентных ламп, Вт/(м² · лк) (табл. 2.5 [3]); $\eta_{осв}$ — доля теплоты, поступающей в помещение: $\eta_{осв} = 0{,}45$ от люминисцентных ламп, находящихся за пределами помещения (чердачные помещения бесфонарного здания, остекленные стены и т. д.), или от светильников, снабженных местными отсосами, $\eta_{осв} = 0{,}15$ от ламп накаливания.

Пример. Определить тепловыделения от ламп накаливания в механическом цехе, площадь пола которого $F = 400$ м², высота цеха $h = 4$ м. Получим

$$Q_{осв} = EFq_{осв}\eta_{осв} = 200 \quad 400 \cdot 0{,}067 \cdot 0{,}15 \cdot 2{,}75 = 2200 \text{ Вт}.$$

При составлении теплового баланса помещения тепловыделения от источников общего освещения следует рассматривать с учетом времени суток. Освещение рабочих мест от времени года и суток не зависит.

Тепловыделения от нагревательных печей можно определить тремя способами: а) по тепловым балансам печей, б) по теплопередаче через стенки печей, в) по теплоотдаче от наружных поверхностей печей.

Согласно способу «а», если по тепловому балансу печи потери в цехе составляют $\eta = 30\%$, то при расходе газа 10 м³/ч с теплотой сгорания $Q_н^р$ (природный газ — 35620, доменный газ — 18860 кДж/м³; мазут — 38970, каменный уголь — 25140 кДж/кг) тепловыделение печи в окружающий воздух будет равно $Q_а = 0{,}278\ VQ_н^р\eta = 0{,}278 \cdot 10 \cdot 35620 \cdot 0{,}3 = 29700$ Вт. Этот способ самый простой и наименее точный, так как при испытаниях печей потери теплоты в окружающую среду определяют чисто ориентировочно — как несогласованность отдельных статей баланса.

По способу «б» тепловыделение определяют по известным формулам $q_б = K_т(t_п - t_{р.з})$, где $q_б$ — теплота, передаваемая через 1 м² кладки печи, Вт/м²; $K_т$ — коэффициент теплопередачи, Вт/(м² · К),

$$K_т = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_в} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_0}},$$

$t_п$ — температура газов в печи, °С, средние значения которой приведены в табл. 2.6; δ — толщина слоев кладки печи из разных материалов, м; λ — коэффициент теплопроводности материалов, Вт/(м · К); $\alpha_в$ — коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности печи, значение которого колеблется в пределах $\alpha_в = 29 \ldots 46{,}4$ Вт/(м² · К); $\alpha_о$ — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности печи, приближенно $\alpha_о = 17{,}4$ Вт/(м² · К). Для более точных расчетов значение $\alpha_о$ определяется по формулам теории теплопередачи; $t_{р.з}$ — температура воздуха в рабочей зоне, °С.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.6

Цех	Тип печей	$t_п$, °С
Кузнечный	Камерные для нагрева, ковки, штамповки, отжига, закалки	1200
Термический	Камерные для термообработки, нормализации, цементации, отжига и др.	900
	То же для высокого отпуска, азотирования, цианирования	600
	Ванны с подогревом: цианистая, свинцовая, соляная	850
	То же селитровая для отпуска	300

Стенки производственных печей обычно выкладывают двумя слоями: верхний из красного кирпича ($\delta = 0{,}24 \ldots 0{,}36$ м) и внутренняя футеровка из динасового, шамотного или магнезитового кирпича ($\delta = 0{,}12 \ldots 0{,}24$ м). Своды печей делают трехслойными: огнеупорным кирпичом ($\delta = 0{,}24$ м), шлаком ($\delta = 0{,}05 \ldots 0{,}1$ м) и красным кирпичом ($\delta = 0{,}12$ м) в качестве верхнего защитного слоя. Коэффициент теплопроводности λ для кладки промышленных печей следует принимать с учетом характеристик огнеупорного и теплоизоляционного кирпичей (табл. 2.7 [6]).

Таблица 2.7

Вид кирпича	Объемная масса γ, кг/м³	Максимально допустимая температура, °С	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м · К)
Красный и шамотный	1800...1900	1350...1450	$(0{,}72 + 0{,}5 \cdot 10^{-3}t)$ 1,16
Динасовый	1900...1950	1700	$(0{,}8 + 0{,}6 \cdot 10^{-3}t)$ 1,16
Магнезитовый	1600...1800	1650...1700	$(5{,}31 + 2{,}5 \cdot 10^{-3}t)$ 1,16
Диатомитовый	580	900	$(0{,}1 + 0{,}0002t)$ 1,16
Пенодиатомитовый	450	900	$(0{,}08 + 0{,}0002t)$ 1,16
Доменный шлак			$(0{,}22 + 0{,}00055t)$ 1,16

Пример 1. Определить потери теплоты через 1 м² стенки нагревательной печи, состоящей из двух слоев: слоя динасового кирпича толщиной $\delta_1 = 0{,}12$ м и слоя красного кирпича при $\delta_2 = 0{,}24$ м, если температура газов внутри печи $t_п = 1200$ °С, а температура воздуха в рабочей зоне $t_{р.з} = 20$ °С.

Решение. Принимаем среднюю температуру динасового кирпича $t_1 \approx 1000$ °С, красного $t_2 = 400$ °С. Тогда по формулам табл. 2.7 получаем для динасового кирпича

$\lambda_1 = (0{,}8 + 0{,}6 \cdot 10^{-3}\ t_1) \cdot 1{,}16 = (0{,}8 + 0{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot 1000) \cdot 1{,}16 = 1{,}62$ Вт/(м · К); для красного $\lambda_2 = (0{,}72 + 0{,}5 \cdot 10^{-3} t_2) \cdot 1{,}16 = (0{,}72 + 0{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 400) \cdot 1{,}16 = 1{,}07$ Вт/(м · К).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Вычисляем коэффициент теплопередачи

$$K_т = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_0}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{34{,}8} + \frac{0{,}12}{1{,}62} + \frac{0{,}24}{1{,}07} + \frac{1}{17{,}4}} = 2{,}6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Затем находим $q_б = K_т(t_п - t_{р.з}) = 2{,}6(1200-20) = 3068$ Вт/м^2.

Подсчет значения $q_б$ можно также произвести с помощью графика на рис. 2.2.

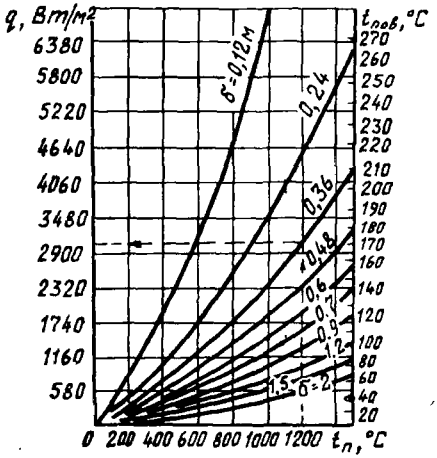


Рис. 2.2. Определение теплоотдачи печей: δ-толщина стеики печи, м; $t_п$-температура в печи, °С; $t_{пов}$-температура поверхности печи, °С

Пример 2. Произведем тот же расчет по графику рис. 2.2. При общей толщине стенки печи 0,36 м и температуре газов в печи $t_п$ = = 1200 °С по графику получаем $q_б$ = 3190 Вт/м^2, что расходится с ранее определенным значением всего на 3,6 %. Это расхождение обусловлено приближенностью принятых для аналитического расчета средних температур слоев кладки. Поскольку погрешность в средних температурах даже порядка 100 °С незначительно отражается на коэффициент λ, а следовательно, и на $q_б$, пересчета не делают.

При подсчете теплоотдачи от наружных поверхностей печи способом «в» используют зависимость $q_в = q_к + q_л$, где $q_к$ — теплоотдача конвекцией, $q_к = \alpha_к(t_{пов} - t_{р.з})$; $q_л$ — теплоотдача лучеиспусканием,

$$q_л = C_{пр}\left[\left(\frac{273 + t_{пов}}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + t_{р.з}}{100}\right)^4\right].$$

В приведенных формулах $\alpha_к$ — коэффициент конвекции, Вт/(м^2·К),

для вертикальных поверхностей $\alpha_к^в = 2{,}52\sqrt[4]{t_{пов} - t_{р.з}}$,

для горизонтальных поверхностей $\alpha_к^г = 3{,}25\sqrt[4]{t_{пов} - t_{р.з}}$.

Поверхность нагрева	Температура					
	25	30	35	40	45	5
Горизонтальная, обращенная вниз	7,5	8,0	8,4	8,6	8,8	9,4
Горизонтальная, обращеннаи вверх	10	10,7	11,6	11,9	12,3	13,1
Вертикальиая	8,9	9,5	10,2	10,6	10,8	11,5

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Для горизонтальных поверхностей, обращенных вниз, коэффициент $\alpha_к^г$, подсчитанный по формуле, следует уменьшить на 25...30 %. Значения $\alpha_к$ при температуре окружающего воздуха 20 °С для кирпичных и окрашенных стен из металла приведены в табл. 2.8. Приведенный коэффициент лучеиспускания

$$C_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}},$$

где c_1, c_2 — коэффициенты излучения взаимно облучающихся поверхностей; c_3 — коэффициент излучения абсолютно черного тела. В практических расчетах можно принимать $c_{пр} = 4{,}64$ Вт/(м² · К).

Пример. Для условий предыдущего примера определнть тепловыделения от 1 м² наружной поверхностн стенкн печи.

Решенне. Пользуясь графнком рис. 2.2 прн $t_п = 1200$ °С н толщине стенкн печн 0,36 м, находнм температуру наружной поверхности стенкн $t_{пов} = 172$ °С. Далее определяем

$$\alpha_к^в = 2{,}55\sqrt[4]{t_{пов} - t_{р.\,з}} = 2{,}55\sqrt[4]{172 - 20} = 8{,}95 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)};$$

$$q_к = \alpha_к^в (t_{пов} - t_{р.\,з}) = 8{,}95\,(172 - 20) = 1360 \text{ Вт/м}^2;$$

$$q_л = c_{пр}\left[\left(\frac{273 + t_{пов}}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + t_{р.\,з}}{100}\right)^4\right] =$$

$$= 4{,}64\left[\left(\frac{273 + 172}{100}\right)^4 - \left(\frac{273 + 20}{100}\right)^4\right] = 1520 \text{ Вт/м}^2.$$

Общая теплоотдача 1 м² поверхностн кладки $q_в = q_к + q_л = 1360 + 1520 = 2880$ Вт/м².

Для вертикальных поверхностей в диапазоне температур 50... ...250 °С при $t_в = 20$ °С и $C_{пр} = 4{,}64$ Вт/(м² · К) значение $q_в = q_к + q_л$ можно подсчитать по упрощенной формуле

$$q_в = \frac{t_{пов}^2}{17} + 7{,}7t_{пов} - 200.$$

Теплоотдача через свод печи (горизонтальная поверхность) определяется так же, как и через стенки, а теплоотдача через под обычно

Таблица 2.8

поверхности нагрева, °С										
60	70	80	90	100	125	150	200	300	400	500
9,7	10,6	10,8	11,4	11,8	13,2	14,4	16,9	23,2	31,2	41,5
14,5	14,7	15,2	16,0	16,7	18,4	19,8	22,9	29,7	38,4	49,0
12,2	12,9	13,3	14,0	14,6	16,2	17,5	20,3	27,1	35,4	45,8

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

вовсе не учитывается в связи с тем, что под хорошо изолирован и количество теплоты, передаваемой воздуху через грунт, ничтожно.

Помимо аналитического расчета при определении тепловыделений способом «в» можно пользоваться данными табл. 2.9, подсчитанными по формуле Стефана — Больцмана — Нуссельта, а также графиками, приведенными в справочной литературе. Кроме теплоотдачи стенок и свода подсчитывают теплоту, излучаемую через рабочие отверстия печей, по формуле

$$Q_0 = \varphi F_0 q_л \frac{z}{60},$$

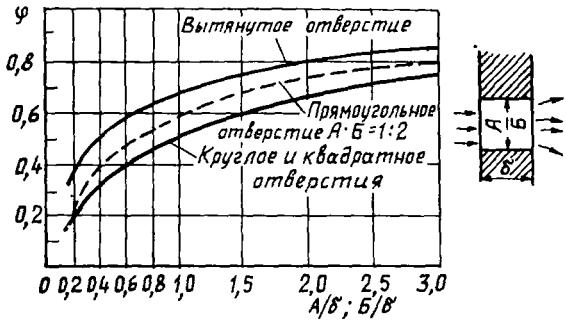


Рис. 2.3. Определения коэффициента φ

где φ — коэффициент диафрагмирования (рис. 2.3); F_0 — площадь открытого отверстия, м²; $q_л$ — теплоизлучение через 1 м² отверстия печи, Вт/м² (определяется по ранее приведенной формуле); z — среднее за 1 ч количество минут, в течение которых отверстие открыто.

Пример. Определить теплоизлучение через отверстие печи квадратной формы площадью $F_0 = 0{,}5 \times 0{,}5$ м, если в течение 1 ч оно открывается на 20 мин и если толщина стенки печи $\delta = 0{,}36$ м, а температура в печи $t_п = 1200$ °С.

Р е ш е н и е. При отношении ширины отверстия к толщине стенки печи $0{,}5 : 0{,}36 = 1{,}39$ коэффициент диафрагмирования φ в соответствии с рис. 2.3 равен примерно 0,6, а удельное излучение

$$q_л = 4{,}64\left[\left(\frac{273+1200}{100}\right)^4 - \left(\frac{273+20}{100}\right)^4\right] = 218\,100 \text{ Вт/м}^2.$$

Полное излучение через отверстие

$$Q_0 = \varphi F_0 q_л \frac{z}{60} = 0{,}6 \cdot 0{,}25 \cdot 218\,100 \frac{20}{60} = 10\,900 \text{ Вт}$$

достаточно значительно, поэтому пренебрегать им при определении общего тепловыделения от печи не следует.

Если над печью имеется зонт, перекрывающий ее в плане, учитывается только лучистая теплота от боковых стенок печи, конвективная теплота и тепловыделения свода в расчет не принимаются.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.9

Температура поверхности, °С	Тепловыделение с 1 м² нагретой поверхности, Вт при $t_в = 20$ °С и следующих значениях $t_{р.з}$, °С											
	30		25		20		15		10		5	
	Расположение поверхностей нагрева											
	вертикальное	горизонтальное	вертикальное	горизонтальное	вертикальное	горизонтальное	вертикальное	горизонтальное	вертикальное	горизонтальное	вертикальное	горизонтальное
40	99	111	155	175	211	253	269	307	326	375	385	444
50	222	252	281	320	343	390	403	462	476	534	525	594
60	358	406	445	503	485	554	549	617	612	704	675	778
70	566	578	573	643	639	732	705	797	770	940	836	963
80	668	761	737	840	805	920	872	999	940	1080	1007	1159
90	841	956	911	1038	980	1221	1050	1202	1118	1295	1186	1363
100	1024	1163	1095	1248	1167	1334	1237	1414	1307	1498	1494	1582
110	1218	1384	1290	1465	1363	1553	1436	1640	1508	1727	1579	1811
120	1422	1612	1498	1702	1572	1791	1645	1876	1602	1966	1906	2050
130	1640	1858	1716	1948	1791	2039	1912	2172	1940	2217	2014	2301
140	1868	2116	1944	2204	2021	2301	2097	2378	2219	2521	2247	2564
150	2108	2386	2187	2474	2264	2566	2341	2658	2416	2748	2492	2839
160	2359	2662	2485	2803	2517	2862	2595	2942	2673	3035	2749	3126
170	2624	2956	2822	3168	2784	3146	2863	3240	2942	3334	3019	3427
180	2902	3264	3100	3361	3064	3464	3145	3552	3235	3660	3313	3739
190	3076	3470	3276	3683	3357	3782	3437	3876	3517	3964	3596	4066
200	3499	3900	3581	4019	3662	4110	3744	4214	3830	4321	3905	4417
210	3816	4264	4481	4372	3985	4475	4066	4567	4147	4664	4227	4762
220	4126	4642	4234	4736	4319	4835	4401	4936	4483	5026	4565	5132
230	4498	5016	4583	5118	4669	5211	4748	5315	4835	5403	4917	5518

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

Теплопоступления с продуктами сгорания, прорывающимися в помещение через открытые отверстия и неплотности печи,

$$Q_{\text{п. с}} = 0{,}278 c G_{\text{г}} (t_{\text{г}} - t_{\text{р. з}}),$$

где c — удельная теплоемкость, кДж/(кг · К); $G_{\text{г}}$ — количество выбивающихся из печи газов, кг/ч; $G_{\text{г}} = 3600 \mu F_0 v_{\text{г}} \rho_{\text{г}} \frac{z}{60}$; μ — коэффициент, учитывающий сужения струи газа при выходе из отверстия $\mu \approx 0{,}6$; F_0 — площадь рабочего отверстия печи, м²; $v_{\text{г}}$ — скорость выбивающихся из отверстия печи газов, м/с; $v_{\text{г}} = \sqrt{2\Delta p/\rho_{\text{г}}}$; Δp — избыточное давление в печи, равное примерно 1 . . . 5 Па, под действием которого газы выходят из отверстия; $\rho_{\text{г}}$ — объемная масса выбивающихся из печи газов, кг/м³, $\rho_{\text{г}} = 353/(273 + t_{\text{г}})$; $t_{\text{г}}$ — температура газов, поступающих в цех, обычно принимается на 150 °С ниже температуры в печи (см. табл. 2.6); z — время, в течение которого открыта загрузочная дверца, мин.

Пример. Для условий предыдущего примера определить теплоту, содержащуюся в выбивающихся из печи газах, если в печи поддерживается избыточное давление $\Delta p = 2$ Па.

Р е ш е н и е. По приведенным ранее формулам определяем

$$\rho_{\text{г}} = \frac{353}{273 + t_{\text{г}}} = \frac{353}{273 + (1200 - 150)} = 0{,}267 \text{ кг/м}^3;$$

$$v_{\text{г}} = \sqrt{2\Delta p/\rho_{\text{г}}} = \sqrt{2 \cdot 2/0{,}267} = 3{,}8 \text{ м/с};$$

$$G_{\text{г}} = 3600 \mu F_0 v_{\text{г}} \rho_{\text{г}} \frac{z}{60} = 3600 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}25 \cdot 3{,}8 \cdot 0{,}267 \cdot \frac{20}{60} = 183 \text{ кг/ч};$$

$$Q_{\text{п. с}} = 0{,}278 c G_{\text{г}} (t_{\text{г}} - t_{\text{р. з}}) = 0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot 183 (1050 - 20) = 52\,662 \text{ Вт}.$$

При устройстве над загрузочным отверстием зонта учитывается 30 % теплопоступлений с выбивающимися газами.

Объем газов, прорывающихся в помещение через неплотности кладки печи и боровов, составляет 3...8 % общего количества продуктов сгорания, образующихся в печи.

Тепловыделения от зонта над загрузочным отверстием печи находим по уравнению

$$Q_{\text{з}} = k F_{\text{з}} (t_{\text{см}} - t_{\text{р. з}}),$$

где k — коэффициент теплопередачи укрытия, $k \approx 4{,}64$ Вт/(м² · К); $F_{\text{з}}$ — площадь поверхности укрытия, м²; $t_{\text{см}}$ — температура смеси газов и воздуха под укрытием, $t_{\text{см}} = 150 \ldots 200$ °С.

Пример. Поверхность зонта над загрузочным отверстием печи $F_{\text{з}} = 6{,}5$ м², температура смеси газов с воздухом, отсасываемой под зонт, $t_{\text{см}} = 150$ °С, $t_{\text{р.з}} = 20$ °С. Определить теплоотдачу зонта.

Р е ш е н и е. $Q_{\text{з}} = k F_{\text{з}} (t_{\text{см}} - t_{\text{р.з}}) = 4{,}64 \cdot 6{,}5 (150 - 20) = 3921$ Вт.

Тепловыделения от электропечей подсчитывают по их установочной мощности: $Q_{\text{эп}} = 1000 N k_{\text{эп}}$, где N — установочная мощность

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

печи, кВт; $k_{эп}$ — коэффициент, который учитывает долю теплоты, поступающей в цех. Средние значения $k_{эп}$ принимаются по табл. 2.10 [4].

Таблица 2.10

Оборудование	$k_{эп}$
Печи:	
камерные с неподвижным подом	0,47
то же с подвижным	0,55
методические	0,52
щелевые и шахтные	0,45
отжиговые	0,3
электрические	0,7
Электрованны	0,3
Электросушильные шкафы	0,3
Открыто стоящие электросушила:	
горизонтальные	0,35
вертикальные	0,2
Индукционные плавильные печи вместимостью, кг:	
до 100	0,58
до 500	0,52
до 2000	0,44
Электродуговые печи вместимостью, кг:	
до 500	0,33
до 3000	0,26
до 10 000	0,18

Тепловыделения от электродвигателей работающих станков и оборудования находим по формуле

$$Q_{ст} = 1000N(1 - k_п\eta + k_т k_п \eta)\, k_с,$$

где N — номинальная установочная мощность электродвигателя, кВт; $k_п$ — коэффициент полноты загрузки электродвигателя: $k_п = 1$ при загрузке от 1 до 0,5 и $k_п = 0{,}9$ при загрузке менее 0,5; η — КПД электродвигателя (табл. 2.11); $k_т$ — коэффициент перехода теплоты в помещение: $k_т = 1$ при работе металлорежущих станков без охлаждающей эмульсии; $k_т = 0{,}9$ — то же с применением охлаждающей эмульсии; $k_т = 0{,}1$ для вентиляторов, $k_т = 0$ для насосов; $k_с$ — коэффициент спроса на электроэнергию.

Таблица 2.11

N	η
0,25...0,5	0,7
0,6...1,0	0,75
1,1...3,0	0,8
3,1...5,0	0,82
5,1...10	0,85
11...15	0,86
16...20	0,87
21...30	0,88
31...50	0,89
51...80	0,90
81...100	0,91
11...150	0,92
151...400	0,98

В машиностроительной и металлообрабатывающей промышленности: $k_с = 0{,}14$ — металлорежущие станки мелкосерийного производства; $k_с = 0{,}2$ — то же крупносерийного производства; $k_с = 0{,}5$ — индукционные печи, двигатели генератора, выпрямители полупроводниковые; $k_с = 0{,}4$ — кузнечные машины.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

В сварочном производстве: $k_c = 0{,}35$ — трансформаторы ручной сварки; $k_c = 0{,}5$ — то же автоматической; $k_c = 0{,}6$ — машины точечной сварки; $k_c = 0{,}35$ — то же шовной сварки.

В деревообрабатывающей промышленности: $k_c = 0{,}5$ — деревообрабатывающие цехи; $k_c = 0{,}5$ — сушильные камеры; $k_c = 0{,}65$ — малярные цехи; $k_c = 0{,}8$ — лакокрасочные отделения.

Пример. Определить выделение теплоты от семи металлорежущих станков мелкосерийного производства, работающих с охлаждающей эмульсией. Мощность двигателя станка 2,7 кВт, коэффициент загрузки 0,7.

Р е ш е н и е. По данным табл. 2.11 находим КПД $\eta = 0{,}8$; $\kappa_п = 1$; $\kappa_т = 0{,}9$, $\kappa_c = 0{,}14$. Тогда

$$Q_{ст} = 1000N(1 - k_п\eta + k_т k_п \eta)\, k_c =$$

$$= 1000 \cdot 7 \cdot 2{,}7(1 - 1 \cdot 0{,}8 + 0{,}9 \cdot 1 \cdot 0{,}8) \cdot 0{,}14 = 2434 \text{ Вт}.$$

Тепловыделения от отдельно стоящих электродвигателей (кран—балки, мостовые краны, машинные залы)

$$Q_{эл} = 1000N(1 - k_п\eta)\, k_c.$$

Тепловыделения от приборов дежурного отопления, предназначенного для поддержания внутренней температуры в нерабочее время $t_{р.з} = 5$ °С (выходные, праздничные дни, цеха с одно- и двухсменной работой) при функционировании в рабочее время определяют по формуле

$$Q_{д.о} = Q_{т.п}(5 - t_н)\frac{t_{ср} - t_в}{t_{ср} - 5},$$

где $Q_{т.п}$ — теплопотери помещения при $\Delta t = t_в - t_н = 1$ °С; $t_н$ — расчетная наружная температура, °С; $t_{ср}$ — средняя температура теплоносителя в нагревательном приборе, °С, $t_{ср} = 0{,}5(t_г - t_0)$; $t_г$, t_0 — температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе системы отопления, определяемые по температурному графику тепловых сетей в зависимости от наружной температуры $t_н$, °С; $t_в$ — расчетная внутренняя температура в рабочей зоне помещения, °С.

Пример. Определить тепловыделения от приборов дежурного отопления в рабочее время при следующих условиях: $t_в = 15$ °С, $t_н^Б = -23$ °С, $Q_{т.п} = 4475$ Вт, $t_г = 130$ °С, $t_0 = 70$ °С.

Р е ш е н и е. $Q_{д.о} = Q_{т.п}(5 - t_н)\frac{t_{ср} - t_в}{t_{ср} - 5} = 4475 \cdot (5 + 23)\frac{0{,}5 \cdot (130 +}{0{,}5 \cdot (130 +}$ $\cdot \frac{+ 70) - 15}{+ 70) - 5} = 112110$ Вт.

Тепловыделения от нагретых поверхностей трубопроводов и воздуховодов при отсутствии изоляции $Q_{н.т} = \alpha\pi dl(t_т - t_в)$. Здесь α — коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы к окружающему воздуху, Вт/(м² · К):

при слабом движении воздуха ($v < 1$ м/с) $\alpha = 9{,}3 + 0{,}05\Delta t_{ст}$;

при заметном движении ($v > 1$ м/с) $\alpha = 9{,}3 + 0{,}05\Delta t_{ст} + 7\sqrt{v}$,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

где d — наружный диаметр трубы, м; l — длина трубы, м; $t_т$ — температура теплоносителя в трубопроводе; $\Delta t_{ст}$ — температурный перепад между стенкой трубы и окружающим воздухом, приближенно можно принять $\Delta t_{ст} = t_т - t_в$; v — скорость движения воздуха у трубы, м/с.

Если труба изолирована, $Q_{и.т} = \alpha \pi d l (t_т - t_в)(1 - \eta_{изол})$, где $\eta_{изол}$ — КПД изоляции, $\eta_{изол} \approx 0{,}7$.

С достаточной для практических расчетов точностью потери теплоты $Q^{уд}_{н.т}$ неизолированной трубой длиной 1 м при $\Delta t_{ст} = (t_т - t_в) = 1$ °С можно принимать по следующим данным:

15 мм	20 мм	25 мм	32 мм	40 мм	50 мм	57/3,5 мм	76/3 мм	108/4 мм	133/4 мм	159/4,5 мм	215/8 мм
0,9	1,13	1,42	1,79	2,0	2,42	2,91	2,93	3,94	4,9	5,87	8,34

При их использовании формулы для $Q_{н.т}$, $Q_{и.т}$ упрощаются и принимают вид

$$Q_{н.т} = Q^{уд}_{н.т} l (t_т - t_в); \quad Q_{и.т} = Q^{уд}_{и.т} l (t_т - t_в)(1 - \eta_{изол}).$$

Пример. Определить тепловыделения в механическом цехе от неизолированных трубопроводов водяного отопления при $l = 50$ м, $d = 0{,}076$ м, $t_т = 130$ °С, $t_в = 16$ °С, $v = 0{,}3$ м/с.

Решение. Коэффициент теплоотдачи $\alpha = 9{,}3 + 0{,}05\,\Delta t_{ст} = 9{,}3 + 0{,}05(130 - 16) = 15$ Вт/(м² · К); тепловыделения $Q_{и.т} = \alpha \pi d l (t_т - t_в) = 15 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}076 \cdot 50(130 - 16) = 19600$ Вт,

При использовании табличных данных о потерях теплоты $Q_{н.т} = Q^{уд}_{н.т} l (t_т - t_в) = 2{,}93 \cdot 50\,(130 - 16) = 16700$ Вт, что несколько меньше подсчитанных по формуле. Это объясняется наличием поправочного коэффициента, учитывающего место прокладки трубопровода, как это принято при расчете поверхности нагревательных приборов. Поэтому при $v > 1$ пользоваться приведенными выше табличными данными о потерях теплоты не рекомендуется.

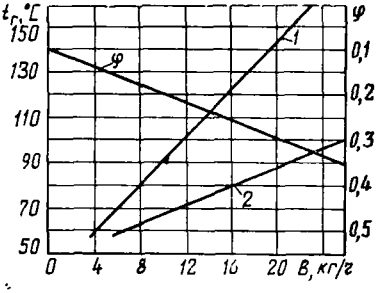


Рис. 2.4. Зависимость температуры газов $t_г$ в вытяжной трубе и поступающей в цех доли теплоты φ от расхода топлива в горне, кг/ч:
1-одноогневой горн; *2*-двухогневой

Тепловыделения от кузнечных горнов, снабженных дымоотводящими зонтами, $Q_{к.г} = 0{,}278 B Q^{т}_{н} \varphi$, где B — расход топлива, кг/ч; $Q^{т}_{н}$ — теплота сгорания топлива, кДж/кг; φ — коэффициент, учитывающий долю теплоты, выделяющуюся в цех (рис. 2.4)

Пример. Определить тепловыделения в цех от двухогневого горна, в котором расход каменного угля B = 16 кг/ч, а теплота сгорания $Q^{т}_{и} = 26\,816$ кДж/кг.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Р е ш е н и е. По графику рис. 2.4 находим $\varphi = 0{,}25$, тогда $Q_{к.г} = 0{,}278\, BQ_н^т\varphi = 0{,}278 \cdot 16 \cdot 26816 \cdot 0{,}25 = 29\ 800$ Вт.

Теплопоступления от паровых молотов определяют по формуле

$$Q_{п.м} = 0{,}278 G_п (I_н - I_к),$$

где $G_п$ — расход пара, кг/ч (табл. 2.12 [4]); $I_н I_к$ — начальная и конечная энтальпия пара принимается по табл. 2.13 в зависимости от давления $p_н$, $p_к$.

Таблица 2.12

Масса падающих частей, т	Масса пара $G_п$, кг/ч, расходуемого молотами		
	штамповочными		свободной ковки
	для работы	для обдува	
0,5	680	14	600
1	970	14	920
2	1400	8	1320
3	1700	8	1600
4	2000	8	1850
5	2250	5	2100
10	2300	—	—

Таблица 2.13

Давление $p \cdot 10^5$, Па	Температура, °С	Энтальпия I, кДж/кг
1,0	99,6	2673
1,2	104,8	2683
1,4	109,3	2690
1,6	113,3	2695
1,8	116,9	2702
2,0	120,2	2708
2,2	123,3	2711
2,4	126,1	2715
2,6	128,7	2718
2,8	131,2	2721
3,0	135,5	2726
3,2	135,7	2728
3,4	137,9	2731
3,6	139,9	2734
3,8	141,8	2736
4,0	143,6	2740
4,5	147,9	2745
5,0	151,8	2750
5,5	155,5	2754
6,0	158,4	2758
6,5	162,0	2760
7,0	165,0	2761
7,5	167,8	2767
8,0	170,4	2772
8,5	172,9	2773
9,0	175,4	2775
9,5	177,6	2777
10,0	179,9	2779

*Теплопоступления от солнечной радиации**: различают поступления через остекление и через покрытие. Для промышленных цехов при расчете систем вентиляции с механическим и естественным побуждением, а также систем вентиляции и кондиционирования, в которых предусматривается испарительное (адиабатическое) охлаждение приточного воздуха, теплопоступление в помещение через заполнения световых проемов следует определять по формуле

$$Q_{макс} = (q_с F_с + q_т F_т) k_{о.п},$$

где $q_с$, $q_т$ — тепловой поток, поступающий в помещение через 1 м² обычного одинарного стекла толщиной $\delta = 2{,}4 \ldots 3{,}2$ мм, освещен-

* Не рассматриваются поступления теплоты солнечной радиации через наклонное и горизонтальное остекление, а также помещения с автоматическим регулированием заданных параметров внутреннего воздуха. Формулы, таблицы и последовательность расчета соответствуют приняты в работах [19; 43].

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ного солнцем и находящегося в тени, Вт/м²; $F_с$, $F_т$ — площади заполнения световых проемов, освещенных солнцем и находящихся в тени, м² (при затенении световых проемов строительными конструкциями — ребрами или козырьками, площади $F_с$, $F_т$ находят графическим построением (см. [19]); $k_{о.п}$ — коэффициент относительного проникания солнечной радиации через заполнение светового проема (табл. 2.14).

Максимальные или для заданного расчетного часа (по истинному солнечному времени) значения $q_с$, $q_т$ определяют исходя из рас-

Таблица 2.14

Заполнение светового проема		Коэффициент относительного проникания солнечной радиации $k_{о.п}$
Остекление	Солнцезащитные устройства	
Одинарное со стеклом листовым оконным или витринным полированным или неполированным $\delta = 2{,}5...12$ мм	Без солнцезащитных устройств при толщине стекла, мм:	
	2,5...3,5	1
	4...6	0,95
	8...12	0,9
	Внутренние жалюзи:	
	светлые	0,56
	средние по окраске	0,65
	темные	0,75
	Внутренние шторы:	
	из тонкой ткани	
	светлые	0,56
	средние по окраске	0,61
	темные	0,66
	из белой стеклоткани	0,45
	сворачивающиеся из плотного непрозрачного материала:	
	светлые	0,25
	темные	0,59
Двойные со стеклом листовым оконным или витринным $\delta = 2{,}5...6$ мм	Без солнцезащитных устройств при толщине стекла, мм:	
	2,5...3,5	0,9
	4...6	0,8
	Внутренние жалюзи:	
	светлые	0,53
	средние по окраске	0,6
	темные	0,64
	Виутренние шторы:	
	из тонкой ткани	
	светлые	0,54
	средние по окраске	0,59
	темные	0,64
	из плотного непрозрачиого материала	
	светлые	0,25
	темные	0,6

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.15

Расчетная географическая широта, ° с. ш.	Истинное солнечное время, ч		Тепловой поток, Вт/м², при заполнении световых проемов с ориентацией на направление							
			до полудня							
			С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
	до полудня	после полудня	после полудня							
			С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ
36	5...6	18...19	69/36	117/36	116/24	24/28	—/16	—/16	—/21	—/19
	6...7	17...18	53/71	334/91	348/109	156/86	—/52	—/36	—/44	—/47
	7...8	16...17	27/81	369/114	435/134	273/109	—/71	—/56	—/55	—/56
	8...9	15...16	— 71	274/104	419/123	307/108	—/77	—/60	—/64	—/60
	9...10	14...15	—/64	148/80	345/99	298/91	35/78	—/63	—/62	—/62
	10...11	13...14	—/62	38/71	186/85	230/83	87/78	—/65	—/62	—/65
	11...12	12...13	—/60	—/67	33/76	119/74	110/78	2/69	—/67	—/65
40	5...6	18...19	71/31	170/47	214/47	50/35	—/20	—/20	—/21	—/22
	6...7	17...18	51/71	350/97	419/112	183/86	—/55	—/42	—/44	—/47
	7...8	16...17	6/78	345/114	493/133	302/109	—/71	—/56	—/55	—/57
	8...9	15...16	—/71	258/104	471/121	354/108	60/78	—/60	—/60	—/60
	9...10	14...15	—/64	116/80	363/99	342/95	150/70	—/63	—/62	—/62
	10...11	13...14	—/62	6/71	191/81	274/83	222/81	—/67	—/62	—/65
	11...12	12...13	—/60	—/67	35/73	172/77	257/81	45/72	—/65	—/65
44	5...6	18...19	84/38	222/53	292/58	72/40	—/23	—/22	—/22	—/23
	6...7	17...18	42/70	369/98	452/112	209/86	—/55	—/44	—/44	—/33
	7...8	16...17	—/77	357/110	509/130	333/109	—/71	—/55	—/55	—/55
	8...9	15...16	—/71	256/101	490/121	398/108	66/79	—/60	—/59	—/60
	9...10	14...15	—/64	84/80	371/100	389/101	162/81	—/63	—/60	—/62
	10...11	13...14	—/60	—/71	193/80	305/86	245/84	—/67	—/60	—/64
	11...12	12...13	—/59	—/67	37/72	214/79	288/85	73/77	—/65	—/65

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

48	5...6	18...19	93/45	256/60	327/65	95/45	—/27	—/26	—/24	—/26
	6...7	17...18	35/69	385/98	472/114	237/87	—/55	—/43	—/44	—/44
	7...8	16...17	—/74	349/107	542/129	363/109	3/73	—/53	—/53	—/53
	8...9	15...16	—/70	222/99	497/121	427/112	80/81	—/60	—/58	—/59
	9...10	14...15	—/64	60/81	372/100	419/107	186/86	—/65	—/58	—/62
	10...11	13...14	—/60	—/71	193/81	352/94	271/87	7/70	—/60	—/64
	11...12	12...13	—/59	—/67	37/72	251/84	317/88	106/78	—/65	—/65
52	5...6	18...19	102/56	301/69	371/73	116/52	—/31	—/28	—/28	—/28
	6...7	17...18	26/69	391/98	497/119	272/91	—/59	—/43	—/44	—/44
	7...8	16...17	—/71	337/106	545/129	398/110	13/76	—/55	—/53	—/53
	8...9	15...16	—/67	197/97	498/123	448/114	94/85	—/63	—/57	—/58
	9...10	14...15	—/63	—42/79	374/100	429/110	206/87	—/67	—/59	—/60
	10...11	13...14	—/60	—/69	193/84	363/98	299/90	14/72	—/60	—/62
	11...12	12...13	—/59	—/65	37/72	231/87	344/91	150/78	—/65	—/63
56	4...5	19...20	88/19	165/33	227/27	17/20	—/12	—/13	—/13	—/12
	5...6	18...19	104/56	344/64	423/74	140/57	—/35	—/28	—/30	—/30
	6...7	17...18	17/66	401/93	523/115	287/90	—/58	—/42	—/43	—/44
	7...8	16...17	—/65	340/98	547/122	424/105	22/74	—/53	—/48	—/53
	8...9	15...16	—/62	174/87	504/114	479/108	128/85	—/64	—/55	—/56
	9...10	14...15	—/58	26/71	378/91	479/102	245/88	—/67	—/56	—/57
	10...11	13...14	—/57	—/62	193/76	427/92	347/91	21/72	—/58	—/58
	11...12	12...13	—/55	—/59	37/67	330/79	398/92	175/76	—/63	—/58
60	3...4	20...21	40/7	63/9	95/7	—	—	—	—	—
	4...5	19...20	112/28	272/40	291/37	58/14	—/16	—/15	—/14	—/14
	5...6	18...19	107/51	387/71	448/78	152/58	—/35	—/29	—/30	—/33
	6...7	17...18	15/59	404/86	542/107	313/85	—/53	—/40	—/40	—/43
	7...8	16...17	—/57	331/83	556/110	441/97	37/70	—/49	—/45	—/50
	8...9	15...16	—/55	147/77	509/99	501/98	166/81	—/60	—/50	—/52
	9...10	14...15	—/51	19/62	378/77	501/92	287/86	—/65	—/51	—/53
	10...11	13...14	—/51	—/55	193/65	452/84	384/91	70/69	—/53	—/53
	11...12	12...13	—/50	—/55	37/60	363/74	449/91	215/71	—/56	—/53

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

Окончание табл. 2.15

Расчетная географическая широта, ° с. ш.	Истинное солнечное время, ч		Тепловой поток, Вт/м² при заполнении световых проемов с ориентацией на направление							
			до полудня							
	до полудня	после полудня	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
			после полудня							
			С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ
64	3...4	20...21	70/19	126/23	121/19	35/12	—/12	—/9	—/9	—/10
	4...5	19...20	158/38	330/51	307/51	97/38	—/21	—/19	—/21	—/22
	5...6	18...19	109/52	429/74	47/85	208/62	—/36	—/28	—/31	—/35
	6...7	17...18	12/55	408/83	558/105	362/85	—/52	—/38	—/37	—/44
	7...8	16...17	/52	316/83	576/106	483/95	57/69	—/47	—/42	—/48
	8...9	15...16	—/51	133/73	519/95	543/95	194/79	—/58	—/47	—/50
	9...10	14...15	—/49	12/58	379/74	544/91	331/85	—/64	—/48	—/50
	10...11	13...14	—/48	—/51	193/62	488/83	436/90	116/67	—/49	— 51
	11...12	12...13	—/48	—/51	37/57	395/74	495/90	256/70	—/51	—/51
68	2...3	21...22	69/17	145/16	144/12	28/9	—/9	—/6	—/7	—/8
	3...4	20...21	112/96	281/242	258/35	70/17	—/19	—/12	—/9	—/14
	4...5	19...20	128/44	409/58	384/42	135/42	—/23	—/17	—/19	—/20
	5...6	18...19	113/52	475/78	504/95	245/66	—/38	—/28	—/31	—/38
	6...7	17...18	9/55	412/83	584/106	386/88	7/55	—/38	— 37	—/44
	7...8	16...17	—/51	297/83	588/106	499/99	79/67	—/47	—/42	—/48
	8...9	15...16	—/61	135/74	531/98	578/99	241/102	—/58	—/47	—/49
	9...10	14...15	—/48	5/57	394/74	583/91	369/85	—/65	—/48	—/49
	10...11	13...12	—/48	—/51	193/62	531/85	463/90	174/65	—/49	—/50
	11...12	12...13	—/48	—/44	37/57	442/74	523/90	302/71	—/51	—/51

Примечание. 1. Тепловой поток прямой (числитель) и рассеянной (знаменатель) солнечной радиации дан для одинарного остекления ($\delta = 2{,}5...3{,}5$ мм) при вертикальном заполнении световых проемов. 2. Для двойного остекления поправочный коэффициент 0,9; для тройного остекления — 0,8; для стеклоблоков и профильного стекла — 0,7.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

четной географической широты места строительства и ориентации заполнения световых проемов в здании. Так, для вертикального заполнения светового проема, частично или полностью облучаемого солнечной радиацией, т. е. при солнечном азимуте остекления $A_{с.о} < 90°$, $q_с = (q_п + q_р) k_1 k_2$. В случае вертикального заполнения светового проема, находящегося в тени, т. е. при $A_{с.о} \geqslant 90°$, или при затенении заполнения светового проема наружными солнцезащитными конструкциями либо откосами проема $q_т = q_р k_1 k_2$. В приведенных формулах $q_п$, $q_р$ — наибольшие значения теплового потока прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт/м², определяемые по

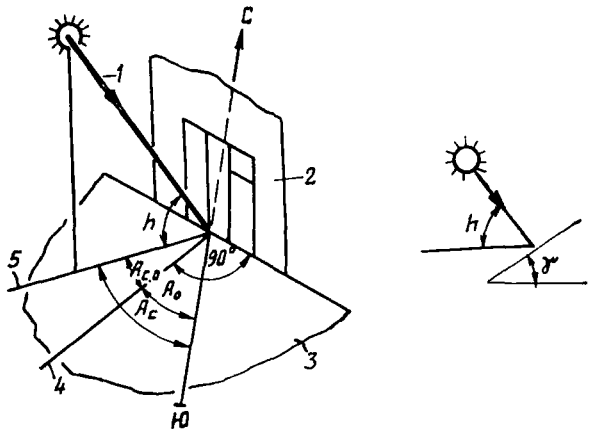


Рис. 2.5. Проекции солнечного луча и азимутов:

1—солнечный луч, *2*—плоскость остекления светового проема, *3*—горизонтальная плоскость, *4*—нормаль к плоскости остекления, *5*—горизонтальная проекция солнечного луча; *h*—высота солнца, γ — острый угол между плоскостью остекления и горизонтальной плоскостью

табл. 2.15; k_1— коэффициент, учитывающий затенение остекления световых проемов переплетами и загрязнение атмосферы (см. табл. 2.16); k_2 — коэффициент, учитывающий загрязнение стекла (см. табл. 2.17).

Абсолютное значение азимута остекления $A_{с.о}$ для световых проемов определяется по следующим формулам: ориентированных на ЮВ после полудня и ЮЗ до полудня $A_{с.о} = A_с + A_о$; на З, СЗ, ЮЗ после полудня, на В, СВ, ЮВ до полудня, а также на С и Ю $A_{с.о} = A_с - A_о$; на З и СЗ до полудня и В и СВ после полудня $A_{с.о} = 360 - (A_с - A_о)$. Здесь $A_с$ — азимут солнца, т. е. угол между южным направлением и горизонтальной проекцией солнечного луча (табл. 2.18, рис. 2.5); $A_о$ — азимут остекления светового проема, т. е. угол между нормалью к плоскости остекления или между проекцией этой нормали на горизонтальную плоскость и южным направлением, отсчитываемый по часовой стрелке или против нее (рис. 2.5).

Ориентация остекления	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
$A_о$	180	135	90	45	0	45	90	135

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.16

Остекление	Значение коэффициентов K_1 при атмосфере				
	незагрязненной (независимо от облучения)	загрязненной в промышленных районах, расположенных на географической широте, ° с. ш.			
		36...40	44...68	36...40	44...68
		для световых проемов, облучаемых в расчетный час солнцем		для световых проемов, находящихся в расчетный час в тени	
Одинарное без переплетов, заполнение из стеклоблоков или профильного стекла	1	0,7	0,75	1,6	1,75
Двойное без переплетов	0,9	0,63	0,68	1,45	1,58
Одинарное и переплетах:					
металлических	0,8	0,56	0,6	1,28	1,4
деревянных	0,65	0,46	0,48	1,04	1,14
Двойное в переплетах:					
металлических	0,72	0,51	0,54	1,15	1,26
деревянных	0,6	0,42	0,45	0,96	1,05

Таблица 2.17

Загрязнение стекла	Значение коэффициента k_2 для заполнения световых проемов вертикального остекления $80° < \nu < 90°$
Значительное	0,85
Умеренное	0,9
Незначительное	0,95
Чистое стекло	1

Примечание. 1. Загрязнение считают значительным при концентрации пыли, дыма или копоти в воздушной среде помещения 10 мг/м³ и более, умеренным — 5...10 мг/м³, незначительным — не более 5 мг/м³. 2. ν — острый угол между плоскостью остекления и горизонтальной плоскостью (см. рис. 2.5).

Поступление теплоты в помещения, имеющие световые проемы в противоположных стенах, а также расположенные под углом 90° друг к другу, в тех случаях, когда не задается расчетный час, следует вычислять отдельно для каждой из стен и учитывать наибольшую сумму значений за период занятости помещения людьми или работы предприятия. При определении расчетного значения теплопоступлений в помещение от проникания солнечной радиации через световые проемы без средств солнцезащиты в помещении или межстекольном пространстве необходимо учитывать аккумуляцию части теплоты внутренними ограждениями помещения.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.18

Истинное солнечное время		Значения азимута солнца A_c на географической широте, °с. ш.								
до полудня	после полудня	36	40	44	48	52	56	60	64	68
2...3	21...22	—	—	—	—	—	—	—	—	145
3...4	22...21	—	—	—	—	—	—	130	131	131
4...5	19...20	—	—	—	—	119	120	120	119	118
5...6	18...19	111	111	111	110	109	108	107	106	104
6...7	17...18	104	104	100	99	97	95	94	92	91
7...8	16...17	94	93	90	87	85	82	81	79	77
8...9	15...16	86	82	78	76	72	69	67	64	61
9...10	14...15	75	69	65	60	56	53	50	49	45
10...11	13...14	56	49	45	40	36	33	31	29	28
11...12	12...13	24	20	18	16	13	12	11	10	9
12 (полдень)		0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. Азимут солнца отсчитывается от южного направления в первой половине дня (до полудня) против часовой стрелки, во второй половине дня (после полудня) по часовой стрелке.

Расчетные теплопоступления в помещение, с учетом аккумуляции теплоты внутренними ограждающими конструкциями, находят таким образом:

без наружных средств солнцезащиты световых проемов

$$Q_р = Q_{макс}\left(\frac{F_1m_1 + F_2m_2 + F_3m_3 + 0{,}5F_4m_4 + 1{,}5F_5m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5}\right);$$

если такие средства имеются

$$Q_р = Q_{макс}\left(\frac{F_1m_1 + F_2m_2 + F_3m_3 + F_4m_4 + F_5m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5}\right).$$

Здесь F_1, F_2, F_3 — площади отдельных внутренних стен помещения, м^2; F_4, F_5 — соответственно площади потолка и пола, м^2; m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 — коэффициенты, учитывающие аккумуляцию теплоты соответственно внутренними стенами, потолком и полом, принимаемые для каждой внутренней ограждающей конструкции помещения по табл. 2.19.

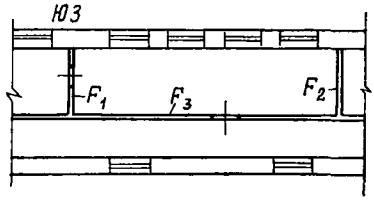


Рис. 2.6. План помещения

Пример 1. Определить теплопоступление солнечной радиации через четыре окна в помещение (рис. 2.6), расположенное на 56 ° с.ш., заполнение световых проемов ориентировано на ЮЗ (A_0 = 45 °). Остекление окон одинарное в металлических переплетах, толщина стекла δ = 2,5 мм. Размеры окон: высота 1,8 м, ширина 2 м. Загрязнение остекления незначительное, атмосфера района строительства загрязненная. Расчетный месяц — июль.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.19

Материал	Расчетная толщина δ, см	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м·к)	Коэффициент температуропроводности $a = \frac{\lambda}{c_0 \gamma_0}$, м²/ч	Значения коэффициента m при продолжительности периода поступлений прямой солнечной радиации на фасад здания, ч			
				12	10	8	6
Бетон	3,5			0,78	0,71	0,64	0,54
Железобетон	5			0,70	0,64	0,55	0,45
				0,60	0,53	0,45	0,38
Естественные камни	15	1...1,8	0,002...0,003	0,53	0,48	0,42	0,36
	28			0,45	0,41	0,36	0,31
	40 и более			0,42	0,40	0,35	0,30
Кирпичная кладка, легкие бетоны	6	0,7...0,9	0,0012... 0,0019	0,74	0,65	0,57	0,49
	13			0,60	0,55	0,49	0,43
	19			0,58	0,53	0,47	0,42
	26 и более			0,55	0,50	0,45	0,41
Гипсовые материалы	5	0,2...0,5	0,00115... 0,0012	0,88	0,84	0,79	0,72
Древесные материалы	2,5	0,2...0,3	0,0005... 0,0007	0,84	0,81	0,75	0,69
Теплозвукоизоляционные материалы; пористые пластмассы и полимеры	5 и более	0,06...0,12	0,001...0,0015	1	0,99	0,98	0,95

Примечания. 1. В многослойной ограждающей конструкции следует учитывать только основной, ближайший к облучаемой поверхности слой.

2. Расчетную толщину стен и перегородок, разделяющих два нагреваемых солнцем помещения (смежных), следует принимать равной половине их фактической толщины. Расчетную толщину перегородок и стен, разделяющих нагреваемое и ненагреваемое помещения, следует принимать равной их фактической толщине.

3. При ориентации светового проема на Ю, ЮЗ и З приведенные значения m следует умножать на коэффициент 1, 2.

4. При определении коэффициента температуропроводности a для материалов, не указанных в табл. 2.19, значения λ, c_0, ν_0 необходимо принимать в соответствии с главой СНиП по строительной теплотехнике [43].

Решение. По табл. 2.15 максимальное поступление теплоты солнечной радиации наблюдается с 15 до 16 ч по истинному солнечному времени: $q_п = 479$ Вт/м², $q_р = 108$ Вт/м². По табл. 2.18 в этот час $A_с = 69°$. Азимут остекления $A_{со} = A_с - A_о = 69 - 45 = 24°$. По табл. 2.16 $\kappa_1 = 0,6$; по табл. 2.17 $\kappa_2 = 0,95$. Поскольку $A_{со} < 90°$, воспользуемся формулой $q_с = (q_п + q_р)\kappa_1\kappa_2 = (479 + 108)0,6 \cdot 0,95 = 335$ Вт/м².

Суммарная площадь остекления $F_0 = (1,8 \cdot 2) \cdot 4 = 14,4$ м², по табл. 2.14 $\kappa_{оп} = 1$. Теплопоступление в помещение $Q_{макс} = q_с F_0 \kappa_{о.п} = 335 \times 14,4 \cdot 1 = 4824$ Вт. Площади поверхностей ограждающих конструкций

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

внутренних кирпичных стен ($\delta = 13$ см) $F_1 = 12$ м², $F_2 = 12$ м², $F_3 = 24$ м², бетонного пола ($\delta = 5$ см) $F_4 = 32$ м², потолка из железобетонной плиты ($\delta = 3{,}5$ см) $F_5 = 32$ м². Работы пронзводятся в две смены с 7 до 19 ч. По табл. 2.15 для стены, ориентированной фасадом на ЮЗ и расположенной на 56 ° с. ш., продолжительность периода прямой солнечной радиации до полудня (графа 9) — с 10 до 12 ч, после полудня (графа 7) — с 12 до 19 ч, всего 2 + 7 = 9 ч. По табл. 2.19 путем интерполяции находим: для внутренних стен $m_1 = m_2 = m_3 = 0{,}52$, с учетом примечания п. 3 $m_1 = m_2 = m_3 = 0{,}52 \cdot 1{,}2 = 0{,}624$; для пола $m_4 = 0{,}6 \cdot 1{,}2 = 0{,}72$; для потолка $m_5 = 0{,}68 \cdot 1{,}2 = 0{,}816$.

Определим расчетные теплопоступления, т. е. учитываемые в тепловом балансе помещения,

$$Q_р = Q_{макс}\left(\frac{F_1m_1 + F_2m_2 + F_3m_3 + 0{,}5F_4m_4 + 1{,}5F_5m_5}{F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5}\right) =$$

$$= 4824\left(\frac{12 \cdot 0{,}625 + 12 \cdot 0{,}625 + 24 \cdot 0{,}625 + 0{,}5 \cdot 32 \cdot 0{,}72 + 1{,}5 \cdot 32 \cdot 0{,}815}{12 + 12 + 24 + 32 + 32}\right) =$$

$$= 4824\,\frac{80{,}5}{112} = 3467 \text{ Вт}.$$

Пример 2. Рассчитать период максимальных поступлений теплоты солнечной радиации в помещение (рис. 2.7) через окна в двух противоположных стенах, обращенных на ЮВ и СЗ. В каждой стене помещения имеется шесть окон размером в свету 1,8 × 2 м с одинарным остеклением в металлических переплетах. Расчет сделать для окон без солнцезащитных устройств. Помещение (цех) занято людьми с 8 до 16 ч по истинному солнечному времени. Толщина стекла $\delta = 2{,}5$ мм, его загрязнение значительное, атмосфера загрязненная. Здание расположено на 56 °с.ш.

Р е ш е н и е. Из табл. 2.15 выписываем суммарный тепловой поток прямой $q_п$ и рассеянной $q_р$ радиации через окна, обращенные на ЮВ и СЗ, за те часы суток, в которые помещение занято людьми.

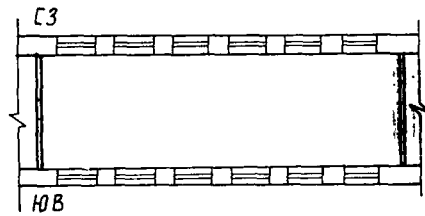


Рис. 2.7. Плаи помещения

Часы суток	Тепловой поток ($q_п + q_р$), Вт/м², поступающий через окна				Всего
	обращенные на ЮВ		обращенные на СЗ		
8...9	587	графа 7	56	графа 11	643
9...10	581		57		638
10...11	519		58		577
11...12	409		58		467
12...13	251	графа 9	59	графа 5	310
13...14	93		62		155
14...15	67		97		164
15...16	64		261		325

Согласно данным таблицы период максимальных поступлений теплоты в помещение наблюдается с 8 до 9 ч с ЮВ стороны, для которой $A_с = 69$ °, тогда $A_{с.о} = A_с - A_о = 69 - 45 = 24$ °, что меньше 90 °. По табл. 2.16 выбираем $\kappa_1 = 0{,}6$; по табл. 2.17 $\kappa_2 = 0{,}85$; по табл. 2.14 $\kappa_{о.п} = 1$; $q_1 = q_п\kappa_1\kappa_2 =$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

$= 587 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}85 = 299$ Вт/м²; $Q_{макс} = q_1 F_0 \kappa_{о.п} = 299 \cdot (1{,}8 \times 2) \cdot 6 \cdot 1 =$ $= 6458$ Вт.

Площадь поверхности внутренних кирпичных стен ($\delta = 13$ см): $F_1 =$ $= 12$ м², $F_2 = 12$ м², площадь бетонного пола ($\delta = 5$ см), $F_4 = 36$ м², потолка из железобетонной плиты ($\delta = 3{,}5$ см), $F_5 = 36$ м². Продолжительность прямой солнечной радиации с ЮВ стороны (табл. 2.15) до полудня (графа 7) — с 8 до 12 ч, т. е. 4 ч после полудня (графа 9) — с 12 до 14 ч, т. е. 2 ч; всего $4 + 2 = 6$ ч. По табл. 2.19 находим $m_1 = m_2 = 0{,}43$, $m_4 = 0{,}45$, $m_5 = 0{,}54$. Расчетные теплопоступления в помещение

$$Q_р = 6458\left(\frac{12 \cdot 0{,}43 + 12 \cdot 0{,}43 + 0{,}5 \cdot 36 \cdot 0{,}45 + 1{,}5 \cdot 36 \cdot 0{,}54}{12 + 12 + 36 + 36}\right) =$$

$$= 6458\frac{46{,}3}{96} = 3115 \text{ Вт}.$$

Аналогично подсчитывается поступление теплоты солнечной радиации через световые проемы фонарей с вертикальным остеклением.

Теплопоступление через покрытие определяется по формуле $Q = q_о + \beta A_q$, в которой β — коэффициент для любого часа суток, определяемый по табл. 2.20; $q_о$ — среднесуточное поступление теплоты в помещение,

$$q_о = \frac{F}{R_о}(t_н^{усл} - t_{ух}).$$

Таблица 2.20

Число часов до или после максимума поступления теплоты	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Коэффициент β	1	0,97	0,87	0,71	0,5	0,26	0,0	—0,26	—0,5	—0,71	—0,87	—0,97	—1

Здесь F — площадь покрытия, м²; $R_о$ — сопротивление теплопередачи покрытия, (м² · К)/Вт, определяемое теплотехническим расчетом или принимаемое по табл. 2.21, если теплотехнический расчет не выполняется; $t_{ух}$ — температура уходящего воздуха под покрытием, для холодных цехов $t_{ух} = t_н^А + 5$; для горячих $t_{ух} = t_н^А +$ $+ 10$, $t_н^А$ — температура наружного воздуха, принимаемая по параметрам климата А; $t_н^{усл}$ — условиая среднесуточнаn температура наружного воздуха, определяемая по формуле

$$t_н^{усл} = t'_н + \frac{\rho I_{ср}}{\alpha_н},$$

где $t'_н$ — расчетная температура наружного воздуха, принимаемая равной средней температуре июля, для некоторых населенных пунк-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.21

Помещения	$t_н$									
	−5	−10	−15	−20	−25	−30	−35	−40	−45	−50
	$R_0^{тр}$, (м² · К)/Вт									
Общественные и административные здания, вспомогательные здания промышленных предприятий при $t_в$ = 18 °С, $\Delta t^н$=5,5 °С	0,48	0,59	0,69	0,79	0,9	1,0	1,11	1,22	1,32	1,42
Пронзводственные здания с φ < 60 % при $t_в$ = 15 °С, $\Delta t^н$ = = 8 °С	0,28	0,36	0,43	0,51	0,58	0,65	0,72	0,79	0,86	0,93
Производственные здания с φ=50...60 % при $t_в$ = 15 °С, $\Delta t^н$ = = 7 °С	0,33	0,41	0,49	0,58	0,66	0,74	0,82	0,91	0,98	1,07
Производственные здания с избыточными тепловыделениямн и φ < 45 % при $t_в$ = = 20 °С, $\Delta t^н$ = 12 °С	0,24	0,28	0,34	0,39	0,43	0,48	0,53	0,58	0,62	0,67

Примечание. Для значений $t_н$, отличающнхся от приведенных, значения $R_0^{тр}$ определяются интерполяцией.

тов зиачеиие $t_н$ приведено в табл. 2.22; ρ — коэффициент поглощеиия теплоты солнечной радиации иаружной поверхностью покрытия: для асфальтированного покрытия ρ = 0,9; для рубероида с алюмиииевой покраской ρ = 0,5; с серой песчаной посыпкой ρ = = 0,9, с красиой песчаной посыпкой ρ = 0,95; для толи ρ = 0,85; для шифера серебристо-серого ρ = 0,75; $I_{ср}$ — средиесуточный тепловой поток суммарной (прямой + рассеянной) солнечной радиации, поступающий в июле на горизонтальную поверхность, Вт/м² (принимается по табл. 2.23 [45]); $\alpha_н$ — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²К), $\alpha_н = 8{,}7 + 2{,}6v$ (v — расчетная скорость ветра, м/с); A_q — амплитуда колебания теплового потока, Вт, $A_q = \alpha_в F A_{\tau_в}$. Здесь $\alpha_в$ — коэффициеит тепловосприятия внутренней поверхностью покрытия, $\alpha_в$ = = 8,7 Вт/(м²·К); $A_{\tau_в}$ — амплитуда колебаний температуры виутреиией поверхиости покрытия, °С, $A_{\tau_в} = A_н^{усл}/\nu$, где $A_н^{усл}$ — ампли-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.22

Название пунктов	$t'_н$	$A_{t_н}$	Название пунктов	$t'_н$	$A_{t_н}$
Актюбинск	22,3	24,1	Минск	17,8	21,1
Алма-Ата	23,2	19,4	Москва	19,3	18,5
Архангельск	15,6	19,5	Нижний Тагил	16,0	25,5
Ашхабад	30,7	24,3	Новороссийск	23,5	16,4
Баку	25,7	13,7	Новосибирск	18,7	22,5
Батуми	22,6	18,5	Одесса	22,5	14,7
Белгород	—	—	Орджоникидзе	19,7	19,6
Брест	18,8	18,7	Орел	18,8	19,7
Брянск	18,4	18,2*	Оренбург	21,9	22,7
Великие Луки	17,2	21,2	Пенза	19,8	18,4
Винница	18,7	22 3	Пермь	18,1	19,2
Витебск	18,0	19,1	Полтава	20,6	17,8
Владивосток	17,5	16,5	Поти	23,1	—
Воронеж	21,4	19,9	Псков	17,6	20,9
Ворошиловград	22,3	22,1	Рига	17,1	19,3
Горький	18,1	17,5	Рязань	18,8	20,3
Днепропетровск	22,3	19,2	Саратов	20,1	20,4
Душанбе	27,0	25,4	Севастополь	22,4	15,5
Жданов	22,7	22,7*	Симферополь	21,8	21,8
Иваново	17,4	18,4*	Смоленск	17,6	17,5*
Иркутск	17,6	17,5*	Сочи	22,5	14,6
Казань	19,0	19,1	Тамбов	20,2	20,4
Калининград	17,4	18,1	Ташкент	26,9	23,7
Караганда	20,3	21,0	Тбилиси	24,4	19,9
Кемерово	18,4	22,6	Тула	18,4	22,3
Киев	19,8	18,4	Томск	18,1	20,4
Кировоград	20,2	22,0	Ужгород	20,5	22,5
Кишинев	21,5	21,9	Уфа	19,3	22,9
Кострома	17,6	20,3	Фрунзе	24,1	23,3
Краснодар	23,2	22,5	Харьков	20,8	22,0
Куйбышев	20,7	18,5	Херсон	23,0	19,8
Курск	19,3	18,2	Целиноград	20,2	25,3
Ленинград	17,8	16,5	Чернигов	19,4	18,2
Львов	18,8	19,3	Челябинск	18,8	20,1
Магнитогорск	18,3	25,5	Ялта	23,7	16,9

* Соответствуют среднемесячной температуре самого жаркого месяца, т. е. $t_м$ в формуле $A_{t_н}$.

туда колебаний температуры наружного воздуха с учетом солнечной радиации, °С,

$$A_н^{усл} = \frac{\rho (I_{макс} - I_{ср})}{\alpha_н} + A_{t_н},$$

$I_{макс}$ — максимальное значение теплового потока суммарной (прямой + рассеянной) солнечной радиации за июль, поступающие на горизонтальную поверхность, Вт/м² (принимается по табл. 2.23); $A_{t_н}$ — максимальная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха в июле, принимаемая с коэффициентом 0,5; для некоторых

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.23

Показатель	Географическая широта, °с. ш.							
	40	44	48	52	56	60	64	68
$I_{макс}$	928	894	866	852	817	768	719	698
$I_{ср}$	333	331	328	329	327	319	319	332
$I_{макс} - I_{ср}$	595	563	538	523	490	449	400	366

Примечание. 1. Тепловой поток солнечной радиации определен в июле при безоблачном небе. 2. Значения $I_{макс}$ даны для 12 ч дня.

населенных пунктов значение $A_{t_и}$ приведено в табл. 2.22 или приближенно $A_{t_н} = 2(t_н^{\text{А}} - t_м)$, $t_м$ — средняя месячная температура самого жаркого месяца; ν — затухание амплитуды колебания температуры наружного воздуха в покрытии,

$$\nu = 0{,}9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_в)(S_2 + \psi_1)\dots(S_n + \psi_{n+1})(\alpha_н + \psi_n)}{(S_1 + \psi_1)(S_2 + \psi_2)\dots(S_n + \psi_n)\alpha_н}.$$

В этой формуле e = 2,718 — основание натуральных логарифмов, для удобства вычислений значения $e^{\frac{D}{\sqrt{2}}}$ приведены в табл. 2.24; D — характеристика тепловой инерции покрытия; S_1, S_2 ... S_n — коэффициенты теплоусвоения материалов отдельных слоев покрытия, Вт/(м³ · К) (величины D, S_1, $S_2 \dots S_n$ принимаются по результатам теплотехнического расчета покрытия); $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n$ — коэффициенты теплоусвоения наружных поверхностей отдельных слоев покрытия, Вт/(м² · К).

Если слой имеет $D = RS \geqslant 1$, то для него $\psi = S$, т. е. ψ равно коэффициенту теплоусвоения этого слоя; при $D = RS < 1$

$$\psi = (RS^2 + \psi')/(1 + R\psi'),$$

где $R = \delta/\lambda$ — сопротивление теплопередаче слоя, м² · К/Вт; S — коэффициент теплоусвоения материала этого слоя; ψ' — коэффициент теплоусвоения наружной поверхности предыдущего слоя, вычисляемый по приведенной формуле. Если первый слой ограждения имеет $D_1 < 1$, для него

$$\psi' = (R_1 S_1^2 + \alpha_в)/(1 + R_1\alpha_в),$$

где R_1 — сопротивление теплопередаче первого слоя; S_1 — коэффициент теплоусвоения материала первого слоя; $\alpha_в$ — коэффициент тепловосприятия.

Коэффициент ψ определяется последовательно, начиная с первого слоя от внутренней поверхности ограждающей конструкции. Нор-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.24

D	$e^{\frac{D}{\sqrt{2}}}$	D	$e^{\frac{D}{\sqrt{2}}}$	D	$e^{\frac{D}{\sqrt{2}}}$	D	$e^{\frac{D}{\sqrt{2}}}$
1,0	2,03	2,50	5,87	3,95	16,4	5,45	47,9
1,1	2,18	2,55	6,11	4,00	17,1	5,50	49,4
1,15	2,26	2,60	6,30	4,05	17,6	5,55	51,4
1,20	2,34	2,65	6,55	4,10	18,2	5,60	53,0
1,25	2,44	2,70	6,75	4,15	18,9	6,65	54,6
1,30	2,51	2,75	7,03	4,20	19,1	5,70	57,6
1,35	2,61	2,80	7,24	4,25	20,5	5,75	59,2
1,40	2,71	2,85	7,54	4,30	21,2	5,80	61,6
1,45	2,80	2,90	7,85	4,35	21,8	5,85	65,5
1,50	2,90	2,95	8,17	4,40	22,6	5,90	65,4
1,55	3,00	3,00	8,41	4,45	23,5	5,95	66,8
1,60	3,10	3,05	8,67	4,50	24,5	6,00	70,1
1,65	3,22	3,1	9,03	4,55	25,3	6,05	73,7
1,70	3,35	3,15	9,39	4,60	26,1	6,15	77,6
1,75	3,46	3,20	9,68	4,65	27,1	6,20	81,5
1,80	3,60	3,25	9,97	4,70	28,2	6,25	84,0
1,85	3,71	3,30	10,4	4,75	29,1	6,30	87,4
1,90	3,86	3,35	10,7	4,80	30,0	6,35	90,0
1,95	3,97	3,40	11,0	4,85	31,2	6,40	92,9
2,0	4,14	3,45	11,5	4,90	32,5	6,45	96,6
2,05	4,26	3,50	11,9	4,95	33,8	6,50	99,5
2,10	4,44	3,55	12,4	5,05	34,8	6,55	103,7
2,15	4,62	3,60	12,7	5,05	36,6	6,60	107,9
2,20	4,76	3,65	13,2	5,15	38,5	6,65	110,2
2,25	4,95	3,70	13,7	5,20	40,4	6,70	115,8
2,30	5,10	3,75	14,3	5,25	41,7	6,75	120,4
2,35	5,31	3,80	14,9	5,30	42,9	6,80	124,1
2,40	5,47	3,85	15,3	5,35	44,7	6,85	129,2
2,45	5,70	3,90	15,8	5,40	46,1	6,90	134,3
						6,95	138,5
						7,0	142,8

мируемые значения затухания температуры наружного воздуха ν в ограждающих конструкциях зданий для южных районов СССР приведены в табл. 2.25.

Таблица 2.25

Наружные ограждения	Минимальные нормируемые значения ν при летних расчетных температурах для проектирования вентиляции при температуре	
	от 25 до 29 °С	30 °С и выше
Покрытия	25	35
Чердачные перекрытия и наружные стены, ориентированные на юг, восток или запад	15	25

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример. Определить теплопоступление от солнечной радиации в цех через покрытие (рис. 2.8) площадью $F = 60$ м² (г. Курск). 1. Сборные железобетонные крупнопанельные плиты: $\delta_1 = 0{,}05$ м; $\lambda_1 = 1{,}6$ Вт/(м · К); $S_1 = 15{,}5$ Вт/(м² · К).
2. Утеплитель — пенобетон: объемная масса $\gamma_2 = 400$ кг/м³; $\delta_2 = 0{,}175$ м; $\lambda_2 = 0{,}14$ Вт/(м · К); $S_2 = 1{,}83$ Вт/(м² · К);
3. Асфальтовая стяжка: $\delta_3 = 0{,}015$ м; $\lambda_3 = 0{,}75$ Вт/(м · К); $S_3 = 12{,}76$ Вт/(м² · К).
4. Водоизоляционный рубероидный ковер: $\delta_4 = 0{,}01$ м; $\lambda_4 = 0{,}3$ Вт/(м × × К); $S_4 = 3{,}31$ Вт/(м² · К).

Р е ш е н и е. 1. Сопротивление теплопередаче покрытия

$$R_0 = 0{,}115 + \frac{0{,}05}{1{,}6} + \frac{0{,}07}{0{,}14} + \frac{0{,}015}{0{,}75} + \frac{0{,}01}{0{,}3} + 0{,}043 = 0{,}741 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$$

2. Определяем затухание амплитуды колебания температуры наружного воздуха в покрытии ν, для чего предварительно находим коэффициенты теплоусвоения ψ наружных поверхностей каждого слоя. Первый слой — железобетонная плита:

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0{,}05}{1{,}6} = 0{,}03 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт};$$

$$D_1 = R_1 S_1 = 0{,}03 \quad 15{,}5 = 0{,}47,$$

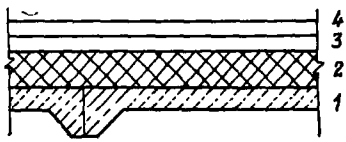


Рис. 2.8. Конструкция перекрытия

т. е. $D < 1$, поэтому пользуясь формулой ψ_1, находим

$$\psi_1 = \frac{R_1 S_1^2 + \alpha_в}{1 + R_1 \alpha_в} = \frac{0{,}03 \cdot 15{,}5^2 + 8{,}7}{1 + 0{,}03 \cdot 8{,}7} \approx 12{,}6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Второй слой — железобетов:

$$R_2 = \frac{0{,}175}{0{,}14} = 1{,}25 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}; \quad D_2 = 1{,}25 \cdot 1{,}83 \approx 2{,}3,$$

т. е. $D > 1$, следовательно, $\psi_2 = 1{,}83$ Вт/(м² · К).
Третий слой — асфальтовая стяжка:

$$R_3 = \frac{0{,}015}{0{,}75} = 0{,}02 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}; \quad D_3 = 0{,}02 \cdot 12{,}76 \approx 0{,}26 < 1;$$

$$\psi_3 = \frac{R_3 S_3^2 + \psi_2}{1 + R_3 \psi_2} = \frac{0{,}02 \cdot 12{,}76^2 + 1{,}83}{1 + 0{,}02 \cdot 1{,}83} \approx 4{,}9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Четвертый слой — рубероидный ковер:

$$R_4 = \frac{0{,}01}{0{,}3} = 0{,}03 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}; \quad D_4 = 0{,}03 \cdot 3{,}31 \approx 0{,}1 < 1;$$

$$\psi_4 = \frac{R_4 S_4^2 + \psi_3}{1 + R_4 \psi_3} = \frac{0{,}03 \cdot 3{,}31^2 + 4{,}9}{1 + 0{,}03 \cdot 4{,}9} \approx 4{,}6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

Характеристика тепловой инерции покрытия: $D = D_1 + D_2 + D_3 + D_4 = 0{,}47 + 23 + 0{,}26 + 0{,}1 = 3{,}13$. По таблице 2.24 для $D = 3{,}13$ находим $e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} = 9{,}39$. При скорости ветра $v = 3{,}5$ м/с $\alpha_н = 8{,}7 + 2{,}6 \cdot 3{,}5 = 17{,}8$ Вт/(м² · К).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Подставляя полученные значения в формулу

$$\nu = 0{,}9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \frac{(S_1 + \alpha_в)(S_2 + \psi_1)(S_3 + \psi_2)(S_4 + \psi_3)(\alpha_н + \psi_4)}{(S_1 + \psi_1)(S_2 + \psi_2)(S_3 + \psi_3)(S_4 + \psi_4)\alpha_н},$$

находим

$$\nu = 0{,}9 \cdot 9{,}39 \times$$

$$\times \frac{(15{,}5 + 8{,}7)(1{,}83 + 12{,}6)(12{,}76 + 1{,}83)(3{,}31 + 4{,}9)(17{,}8 + 4{,}6)}{(15{,}5 + 12{,}6)(1{,}83 + 1{,}83)(12{,}76 + 4{,}9)(3{,}31 + 4{,}6)\,17{,}8} = 61,$$

что удовлетворяет нормируемым требованиям, поскольку $61 > 25$ (см табл 2.25).

3. По табл. 2 22 находим $A_{t_н} = 0{,}5 \cdot 18{,}2 = 9{,}1$ °С.

4. Вычисляем амплитуду колебаний температур наружного воздуха с учетом солнечной раднации

$$A_н^{усл} = \frac{\rho (I_{макс} - I_{ср})}{\alpha_н} + A_{t_н} = \frac{0{,}9(852 - 329)}{17{,}8} + 9{,}1 = 35{,}5\ °С,$$

где 852 и 329 приняты по табл. 2.23 для 52 ° с.ш.

5. Определяем амплитуду колебаний температуры внутренней поверхности покрытия

$$A\tau_в = \frac{A_н^{усл}}{\nu} = \frac{35{,}4}{61} = 0{,}58\ °С.$$

6. Подсчитываем амплитуду колебаний теплового потока

$$A_q = \alpha_в F A\tau_в = 8{,}7 \cdot 60 \cdot 0{,}58 = 303\ Вт.$$

7. Условную средиесуточную температуру наружного воздуха находим по зависимостн

$$t_н^{усл} = t'_н + \frac{\rho I_{ср}}{\alpha_н} = 19{,}3 + \frac{0{,}9 \cdot 329}{17{,}8} = 36\ °С.$$

8. Среднесуточное теплопоступление от солнечной радиацня

$$q_о = \frac{F}{R_о}(t_н^{усл} - t_в) = \frac{60}{0{,}741}(36 - 27{,}9) \approx 656\ Вт,$$

здесь $t_в = t_{ух} = t_н^A + 5 = 22{,}9 + 5 = 27{,}9$ °С.

9. Теплопоступлеиие от солнечной радиации в цех через покрытие

$$Q = q_о + \beta A_q = 656 + 1 \cdot 303 = 959\ Вт,$$

где $\beta = 1$ (по табл. 2.20), поскольку расчетный час не задан. Время максимума теплопоступлений, считая от полуночи, в помещения через покрытие рассчитываем по формуле $\tau = 13 + 2{,}7$ D, где D — тепловая инерция покрытия. Есл, например, цех работает в две смены, максимальные теплопоступления солнечной радиации будут в нерабочую смену, т. е. для рассмотренного выше условия $\tau = 13 + 2{,}7 \cdot 3{,}13 \approx 21{,}5$ часа. Если же расчетный час задан, к примеру 16 ч, для него $\beta = 0{,}26$, (21,5 — 16 = 5,5 ч до максимума, см. табл. 2.20) и теплопоступление в цех в это время $Q = q_о + \beta A_q = 656 + 0{,}26 \cdot 303 \approx 735$ Вт. Инсоляцию через наружные стены обычно не учитывают, кроме случаев устройства кондиционирования с автоматическим регулированием заданных параметров воздуха внутри помещения.

Теплопоступления от солнечной радиации надлежит учитывать в тепловом балансе для теплого периода года, для переходных условий—с коэффициентом 0,5.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Теплопоступления с открытой поверхности воды и с водяным паром в явном и скрытом виде при условии, что температура воды t_w больше температуры окружающего воздуха $t_в$ определяют по формулам

$$Q^{я}_{п.\,в} = (5{,}71 + 4{,}06v)(t_w - t_в)F; \quad Q^{с}_{п.\,в} = WJ_п,$$

где v — скорость движения воздуха над поверхностью воды, $v = 0{,}2 \ldots 0{,}3$ м/с; F — площадь поверхности воды, м^2; $I_п$ — энтальпия пара, кДж/кг, $I_п = 2500 + 1{,}8\ t_w$; W — интенсивность испарения, кг/ч,

$$W = (a + 0{,}131v)(P_2 - P_1)\frac{101{,}33}{P_б}F.$$

Таблица 2.26

t_w	30	40	50	60	70	80	90
a	0,216	0,232	0,248	0,276	0,303	0,343	0,383

Таблица 2.27

t, °С	$P_н$, кПа	t, °С	$P_н$, кПа	t, °С	$P_н$, кПа	t, °С	$P_н$, кПа
0	0,6	26	3,36	51	12,96	76	40,18
1	0,66	27	3,57	52	13,61	77	41,88
2	0,71	28	3,78	53	14,29	78	43,64
3	0,76	29	4,01	54	15	79	45,46
4	0,81	30	4,24	55	15,73	80	47,34
5	0,87	31	4,49	56	16,51	81	49,29
6	0,93	32	4,75	57	17,31	82	51,32
7	1	33	5,03	58	18,15	83	53,41
8	1,07	34	5,31	59	19,01	84	55,57
9	1,15	35	5,62	60	19,92	85	57,81
10	1,23	36	5,94	61	20,85	86	60,12
11	1,31	37	6,28	62	21,84	87	62,49
12	1,4	38	6,62	63	22,85	88	64,94
13	1,5	39	6,99	64	23,9	89	67,47
14	1,6	40	7,38	65	25,0	90	70,1
15	1,71	41	7,78	66	26,14	91	72,81
16	1,82	42	8,2	67	27,33	92	75,59
17	1,94	43	8,64	68	28,56	93	78,47
18	2,06	44	9,1	69	29,82	94	81,45
19	2,2	45	9,58	70	31,16	95	84,51
20	2,34	46	10,9	71	32,52	96	87,67
21	2,45	47	10,61	72	33,94	97	90,94
22	2,64	48	11,16	73	35,42	98	94,3
23	2,81	49	11,74	74	36,96	99	97,75
24	2,98	50	12,33	75	38,54	100	101,33
25	3,18						

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Здесь а — фактор гравитационной подвижности окружающего воздуха при температуре помещения в пределах $t_в$ = 15...30 °С (табл. 2.26); P_1 — давление водяных паров, содержащихся в воздухе помещения при соответствующей относительной влажности, кПа; P_2 — давление водяных паров, насыщающих воздух помещения при t_w, кПа (табл. 2.27); $P_б$ — барометрическое давление, кПа.

Если температура воды t_w поддерживается на одном и том же уровне, температура зеркала испарения $t_и$ принимается по табл. 2.28.

Таблица 2.28

t_w	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
$t_п$	18	23	28	37	45	51	53	60	82	97

Пример. Определить явные теплопоступления в помещение с поверхности ванны, наполненной водой, температура которой 40 °С. Поверхность воды F = 4 м², скорость двнжения воздуха v = 0,2 м/с, t = 18 °С.

Р е ш е н и е. По табл. 2.28 принимаем температуру зеркала испареиия $t_и$ = 37 °С. Теплопоступление за 1 ч

$$Q_п^я = (5{,}71 + 4{,}06v)(t_и - t_в)F = (5{,}71 + 4{,}06 \cdot 0{,}2) \cdot (37 - 18) \cdot 4 = 496 \text{ Вт}.$$

Тепловыделения от одного электросварочного поста в среднем составляют $Q_{э.п} \approx 4640$ Вт, газосварочного поста $Q_{г.п} \approx 11600$ Вт.

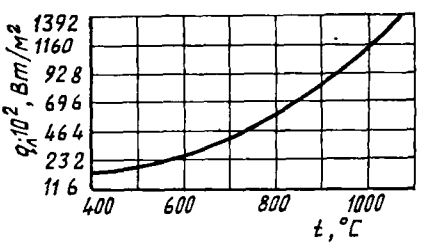


Рис. 2.9. Излучение теплоты через открытые загрузочные отверстня вагранок: t—температура в шахте вагранки на уровне загрузочного окна, °С, $q_л$— лучнстая теплота, Вт/м²

Теплопоступления в помещение от газов, прорвавшихся через укрытия газосварочных горелок, определяются по формуле $Q_{г.г} = 27V$, где V — расход ацетилена, л.

Тепловыделения от вагранок при отсутствии системы водяного охлаждения стенок шахты принимаются 700 Вт на 1 м² поверхности, при водяном охлаждении — 348 Вт на 1 м². При этом теплоотдающая поверхность учитывается от уровня дна вагранки. Излучение через загрузочные отверстия в зависимости от температуры в шахте вагранки определяется с помощью рис. 2.9.

Теплота, вносимая приточным воздухом,

$$Q_{пр} = 0{,}278cG_{пр}(t_{пр} - t_{р.з}),$$

где $G_{пр}$ — количество поступающего в помещение приточного воздуха, кг/ч; $t_{пр}$ — его температура, °С.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

2.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРЬ ТЕПЛОТЫ

Потери теплоты через ограждающие конструкции находим по формуле

$$Q_{т.\,п} = k \cdot F (t_в - t_н^Б) n,$$

где k — коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, Вт/(м² · К), $k = 1/R_0$; F — площадь ограждения, м²; $t_в$ — расчетная температура внутреннего воздуха, принимаемая по ГОСТ 12.1. 005–76 [26] и нормам проектирования соответствующих зданий и сооружений, °С. Для «горячих цехов» (кузнечные, термические, литейные) при выборе $t_в$ следует учитывать распределение температур воздуха по высоте: для ограждений высотой до 4 м и для пола за расчетную температуру принимается $t_в = t_{р.\,з}$; для ограждений высотой от 4 м до покрытия (карниза) $t_в = 0{,}5 (t_{р.\,з} + t_{ух})$; для покрытия и фонарей $t_в = t_{ух}$; $t_н^Б$ — расчетная температура холодного периода года (параметры климата «Б»); n — коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху; R_0 — сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, м² · К/Вт, которое должно быть не менее требуемого, определенного по формуле

$$R_o^{тр} = \frac{(t_в - t_н) n}{\Delta t^н \alpha_в},$$

где $t_н$ — температура наружного воздуха, °С, принимаемая с учетом тепловой инерции ограждающей конструкции (за исключением заполнений проемов) $D = R_1S_1 + R_2S_2 + \ldots R_nS_n$ [45]: при $Д \leqslant 1{,}5$ $t_н = t_{ам}$ (абсолютная минимальная температура), при $Д > 1{,}5$ до 4 $t_н = t_{х.\,с}$ (средняя температура наиболее холодных суток), при $D > 4$ до 7 $t_н = 0{,}5 (t_{х.\,с} + t_н^Б)$, при $D > 7$ $t_н = t_н^Б$; $\Delta t^н$ — нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С [43]; $\alpha_в$ — коэффициент тепловосприятия внутренней поверхности ограждающей конструкции, (м² · К)/Вт [43].

Сопротивление теплопередаче заполнения световых проемов окон и фонарей приведено в табл. 2.29.

Таблица 2.29

Заполнение светового проема	R_o, м² · К/Вт
Одинарное остекление в деревянных переплетах	0,172
То же в металлических переплетах	0,16
Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах	0,34
То же в металлических спаренных переплетах	0,31
Блоки стеклянные пустотелые размером 194×194×98 мм	0,31
То же размером 244×244×98 мм	0,33

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Добавочные потери теплоты ограждающими конструкциями (стены, двери, светопроемы) в зависимости от их ориентации определяются в процентах от основных: обращенные на С, В, СВ, СЗ — 10; обращенные на ЮВ и З — 5.

Результаты расчета потерь теплоты следует записывать в бланк, форма которого приведена в табл. 2.30.

Таблица 2.30

№ помещения	Наименование помещения и его температура	Ограждение				k, Вт/(м² · К)	$\Delta t = t_в - t_н^Б$, °С	Q, Вт	Добавочные потери теплоты, %		$Q_т$. п, Вт
		Наименование	Ориентация по сторонам света	Размеры $a \times b$ м	F, м²				на ориентацию по сторонам света	другие	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Примечание. Линейные размеры ограждающих конструкций $a \times b$ и их площадь F следует определять с точностью до 0,1 м и 0,1 м² соответственно.

Потери теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха. Инфильтрация — неорганизованное поступление в помещение наружного воздуха через неплотности ограждающих конструкций (стены, двери, окна, фонари) вследствие разности давления воздуха снаружи и внутри здания. Инфильтрацию следует рассчитывать таким образом:

при наличии ограждающих конструкций и световых проемов с одной стороны — по этой стороне независимо от господствующего направления ветра;

то же в двух противоположных стенах — по той стороне, которая дает большее суммарное значение инфильтрации;

то же в трех и четырех стенах и для угловых помещений — по стороне с большей суммарной инфильтрацией либо по максимальной сумме инфильтрации в двух смежных стенах с коэффициентом 0,65. В более сложных случаях (многоэтажные здания) расчет ведется по соответствующим инструкциям и, как правило, с помощью ЭВМ.

Инфильтрация через наружные стены весьма незначительна, поэтому в тепловом балансе помещения добавочные потери теплоты достаточно учитывать только на нагрев воздуха, инфильтрующегося через окна (световые проемы). по формуле

$$Q_{инф} = 0{,}278 c A_o F_o G_o (t_в - t_н^Б),$$

где c — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К); A_o — коэффициент, учитывающий нагревание инфильтрующегося воздуха встречным тепловым потоком; для окон с раздельными переплетами

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

$A_o = 0{,}8$, со спаренными $A_o = 1$; F_o — расчетная площадь светового проема, м²; G_o — масса воздуха, поступающего в помещение путем инфильтрации через 1 м² окна, кг/(м² · ч), $G_o = (\Delta P)^{2/3} R_o^{-1}$, где R_o — сопротивление воздухопроницанию светового проема, (м² · ч × × Па)$^{2/3}$/кг (табл. 2.31); ΔP — разность давлений воздуха на наружной и внутренней поверхностях ограждающих конструкций, Па,

$$\Delta P = 9{,}81[(H - h)(\rho_н - \rho_в) + 0{,}05\,\rho_н v^2 (c_н - c_з)\,k] - \Delta P_м,$$

Таблица 2.31

Заполнение светового проема	Число уплотненных притворов заполнения	R_o, (м² · ч · Па)$^{2/3}$/кг при прокладках в притворах		
		полушерстяном шнуре	губчатой резине	пенополиуретане
Одинарное или двойное остекление в спаренных переплетах	1	0,54	0,7	1,19
Двойное остекление в раздельных переплетах	1	0,64	0,85	1,33
	2	0,91	1,2	1,74
Тройное остекление в одинарном и спарением переплетах	1	0,96	1,18	1,38
	2	0,99	1,23	2,02
	3	1,28	1,72	2,57

Примечание 1. Для окон без открывающихся створок $R_o = 4{,}54$. 2. Для заполнений световых проемов с металлическими переплетами поправочный коэффициент равен 1,1. 3. Для светоаэрационных П-образных фонарей $R_o = 0{,}055$ (при $q > 23$ Вт/м³) и $R_o = 0{,}115$ (при $q < 23$ Вт/м³).

где H — высота здания от поверхности земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или шахты, м; h — высота от поверхности земли до центра той ограждающей конструкции (окно, фонарь), для которой определяется G_0, м; $\rho_н$, $\rho_в$ — плотности соответственно наружного и внутреннего воздуха, кг/м³, при температурах $t_н$ и $t_в$; v — расчетная скорость ветра для данной местности в холодный период года, м/с, принимается в соответствии с главой СНиП по строительной климатологии и геофизике [45]; $c_н$, $c_з$ — аэродинамические коэффициенты соответственно для наветренной и заветренной поверхностей ограждающих конструкций, принимаемые по СНиП 2.01.07—85; в среднем $c_н = +0{,}8$; $c_з = -0{,}6$; k — коэффициент, учитывающий изменение скоростного давления ветра в зависимости от высоты и характера местности (табл. 2.32); $\Delta P_м$ — разность давлений, Па, возникающая вследствие дебаланса между подаваемым в помещение и удаляемым из него воздухом $\Delta G_н$, кг/(м² · ч), определяется по формуле [21]

$$\Delta P_м = \Delta G_н^{3/2} (\Sigma R_o)^{3/2}.$$

Добавочные потери теплоты на нагрев наружного воздуха, поступающего путем инфильтрации в производственные здания, при

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.32

Тип местности	Высота над поверхностью земли						
	10	20	30	40	50	60	70
А	0,6	0,55	0,51	0,48	0,47	0,46	0,45
Б	0,88	0,75	0,68	0,65	0,62	0,60	0,58
В	1,75	1,4	1,2	1,1	1,02	0,97	0,92

Примечание. 1. А — открытые местности (степи, лесостепи, пустыни, открытые побережья морей, озер, водохранилищ); Б — территории малых и средних городов, больших крупных и крупнейших городов, застроенные зданиями высотой до 20 м, леса; В — территории больших крупных и крупнейших городов, застроенные зданиями высотой выше 20 м 2. Для зданий высотой до 40 м в местности типа В, рассчитываемых только на статическую составляющую ветровой нагрузки, значение коэффициента k следует умножать на дополнительные коэффициенты: 1,7 — при высоте зданий до 20 м; 1,6 — при высоте свыше 20 м.

отсутствии данных для расчета допускается принимать равными 30 % основных потерь теплоты, но не менее чем это требуется для нагревания воздуха, поступающего вследствие дебаланса по притоку и вытяжке при вентиляции с механическим побуждением.

При учете дополнительных потерь теплоты на инфильтрацию добавочными нормативными потерями теплоты «на ветер» для помещений в зданиях любого назначения пренебрегают.

Пример. Определить добавочные потери теплоты на нагрев инфильтрационного воздуха в помещениях № 1 и 2 механосборочного цеха (рис. 2.10). Цех расположен на промышленной площадке в г. Курске. Заполнения световых проемов в стенах — двойное остекление в раздельных переплетах, фрамуги фонаря одинарные в металлических переплетах. Температура воздуха в помещениях $t_в = 18$ °С, $\Delta P_м = 0$.

Решение. С учетом СНиП [42] принимаем $t_н^Б = -24$ °С, $v = 5{,}3$ м/с; по табл. 2.32 $к = 0{,}88$, $\rho_н = 1{,}418$ кг/м³, $\rho_п = 1{,}213$ кг/м³. Для окон $A_о = 0{,}8$, для фонаря $A_ф = 1$. По табл. 2.31 $R_о = 1{,}74$ (м² · ч · Па)$^{2/3}$/кг, $R_ф = 0{,}115 \cdot 1{,}1 = 0{,}127$ (м² · ч · Па)$^{2/3}$/кг.

Помещение № 1. Площади окон на южной стороне $F_ю = 57{,}6$ м², с северной $F_с = 50{,}4$ м², площадь остекления фонаря $F_ф = 21{,}6$ м². Инфильтрацию учитываем с южной стороны. Находим ΔP:

для оконных проемов

$$\Delta P_о = 9{,}81\,[(H - h)(\rho_н - \rho_в) + 0{,}05\rho_н v^2 (c_н - c_з)\,k] =$$
$$= 9{,}81\,[(8 - 4{,}2) \cdot (1{,}418 - 1{,}213) + 0{,}05 \cdot 1{,}418 \cdot 5{,}3^2\,(0{,}8 + 0{,}6) \cdot 0{,}88] =$$
$$= 31{,}67 \text{ Па};$$

для фонаря $\Delta P_ф = 9{,}81\,[(10{,}6 - 9{,}6) \cdot (1{,}418 - 1{,}213) +$
$+ 0{,}05 \cdot 1{,}418 \quad 5{,}3^2\,(0{,}8 + 0{,}6)\,0{,}88] = 26$ Па.

Количество инфильтрующегося воздуха:

через окна $G_о = (\Delta P_о)^{2/3} R_о^{-1} = (31{,}67)^{2/3} \cdot 1{,}74^{-1} = 5{,}8$ кг/(м² ч);

через фонарь $G_ф = (26)^{2/3} \cdot 0{,}127^{-1} = 69$ кг/(м² · ч).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Потери теплоты на нагрев инфильтрующегося воздуха:
через окна

$$Q_o = 0{,}278 c A_o F_o G_o (t_в - t_н^Б) = 0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot 0{,}8 \cdot 57{,}6 \cdot 5{,}8 (18 + 24) = 3136 \text{ Вт};$$

через фонарь $Q_ф = 0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot 1 \cdot 21{,}6 \cdot 69\ (18 + 24) = 17489$ Вт.
Суммарные потери теплоты $Q_{инф} \approx 20625$ Вт.

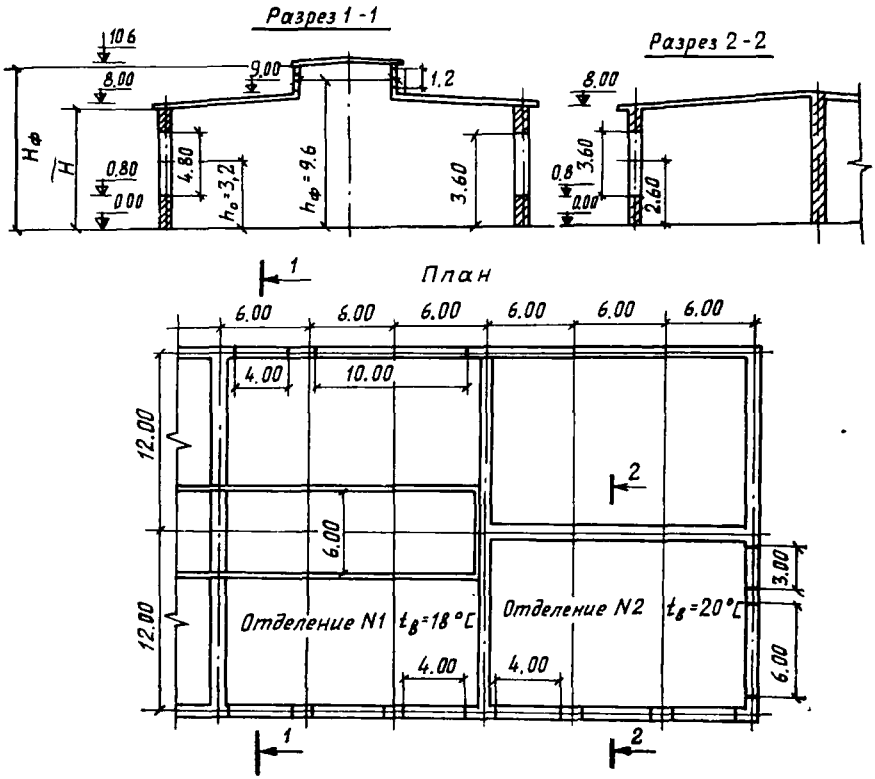


Рис. 2.10. План и разрезы помещений

Помещение № 2. Площадь окон с южной стороны $F_ю = (4 \cdot 3{,}6)3 = 43{,}2$ м², с восточной $F_в = 9 \cdot 3{,}6 = 32{,}4$ м². Разность давлений (значения ρ, v, c, k аналогичны ранее принятым):

для южной стороны $\Delta P_ю = 9{,}81\ [(8 - 2{,}6) \cdot 0{,}205 + 2{,}45] = 34{,}9$ Па;
для восточной стороны $\Delta P_в = 9{,}81\ [(8 - 2{,}6)\ 0{,}205 + 2{,}45] = 34{,}9$ Па.

Количество инфильтрирующего воздуха: с южной стороны $G_ю = (34{,}9)^{2/3} \times 1{,}74^{-1} = 6{,}12$ кг/(м² · ч); с восточной — $G_в = 6{,}12$ кг/(м² · ч).

Потери теплоты: $Q_ю = 0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot 0{,}8 \cdot 43{,}2 \cdot 6{,}12 \cdot 42 = 2482$ Вт; $Q_в = 0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot 0{,}8 \cdot 32{,}4 \cdot 6{,}12 \cdot 42 = 1861$ Вт; через две стороны с коэффициентом 0,65 $Q_{инф} = (2482 + 1861)\,0{,}65 = 2823$ Вт. Расчетным значением является большее, т. е. $Q_{инф} = 2823$ Вт.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Потери теплоты на испарение влаги определяют по формуле $Q_{исп} = 0{,}278 W I_п$. Потери явной теплоты окружающего воздуха на испарение влаги происходят в случае, когда температура воды t_w ниже температуры окружающего воздуха $t_в$.

Пример. Определить потери явной теплоты, затрачиваемой на испарение влаги с открытой поверхности ванн при следующих данных: температура воды $t_w = 20$ °С ($t_н = 18$ °С), температура помещения $t_в = 29$ °С, относительная влажность водуха $\varphi_в = 50$ %, скорость движения воздуха над веркалом испарения $v = 0{,}3$ м/с. Общая поверхность зеркала испарения $F = 30$ м², $P_б = 101{,}33$ кПа.

Р е ш е н и е. Давление водяных паров, насыщающих воздух при $t_и = 18$ °С, составляет $P_2 = 2{,}06$ кПа (табл. 2.27), давление водяного пара в воздухе при $t_в = 29$ °С и $\varphi_в = 50$ % $P_1 = 4{,}01 \cdot 0{,}5 = 2{,}005$ кПа, коэффициент $a = 0{,}216$ (по табл. 2.26). Интенсивность испарения

$$W = (a + 0{,}131v)(P_2 - P_1)\frac{101{,}33}{P_б}F =$$

$$= (0{,}216 + 0{,}131 \cdot 0{,}3) \cdot (2{,}06 - 2{,}005) \cdot \frac{101{,}33}{101{,}33} \cdot 30 = 0{,}42 \text{ кг/ч}.$$

Расход явной теплоты, затраченной на испарение влаги,

$$Q_{исп} = 0{,}278 W (2500 + 1{,}8 t_и) = 0{,}278 \cdot 0{,}42 (2500 + 1{,}8 \cdot 18) = 296 \text{ Вт}.$$

В условиях адиабатического теплообмена эта теплота возвращается в воздух помещения в виде скрытой теплоты.

Потери теплоты на нагрев поступающих материалов $Q_м = 0{,}278 G_м c_м (t_в - t_м)\beta$, где $G_м$ — масса поступающих однородных материалов в течение 1 ч, кг; $c_м$ — их удельная теплоемкость, кДж/(кг · К), для металла $c_м = 0{,}46$; β — коэффициент, учитывающий интенсивность поглощения теплоты по времени (см. с. 32); $t_м$ — температура материала: для металла и металлических изделий $t_м = t_н^Б$; для других несыпучих материалов $t_м = t_н^Б + 10$; для сыпучих материалов (песок, руда, уголь) $t_м = t_н^Б + 15$.

Расход теплоты на нагрев древесных материалов приведен в табл. 2.33 [17].

Таблица 2.33

Время с момента поступления материала в цех, ч	Расход теплоты, Вт при наружной температуре $t_н$, °С						
	—10	—15	—20	—25	—30	—35	—40
Первый	4998	7300	7800	9300	10800	12300	13800
Второй	3364	4400	4700	5600	6500	7400	8300
Третий	2204	2900	3100	3700	4300	4900	5500

Потери теплоты на нагрев транспорта $Q_{тр} = qB\frac{\tau}{60}$, где q — расход теплоты на нагрев транспорта от температуры $t_н$ до $t_в$, принимаемый по табл. 2.34, 2.35; B — коэффициент, учитывающий

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 2.34

Марка автомобиля	Потери теплоты на обогрев автомобиля q, МДж при расчетной наружной температуре $t_н$, °С											
	—15		—20		—25		—30		—35		—40	
	при расчетной внутренней температуре помещения $t_в$, °С											
	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15	5	15
«Москвич-412»	0	3,35	0,84	5,44	2,51	7,12	4,19	8,79	5,86	10,47	7,95	12,56
«Москвич-433»	0	2,44	2,1	7,54	4,2	3,63	6,7	12,14	8,79	14,24	10,9	16,33
«Волга-М-24»	0	4,2	0	6,28	2,1	8,79	5,0	11,3	7,12	13,82	9,63	10,33
ЗИЛ-111	0	9,68	0,84	15,1	5,87	20,53	11,7	25,6	16,76	31,0	22,2	36,5
ГАЗ-69; ГАЗ-694	0,42	8,38	3,77	11,33	6,7	14,65	10,5	18,0	13,4	20,33	16,33	24,28
ЗИЛ-157	0	35,6	13,4	50,66	28,47	66,73	43,54	80,81	58,0	95,88	73,69	110,95
ПАЗ-625Б	6,7	29,31	16,33	38,94	25,96	48,57	35,59	58,2	45,22	67,83	54,85	77,46
УАЗ-450А	1,26	10,47	5,02	14,24	9,21	18,0	12,98	21,8	16,75	26,96	20,52	29,73
РАФ-08	1,67	8,79	4,61	12,14	7,95	15,07	11,3	18,42	14,65	21,77	17,58	24,7
РАФ-10	0,48	8,8	3,77	11,72	7,12	15,5	10,9	18,84	14,24	22,19	17,58	25,54
ЗИЛ 130, 150, 164	9,21	35,6	20,93	48,15	32,66	59,03	43,96	70,76	56,1	82,48	67,83	94,2
ГАЗ-51, 51А	5,02	20,93	12,14	27,63	18,84	34,33	25,96	41,45	32,66	48,15	39,36	55,27

Таблица 2.35

Тип железнодорожного товарного вагона	Грузоподъемность, т	Потери теплоты на обогрев железнодорожного товарного вагона q, МДж при расчетной наружной температуре $t_н$, °С									
		—15		—20		—25		—30		—35	
		при расчетной внутренней температуре помещения $t_в$, °С									
		5	15	5	15	5	15	5	15	5	15
Крытый	16,5	115,6	173,3	144,4	202,2	173,3	231,1	202,2	255,8	231,1	288,9
Платформа	16,5	83,7	125,6	164,7	145,5	125,6	167,5	146,5	188,4	167,5	209,3
Крытый	20	163,3	244,5	203,9	285,5	244,5	326,6	285,5	367,2	326,6	408,2
Платформа	20	104,7	158,7	130,6	183	158,7	209,3	183	235,3	209,3	261,7
Крытый	50	301,4	452,2	376,8	527,5	452,2	590,3	527,5	678,3	590,3	753,6
Платформа	50	251,2	376,8	314	439,6	376,8	502,4	439,6	611,3	502,4	628
Хоппер	60	226,1	339,1	282	395,7	339,1	452,2	395,7	508,7	452,2	565,2

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

интенсивность поглощения теплоты: для первого часа — 0,5, для второго — 0,3, для третьего — 0,2 [19]. При нахождении транспорта в помещении менее одного часа количество ассимилированной теплоты принимается пропорциональным фактическому времени из расчета интенсивности первого часа.

Пример. Для завоза поковок в термический цех используется машина ГАЗ-69. Время пребывания машины в цехе $\tau = 20$ мин. Определить расход теплоты на ее нагрев, если $t_н = -20$ °С, $t_в = 15$ °С.

Р е ш е н и е. Принимаем для первого часа $B = 0,5$, по табл. 2.34 $q = 11,33$ МДж. Расход теплоты на нагрев машины $Q_{тр} = qB\frac{\tau}{60} = 11,33 \times$ $\times 0,5 \cdot \frac{20}{60} \approx 1,9$ МДж.

Потери теплоты на нагрев холодного воздуха, поступающего через открытые проемы ворот (дверей), не оборудованные воздушными завесами,

$$Q_{х.в} = 0,278c\,G\,(t_в - t_н^Б)\,\frac{\tau}{60},$$

Таблица 2.36

t	ρ	t	ρ	t	ρ
−30	1,453	0	1,293	+31	1,161
−29	1,448	+1	1,288	+32	1,157
−28	1,442	+2	1,284	+33	1,154
−27	1,436	+3	1,279	+34	1,15
−26	1,43	+4	1,275	+35	1,146
−25	1,424	+5	1,27	+36	1,142
−24	1,418	+6	1,265	+37	1,139
−23	1,413	+7	1,261	+38	1,135
−22	1,407	+8	1,256	+39	1,132
−21	1,402	+9	1,252	+40	1,128
−20	1,386	+10	1,248	+41	1,124
−19	1,39	+11	1,243	+42	1,121
−18	1,385	+12	1,239	+43	1,117
−17	1,379	+13	1,235	+44	1,114
−16	1,374	+14	1,23	+45	1,11
−15	1,368	+15	1,226	+46	1,107
−14	1,363	+16	1,217	+47	1,103
−13	1,358	+17	1,213	+48	1,1
−12	1,353	+18	1,213	+49	1,096
−11	1,348	+19	1,209	+50	1,093
−10	1,342	+20	1,205	+51	1,09
−9	1,337	+21	1,201	+52	1,086
−8	1,332	+22	1,197	+53	1,083
−7	1,327	+23	1,193	+54	1,08
−6	1,332	+24	1,889	+55	1,076
−5	1,317	+25	1,185	+56	1,073
−4	1,312	+26	1,181	+57	1,07
−3	1,308	+27	1,177	+58	1,067
−2	1,303	+28	1,173	+59	1,063
−1	1,298	+29	1,169		
		+30	1,165		

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

где c — теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К); τ — время, в течение которого ворота открыты, мин; G — количество врывающегося воздуха, кг/ч,

$$G = 16000\,\mu F\sqrt{h\,(\rho_н - \rho_в)\,\rho_н}.$$

Здесь μ — коэффициент расхода; при угле раскрытия ворот $\alpha = 90°$ $\mu = 0{,}62$; F — площадь ворот, м^2; h — расстояние между центрами приточных (ворот) и вытяжных проемов,м; $\rho_н$, $\rho_в$ — плотность сухого наружного и внутреннего воздуха, кг/м^3 при $P_б = 101{,}33$ КПа (табл. 2.36).

Пример. Определнть расход теплоты на нагрев врывающегося холодного воздуха через открытый проем ворот размером 3 × 4 м, в здании высотой до верха фонаря 14 м. Прн этом $t_в = 16$ °С, $t_н^Б = -22$ °С, $\tau = 20$ мнн.

Р е ш е н н е. Находнм колнчество врывающегося воздуха. Расстояние между центрамн прнточных (ворот) н вытяжных проемов в фонаре $h = 12$ м. Гравнтацнонное давление $P = hg\,(\rho_н - \rho_в) = 12 \cdot 9{,}81 \cdot (1{,}407 - 1{,}267) = 16{,}5$ Па. Прнмем долю давления, расходуемого на преодоленне сопротивлення прн проходе воздуха через приточные проемы [19] $\Delta P_{пр} = nP = 0{,}2 \times 16{,}5 = 3{,}3$ Па, тогда

$$G = 16\,000 \cdot 0{,}62 \cdot 12 \cdot \sqrt{0{,}33 \cdot 1{,}407} = 81\,114 \text{ кг/ч};$$

$$Q_{ж.\,в} = 0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot 81\,114\,(18 + 22)\frac{20}{60} = 302\,170 \text{ Вт}.$$

Для бесфонарных зданнй $h = 0{,}5\,H$, где H — высота ворот, м.

Теплота, уносимая с воздухом местной вытяжной вентиляции,

$$Q_{м.\,в} = 0{,}278\,G_{м.\,о}\,c\,(t_{р.\,з} - t_{пр}).$$

Здесь $G_{м.\,о}$ — количество воздуха, уносимое местными отсосами кг/ч; c — теплоемкость уноснмого воздуха, кДж/(кг · К); $t_{р.\,з}$ — температура воздуха в рабочей зоне; $t_{пр}$ — температура приточного воздуха, °С.

Теплоту, уносимую с воздухом вытяжной общеобменной вентиляции, определяют по формуле

$$Q_{о.\,в} = 0{,}278\,G_{в.\,з}\,c\,(t_{ух} - t_{пр}),$$

где $G_{в.\,з}$ — количество воздуха, удаляемое из верхней зоны помещения, кг/ч; c — его теплоемкость, кДж/(кг · К); $t_{пр}$ — температура приточного воздуха, °С; $t_{ух}$ — температура уходящего воздуха, °С,

$$t_{ух} = t_{р.\,з} + \beta\,(H - 2);\ t_{ух} = t_{пр} + \frac{t_{р.\,з} - t_{пр}}{m};$$

$$t_{ух} = t_{пр} + k_t\,(t_{р.\,з} - t_{пр}).$$

Подробные сведения о выборе значений $G_{м.\,о}$, $t_{пр}$, $t_{ух}$, β, m, k_t приведены в гл. 5.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Глава 3

ВЫДЕЛЕНИЯ ВЛАГИ, ГАЗОВ И ПЫЛИ

3.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОВЫДЕЛЕНИЙ

Влаговыделения людьми ($W_л$,г/ч) находят по формуле $W_л = wn$, где w — влаговыделения одним человеком, г/ч (см. табл. 2.1); n — количество людей, находящихся в помещении.

Влаговыделения с открытой поверхности некипящей воды рассмотрены в гл. 2 в подразделе, посвященном потерям теплоты на испарение влаги.

Влаговыделения с открытой поверхности кипящей воды определяют по количеству подводимой теплоты. Если теплота поступает через змеевики, ориентировочно можно принимать $W_{о.п} = 40$ ... ... 50 кг/ч·м^2. При барботажном способе нагрева количество испаряющейся влаги примерно равно расходу пара. Если имеются местные отсосы (кожухи, витрины), а также бортовые отсосы, количество влаги, поступающей в помещение, принимается с понижающим коэффициентом 0,15...0,20; при устройстве завес — 0,2...0,3; при устройстве зонтов — 0,3...0,35.

Влаговыделения с поверхности смоченных материалов и изделий определяются на основе опытных или технологических данных. Когда поверхность изделий, подвергающихся обработке в ваннах, не велика, количество испаряющейся влаги может ориентировочно приниматься в пределах 20 % количества влаговыделений с поверхности ванн. Количество испарившейся влаги с какой-либо поверхности (например, пола) в условиях адиабатического процесса ($W_п$, кг/ч) можно рассчитать по формуле

$$W_п = 6F(t_с - t_м) \cdot 10^{-3},$$

где F — поверхность испарения, м^2; $t_с$, $t_м$ — температуры воздуха помещения по сухому и мокрому термометрам, °С. Влаговыделения при сушке материалов ($W_м$, кг/ч), находящихся в цехе,

$$W_м = 60(G_н - G_к)\tau,$$

где $G_н$, $G_к$ — начальная и конечная массы материалов, кг; τ — время пребывания материала в цехе, за которое масса уменьшилась с $G_н$ до $G_к$.

Влаговыделения от производственных агрегатов в виде пара, поступающие в помещение через неплотности в аппаратуре и трубопроводах, принимаются по данным технологов или ориентировочно равными 0,1...0,15 % объема пара, находящегося в аппаратуре и трубопроводах.

Количество паров воды, аэрозоля масла и эмульсола, выделяющихся при работе металлообрабатывающих станков (в граммах за час на 1 кВт установленной мощности [8]), приведено в табл. 3.1

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 3.1

Оборудование	Аэрозоль масла	Аэрозоль эмульсола	Пары воды
Металлорежущие станки при масляном охлаждении	0,2	—	—
Металлорежущие станки при эмульсионном охлаждении	—	0,0063	150
Шлифовальные станки при охлаждении эмульсией и содовым раствором	—	0,165	150
Шлифовальные станки при охлаждении кругов маслом	30	—	—

Примечание. Для станков механической обработки деталей прецизионного производства выделения паров воды составляют 180 г/(ч · кВт).

3.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫДЕЛЕНИЙ ГАЗОВ И ПАРОВ

Количество вредных веществ, выделяющихся в воздух производственных помещений, обычно принимают по данным технологов, в отдельных случаях рассчитывают.

Выделение углекислого газа CO_2 *людьми* ($G^{л}_{CO_2}$, г/ч) зависит от интенсивности выполняемой работы: $G^{л}_{CO_2} = gn$, где g — количество CO_2, выделяемое одним человеком (см. табл. 2.1); n — количество людей в помещении.

Выделение газов в результате электролитических реакций определяется по закону Фарадея: один элемент при пропускании за 1 ч тока силой 1А выделяет в случае $t = 0$ °С и $p = 0{,}1$ МПа 0,418 л (0,03748 г) водорода и 0,21 л (0,2984 г) кислорода.

При установке нескольких батарей в аккумуляторном отделении средний объем выделяющегося водорода ($V_в$, м³/ч) рассчитывается по формуле [16]

$$V_в = 0{,}418 \frac{T}{273} \cdot \frac{In}{10\, p_б} \cdot 10^{-3},$$

где Т — абсолютная температура воздуха К; $p_б$ — барометрическое давление, МПа; I — максимальная сила зарядного тока для каждой из батарей, находящихся в аккумуляторном помещении, А; n — число элементов в батареях (включая рабочие и резервные группы элементов).

Пример. Определить количество выделяющегося водорода в зарядном отделении аккумуляторной станции, если $t_в = 18$ °С, $I = 10$ А; $n = 50$ шт.; $p_б = 0{,}1$ МПа.

Решение.

$$V_в = 0{,}418 \frac{T}{273} \frac{In}{10 \cdot p_б} 10^{-3} = 0{,}418 \frac{273 + 18}{273} \cdot \frac{10 \cdot 50}{10 \cdot 0{,}1} \cdot 10^{-3} = 0{,}022 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Выделения вредных веществ при окрасочных работах — это пары растворителей (летучие вещества), входящие в состав красок и ла-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 3.2

Лакокрасочные материалы	Растворитель	Компоненты	Массовое содержание, %
Перхлорвиниловые	Р-4 (ГОСТ 7827—74)	Бутилацетат	12
		Ацетон	26
		Толуол	62
Нитроцеллюлозные, нитроглифталевые, эпоксидные, мочевиномеламалоформальдегидные, молотковые	№ 646 (ГОСТ 18188—72)	Бутилацетат	16
		Этилцеллюзоль	8
		Ацетон	7
		Бутиловый спирт	15
		Толуол	50
		Этиловый спирт	10
Алкидно-акриловые фенольные		Уайт-спирит	50
		Ксилол	50
Масляные эмали и бнтумные лаки	РС-2 (МРТУ 6—10—952—70)	Уайт-спирит	70
		Ксилол	30
Мочевино- и меламинофеиолформальдегидные	РКБ-1 (ТУ 6—10—994—70)	Ксилол	50
		Бутиловый спирт	50

Таблица 3.3

Лакокрасочные материалы		k_{20}
Наименование	Марка	
Грунтовки		
Грифталевые	ГФ-020	0,1
	ГФ-138	0,05
Поливиннлацетатные	ВЛ-02	0,15
	ВЛ-023	0,16
Сополимерополивинилхлоридные	ХС-04	0,05
	ХС-010	0,25
Фенольные	ФЛ-03к	0,04
Лаки		
Бакелитовые	АВС-1	0,12
Глифталевые	4с	0,05
Пентафталевые	ПФ-170	—
Краски и эмали		
Пентафталевые	ПФ-115	0,01
	ПФ-218	0,04
	ПФ-223	0,04
	ПФ-837	0,05
Перхлорвиниловые	ХВ-16	0,10
	ХВ-125	0,16
Эпоксидные	ЭП-755	0,11
Сополимерополивинилхлоридные	ХС-510	0,12
	ХС-527	0,20
	ХС-720а	0,20
	ХС-720к	0,20
	ХС-747	—
Шпатлевки		
Эпоксидные	ЭП-00-10	0,1

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ков. После их нанесения на окрашенной поверхности образуется пленка, толщина и твердость которой со временем увеличиваются. Интенсивность выделения летучих в этом случае зависит от физико-химических свойств лакокрасочного материала, а также от метеорологических условий воздушной среды. По интенсивности выделения летучих различают три периода: начальный, характеризуемый ростом выделений до некоторого максимального значения; основной, когда скорость выделения летучих примерно постоянна; конечный, когда окраска прекращена и выделение летучих уменьшается.

Для начального и основного периодов высыхания, а также при нанесении лакокрасочного материала кистевым способом количество летучих ($M_л$, кг/ч), поступающих в помещение, определяется по формуле

$$M_л = G_{лк.м}\, m\left[1 - \frac{1}{k\tau}(1 - e^{-k\tau})\right],$$

где $G_{лк.м}$ — расход лакокрасочного материала, кг/ч; m — доля компонента в растворителе (табл. 3.2 [23]); τ — время высыхания с момента нанесения лакокрасочного материала, мин; k — общий коэффициент, характеризующий процесс окраски, $k = k_{20}\, k_t\, k_v\, k_q\, k_п\, k_\varphi$. Здесь k_{20} — коэффициент интенсивности испарения растворителя при определенных метеорологических условиях ($t_в =$ $= 20°C$, $\varphi_в = 50 \ldots 70\ \%$, $v_в = 0$ м/с). Для практических расчетов его значение принимается по табл. 3.3 [8]; k_t — коэффициент, зависящий от температуры воздуха в помещении $t_в$ (рис. 3.1); k_v — коэффициент, учитывающий скорость воздуха в помещении (рис. 3.1); k_q — поправочный коэффициент на толщину слоя материала, нанесенного на поверхность изделия, который зависит от удельного расхода материала q, кг/м² (рис. 3.1); $k_п$ — коэффициент, учитывающий расположение окрашиваемой поверхности: 1 — для

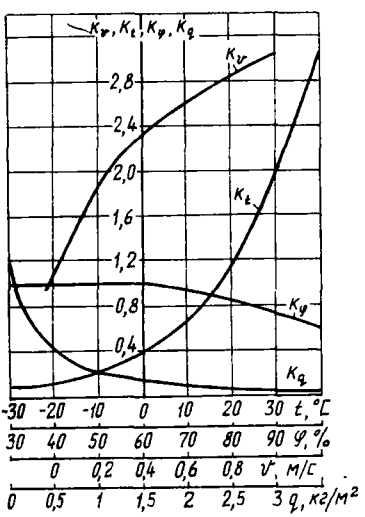


Рис. 3.1. Определение коэффициентов k_v, k_t, k_φ, K_q

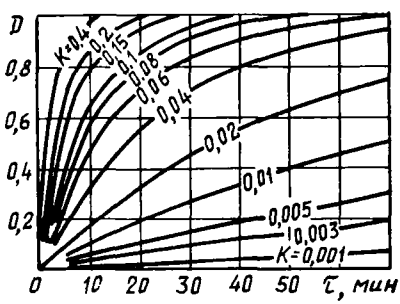


Рис. 3.2. Определение множителя D

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

вертикальных поверхностей, 0,7 — для горизонтальных обращенных вверх, 1,3 — для обращенных вниз; k_φ — поправочный коэффициент на относительную влажность воздуха в помещении φ (рис. 3.1).

При прохождении окрашенных изделий между оборудованием для окраски и сушки (1,5...3 м) количество паров растворителей, выделяющихся в помещении, определяется по формуле [8] $M_л = 0{,}01AmD$, где А — расход лакокрасочного материала, кг/ч; D — множитель, учитывающий интенсивность выделения летучих за определяемый отрезок времени (рис. 3.2).

Пример 1. Определить количество выделяющихся паров растворителя Р-4 при кистевой окраске грунтом ГФ-020 вертикальной поверхности площадью $F = 50$ м² в течение времени $\tau = 60$ мин. Температура воздуха в помещении $t_в = 25$ °С, относительная влажность $\varphi_в = 65$ %, подвижность $v_в = 0{,}5$ м/с. Удельный расход лакокрасочного материала $q = 0{,}5$ кг/м².

Р е ш е н и е. 1. Находим по табл. 3.3 $k_{20} = 0{,}1$, по рис. 3.1 $k_t = 1{,}5$; $k_v = 2{,}5$; $k_q = 0{,}4$; $k_п = 1$; $k_ф = 1$.

2. Вычисляем общий коэффициент, характеризующий процесс окраски

$$k = k_{20}k_tk_vk_qk_пk_ф = 0{,}1 \cdot 1{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 0{,}4 \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}15.$$

3. Находим общий расход грунта $G_{лк.м} = qF = 0{,}5 \cdot 50 = 25$ кг/ч.

4. По табл. 3.2 определяем долю каждого компонента растворителя — бутилацетата, ацетона, толуола: $m_б = 0{,}12$; $m_в = 0{,}26$; $m_т = 0{,}62$.

5 Вычисляем количество выделяющихся компонентов растворителя — бутилацетата $M_б$, ацетона $M_а$, толуола $M_т$:

$$M_б = G_{лк.м}m\left[1 - \frac{1}{k\tau}(1 - e^{-k\tau})\right] =$$

$$= 25 \cdot 0{,}12\left[1 - \frac{1}{0{,}15 \cdot 60}(1 - 2{,}718^{-0{,}15\ 60})\right] = 25 \cdot 0{,}12 \cdot 0{,}89 = 2{,}67 \text{ кг/ч};$$

$$M_а = 25 \cdot 0{,}26 \cdot 0{,}89 = 5{,}79 \text{ кг/ч}; \quad M_т = 25 \cdot 0{,}62 \cdot 0{,}89 = 13{,}8 \text{ кг/ч}.$$

Пример 2 [8]. Определить количество паров растворителя, поступающих в помещение при прохождении окрасочными изделиями промежутка между оборудованием, снабженным местной вытяжной вентиляцией. Окраска изделий производится в кабине пульвелизатором, за 1 ч наносится 10 кг перхлорвиниловой эмали ХВ-125. Время нахождения изделия в кабине 2 мин, время преодоления расстояния между камерой и сушилом 4 мин.

Р е ш е н и е. При прохождении изделий между кабиной и сушилом в течение 4 мин в помещении (на изделиях) будет находиться $10 \cdot 4 : 60 = 0{,}67$ кг эмали. По табл. 3.3 находим $k_{20} = 0{,}16$. Согласно рис. 3.2 за первые 2 мин множитель $D = 0{,}23$, за последующие 4 мин (т. е. за 6 мин от начала сушки) $D = 0{,}56$. Следовательно, при прохождении по помещению за 4 мин с изделий выделится летучих $0{,}67 \cdot 0{,}33 = 0{,}22$ кг, в течение часа $0{,}22 \cdot 60 : 4 = 3{,}3$ кг.

Количество газов и паров, проникающих через неплотности технологических аппаратов и трубопроводов ($G_н$, кг/ч), работающих под давлением, вычисляется по ориентировочной формуле Н. Н. Репина (для адиабатического процесса) [25]

$$G_н = kcV\sqrt{M/T},$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

где k — коэффициент запаса, учитывающий степень износа оборудования, ($k = 1...2$); с — коэффициент, зависящий от давления газов или паров в аппаратуре, $c = f(p)$ (табл. 3.4); V — внутренний объем аппаратуры и коммуникаций, находящихся под давлением, м³; M — молекулярная масса газов или паров в аппаратуре (табл. 3.5); Т — абсолютная температура паров или газов, находящихся в аппаратуре, К.

Таблица 3.4

Давление в аппаратуре P, $1 \cdot 10^5$ Па	до 2	2	7	17	41	161	401	1000
Коэффициент с	0,121	0,166	0,182	0,189	0,25	0,298	0,31	0,37

Таблица 3.5

Название веществ	Химическая формула	Молекулярная масса М, г/моль
Азот	N_2	28
Аммиак	NH_3	17
Акролеин	$CHCHO$	42
Амилацетат	$CH_3COOC_5H_{11}$	130
Ацетилен	C_2H_2	26
Ацетон	CH_3COCH_3	58
Бензин	C_6H_{14}	86
Бензол	C_6H_6	78
Бутилацетат	$CH_3COOC_4H_2$	109
Водород	H_2	2
Кислород	O_2	32
Метан	CH_4	16
Окись углерода	CO	28
Сероводород	H_2S	34
Скипидар	$C_nH_{2n-1}N$	—
Спирты:		
бутиловый	C_4H_5OH	74
метиловый	CH_3OH	32
этиловый	C_2H_5OH	46
Сернистый газ	SO_2	64
Толуол	C_7H_8	92
Углекислый газ	CO_2	44
Уайт-спирит	C_nH_{2n-1}	—
Хлор	Cl_2	71
Эфирный этил	$(C_2H_5)_2O$	74
Этилацетат	$CH_3COOC_2H_5$	88

Нормальная утечка газов и паров за 1 ч в зависимости от молекулярной массы колеблется в пределах 7...12 % внутреннего объема аппаратуры и трубопроводов.

Пример. Определить количество просачивающегося в помещение аммиака через неплотности в аппаратуре и соединениях трубопроводов при следующих условиях: давление в аппаратуре $P_{ап} = 3 \cdot 10^5$ Па, в трубо-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

проводах $P_{тр} = 4 \cdot 10^5$ Па, объем аппарата $V_{ап} = 30$ м³, трубопроводов (суммарный) $V_{тр} = 15$ м³; температура газа в аппарате $t_{ап} = 50$ °С, в трубопроводах $t_{тр} = 20$ °С.

Решение. Используя данные табл. 3.4 и 3.5, получаем

$$G_{ап} = kc_{ап}V_{ап}\sqrt{M/T} = 1{,}5 \cdot 0{,}171 \cdot 30\sqrt{17/(273+50)} \approx 1{,}77 \text{ кг/ч};$$

$$G_{тр} = kc_{тр}V_{тр}\sqrt{M/T} = 1{,}5 \cdot 0{,}173 \cdot 15\sqrt{17(273+20)} \approx 0{,}89 \text{ кг ч}.$$

Суммарное колнчество просачивающегося газа $G_н = G_{ап} + G_{тр} = 1{,}77 + 0{,}89 = 2{,}66$ кг/ч.

Количество вредных веществ, выделяющихся через сальники поршневых насосов ($G_{пн}$, г/ч), для перекачки холодных веществ, находим по экспериментальной формуле

$$G_{п.н} = 0{,}01\,\pi d\,Б\sqrt{P_{п.н}},$$

где d — диаметр продуктового штока, мм; Б — опытный коэффициент, равный 5 для высокотоксичных нефтепродуктов (полибензолы, алкилаты и др.) и 2,5 для безнинов, лигроинов, керосинов; $P_{п.н}$ — давление, развиваемое насосом, $1 \cdot 10^5$ Па.

Пример. В насосной установлен поршневой насос, который перекачивает малотоксичные нефтепродукты, содержащие углеводороды предельного ряда, под давленнем $5 \cdot 10^5$ Па. Определить количество углеводорода, выделяющегося через два сальника; диаметр штока 50 мм.

Решение. Количество газовыделений составит

$$G_{п.н} = 0{,}01\pi dБ\sqrt{P_{п.н}} = (0{,}01 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 2{,}5 \cdot \sqrt{5 \cdot 10^5})\,2 = 1755 \text{ г/ч} \approx 1{,}76 \text{ кг/ч}.$$

Количество окиси углерода CO, *образующейся при различных видах работ*, определяют следующим образом.

Количество CO, выделяющейся в цех при отводе продуктов сгорания в дымоходы или зонты от печей, работающих на мазуте, принимают равным 40...50 г на 1 кг мазута или 5...12 на 4190 кДж теплоты сгорания; на твердом топливе в зависимости от сорта и калорийности топлива — 5,75...7,3 г на 4190 кДж; на газообразном топливе = 2...2,5 г на 4190 кДж теплоты сгорания; от угольных горнов — 40...80 на 1 кг угля или 3,75...11,5 на 4190 кДж теплоты сгорания.

При заливке металла в формы количество CO, поступающее в чугуно- и сталелитейные цехи на участке заливки металла в земляные формы, следует принимать в зависимости от массы отливки и времени пребывания открытой формы в цехе по табл. 3.6 [35].

Пример 1. Определить количество CO, выделяющееся в цех при заливке форм жидким чугуном. Средняя масса отливки 300 кг, интенсивность заливки 1,5 т/ч.

Решение. По табл. 3.6 общее время остывания отливки составляет 90 мин. При этом в первый час выделится окиси углерода $850 \cdot 1{,}5 =$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 3.6

Время пребывания отливок в цехе от начала заливки, мин	Количество окиси углерода CO, г/т при массе отливок, кг									
	10	20	30	50	100	200	300	500	1000	2000
1	600	400	350	270	200	140	110	80	60	40
2	700	650	550	420	330	220	170	130	100	70
3	900	800	650	500	400	300	230	160	130	100
5	1100	900	800	650	530	400	300	200	170	140
10	1200	1100	1050	850	700	550	430	310	260	210
15	—	1200	1150	1000	830	670	525	385	330	270
20	—	—	1200	1050	910	750	600	450	380	320
25	—	—	—	1100	950	800	650	490	420	350
30	—	—	—	—	1000	850	690	530	455	380
35	—	—	—	—	1030	890	730	570	490	410
40	—	—	—	—	1050	920	760	600	520	435
45	—	—	—	—	—	950	785	625	550	460
50	—	—	—	—	—	970	810	650	570	480
55	—	—	—	—	—	990	830	675	590	500
60	—	—	—	—	—	1000	850	700	610	520
70	—	—	—	—	—	—	870	720	630	550
80	—	—	—	—	—	—	890	740	650	575
90	—	—	—	—	—	—	900	760	680	600
100	—	—	—	—	—	—	—	775	700	620
110	—	—	—	—	—	—	—	790	720	625
120	—	—	—	—	—	—	—	800	740	650
150	—	—	—	—	—	—	—	—	750	680
180	—	—	—	—	—	—	—	—	—	700

Примечание. 1. Подчеркнутые цифры показывают общее время остывания форм, а также полное количество окиси углерода, выделяющееся за время остывания. 2. При заливке стали в земляные формы приведенные в таблице выделения окиси углерода надо умножить на 0,5.

= 1275 г/ч, во второй — (900—850) 1,5 + 850 · 1,5 = 1350 г/ч. Таким образом, расчетное количество воздуха для поглощения CO во второй час будет больше, чем в первый.

Пример 2. Определить количество CO, выделяющееся в цех при заливке форм чугуном на конвейере. Количество заливаемого металла 2,5 т/ч. Средняя масса отливок 20 кг. Время нахождения форм открыто в цехе 5 мин. Улавливание вредностей осуществляется местным отсосом в виде панели равномерного всасывания.

Решение. По данным табл. 3.6, количество CO, выделяющееся в помещении в течение 5 мин при массе отливки 20 кг, составляет 900 г. Общие выделения Co при заливке 2,5 т/ч: $G_{co} = 2{,}5 \cdot 900 \cdot 0{,}3 = 676$ г/ч, где 0,3 — коэффициент, учитывающий прорыв части вредностей в помещение минуя местный отсос.

Количество газов, выделяющихся при электросварочных работах, следует принимать по табл. 3.7 [36].

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 3.7

Марка электрода и флюса	Общее количество аэрозолей, г/кг	Содержание вредных веществ в смеси сварочных газов и аэрозолей, г/кг				
		марганца и его окислов	хромового ангидрида	фтористого водорода	окиси никеля	молибдена
	Электродуговая сварка (ручным способом)					
Электрод						
ОМА-2	9,2	0,83	—	—	—	—
АНО-4	5,95	0,59	—	—	—	—
УОНИ-13	7,5	1,41	—	—	1,17	—
ЦТ-28	13,9	0,935	0,212	1,05	0,08	2,0
НИИАТ-1	4,66	0,12	0,4	0,35	—	—
ОЗД-20	3,8	0,35	0,1	0,99	—	—
	Электродуговая сварка или наплавка флюсом (автоматическим или полуавтоматическим способами)					
Флюс						
ФЦ-6	0,12	0,007	—	0,03	—	—
ФЦ-11	0,03	0,005	—	0,02	—	—
АН-22	0,12	0,009	—	0,02	—	—
АН-30	0,06	0,033	—	0,034	—	—
АН-42	0,04	0,008	—	0,024	—	—

Количество вредных газов, выделяющихся при работе автомобилей с двигателями на жидком топливе (G, кг/ч):

для карбюраторных двигателей $G_к = 15\ (0{,}6 + 0{,}8\,B)\frac{P}{100} \cdot \frac{\tau}{60}$;

для дизельных двигателей $G_д = (160 + 13{,}5\,B)\frac{P}{100} \cdot \frac{\tau}{60}$.

Здесь 15 — количество выхлопных газов, образующихся из 1 кг топлива, кг; B — рабочий объем цилиндров двигателя, л; P — массовое содержание вредностей в отработавших газах, % (табл. 3.8 [41]); τ — время работы двигателя, мин (табл. 3.9 [16]).

Таблица 3.8

Двигатели	Массовое содержание вредностей P, %		
	окиси углерода	окислов азота	альдегидов
Карбюраторные	6/4	—	—
Дизельные	0,07/0,05	0,007/0,009	0,05/0,035

Примечание. 1. В числителе указано массовое содержание вредностей, выделяющихся при разогреве двигателя, в знаменателе — при маневрировании автомобиля и выезде из помещения. 2. При въезде значение P, указанное в знаменателе, принимается с коэффициентом $k = 0{,}4$ для карбюраторных двигателей и $k = 0{,}55$ — для дизельных.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 3.9

Вид операции	τ, мин
Заводка, прогрев двигателя и выезд автомобиля с места стоянки	5
Въезд и маневрирование автомобиля при установке на место	2
Регулирование	3
Испытание на стенде	1,5...3
Газование в профилактории	10

Пример. Определить количество окиси углерода, выделяющейся в помещении гаража при выезде автомобиля с 8-цилиндровым карбюраторным двигателем ($B = 6$ л).

Решение. Пользуясь данными табл. 3.8, 3.9, находим

$$G_к = 15(0{,}6 + 0{,}8B)\frac{P}{100} \cdot \frac{\tau}{60} = 15(0{,}6 + 0{,}8 \cdot 6)\frac{4}{100} \cdot \frac{5}{60} \approx 0{,}27 \text{ кг/ч}.$$

Таблица 3.10

Оборудование или процесс	Концентрация пыли, мг/м³	
	Наибольшая	Средняя
Мельница для размола угля и глины:		
отсос из барабана машины	17000	9000
отсос из кожуха укрытия	2000	500
Сита полигональные и плоские при просеве оборотной земли	5000*	2000*
Бегуны смешивающие	3000*	1000*
Головки элеваторов оборотной земли	—	—
Пересыпки и течки оборотной земли	—	2000*
Сушилка для песка непрерывного действия	2000	1000
Выбивные решетки:		
нижний отсос из бункера	8000*	2500*
полное укрытие решетки с верхним отсосом	2000	600
Обрубные столы	7000	1000
Очистные барабаны для очистки изделий средней массой до 20 кг	80000	4000
То же свыше 20 кг	100000	7000
Точильно-обдирочные станки:		
наждаки (стационарные)	5000	500
качающиеся	1000	100
Шлифовальный станок с матерчатым кругом	—	1100
Пескоструйные камеры:		
от камеры	20000	4000
от головки элеватора в среднем	16000	3200
Дробеструйные и дробеметные камеры:		
от камеры	6000	2000
от головки элеватора	5000	2000
от сепаратора в среднем	10000	3000
Электрические сталеплавильные печи	10000	6000
Пневмотранспорт (после продуктоотделителя)	—	10000
Передвижные установки централизованной уборки пыли	—	до 50000

* Пыль влажная, остальная — сухая.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЫЛЕВЫДЕЛЕНИЙ

В производственных условиях в зависимости от характера выполняемой работы существует множество источников выделения пыли. Перечислим некоторые из них: механическое измельчение твердых тел (дробление, размалывание, резание); обработка поверхности твердых тел (шлифовка, полировка, ворсование); работа с измельченным материалом (транспортировка, перемешивание, упаковка); химическая реакция (образование золы, дыма при горении топлива); механическое распыление жидких или расплавленных веществ.

Данные о запыленности воздуха, отсасываемого от различного технологического оборудования установками местной вытяжной вентиляции, приведены в табл. 3.10.

Глава 4

МЕСТНЫЕ ВЫТЯЖНЫЕ И ПРИТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

4.1. ВЫТЯЖНЫЕ ШКАФЫ

Объемный расход воздуха ($L_ш$, м³/ч), удаляемого из шкафа с тепловым источником (рис. 4.1) естественным путем, определяется по формуле

$$L_ш = 114\sqrt[3]{hQF^2}.$$

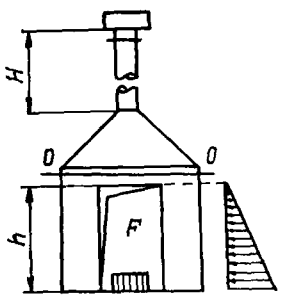


Рис. 4.1. Вытяжной шкаф

Здесь h — высота открытого проема, м; Q — тепловыделения в шкафу, Вт; F — площадь открытого (рабочего) проема шкафа, м². Найденное количество воздуха необходимо проверить по минимально допустимой скорости в проеме (табл. 4.1 [5;14]) и для дальнейших расчетов принять большее значение.

Высоту вытяжной трубы (H, м) находят по зависимости

$$H = \frac{\sum \xi}{0{,}82\dfrac{d_{тр}^4}{F_ш^2 h} - \dfrac{0{,}02}{d_{тр}}},$$

где $\sum \xi$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений на пути движения удаляемого воздуха; $d_{тр}$ — диаметр вытяжной трубы, м

Пример 1. Определить объем воздуха, удаляемого от лабораториого шкафа для точечиой сварки мелких изделий, и высоту вытяжной трубы при

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

следующих условиях. размер рабочего проема $h \times b = 0{,}6 \times 0{,}4$ м, мощность теплового источника $N = 1$ кВт.

Р е ш е н и е. Тепловыделения в шкафу $Q = 1000\,N\eta = 1000 \cdot 1 \cdot 1 = 1000$ Вт Объем удаляемого воздуха

$$L_ш = 114\ \sqrt[3]{hQF^2} = 114 \cdot \sqrt[3]{0{,}6 \cdot 1000 \cdot (0{,}6 \times 0{,}4)^2} = 367\ м^3/ч,$$

при этом скорость в рабочем проеме шкафа $v = 367/3600 \cdot 0{,}24 = 0{,}42$ м/с, что находится в рекомендуемых пределах (табл 4.1).

Диаметр вытяжной трубы $d_{тр}$ примем равным 355 мм. Труба выполняется без отводов и каких-либо других фасонных частей, поэтому $\sum \xi = \xi_{вх} + \xi_{вых}$. При установке дефлектора $\xi_{вых} = 0{,}64$

Значение $\xi_{вх}$ находим по коэффициенту расхода μ из уравнения

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_{вх}}} = 0{,}62, \text{ откуда } \xi_{вх} = 2{,}6;\ \Sigma\xi = 0{,}64 + 2{,}6 = 3{,}04.$$

Высота вытяжной трубы

$$H = \frac{\Sigma\xi}{0{,}82\,\dfrac{d_{тр}^4}{F_ш^2 h} - \dfrac{0{,}02}{d_{тр}}} = \frac{3{,}04}{0{,}82\,\dfrac{0{,}355^4}{0{,}24^2 \cdot 0{,}6} - \dfrac{0{,}02}{0{,}355}} = 9{,}5\ м.$$

Проверим правильность выполненного расчета. Примем температуру наружного воздуха $t_н = 22$ °С, температуру воздуха рабочей зоны — на 5 °С выше $t_н$, т. е $t_{р\,з} = t_н + 5 = 22 + 5 = 27$ °С. Температуру уходящего из шкафа воздуха определим по уравнению

$$t_{ух} = \frac{Q}{L_ш \rho c} + t_{р.\,з} = \frac{1000 \cdot 3{,}6}{367\ \ 1{,}2 \cdot 1{,}005} + 27 \approx 35\ °С.$$

При высоте трубы $H = 9{,}5$ м гравитационное давление

$$\Delta p = 9{,}8H\,(\rho_н - \rho_{ух}) = 9{,}8 \cdot 9{,}5 \cdot (1{,}18 - 1{,}15) = 2{,}79\ Па.$$

Скорость движения воздуха в трубе

$$v_{тр} = L_ш/3600 \cdot 0{,}785 d_{тр}^2 = 367/3600 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}355^2 = 1{,}03\ м/с.$$

Потери давления

$$\Delta p_{тр} = 9{,}8\left(\frac{\lambda}{d_{тр}} H + \Sigma\xi\right)\frac{v_{тр}^2 \rho_{ср}}{2g} =$$

$$= 9{,}8 \cdot \left(\frac{0{,}02}{0{,}355} \cdot 9{,}5 + 3{,}04\right)\frac{1{,}03^2 \cdot 1{,}17}{2 \cdot 9{,}81} = 2{,}2\ Па,$$

что меньше предполагаемого, т е. $2{,}79 > 2{,}2$. В противном случае необходимо устраивать механическую вытяжку.

Расход воздуха, удаляемого из шкафов при механической вытяжке, вычисляется при условии отсутствия выбывания загрязнений через рабочий проем и с учетом токсичности выделяющихся веществ: $L_ш = 3600 F_ш v_ш$, где $F_ш$ — площадь открытого (рабочего) проема шкафа, м², принимаемая равной 40...50 % площади при полном раскрытии дверок шкафа; $v_ш$ — средняя скорость всасывания в сечении открытого проема, м/с (табл. 4.1).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.1

Операция или процесс	Характер вредных выделений	Зона возможного выбывания	Расчетная скорость, м/с	Рекомендуемый тип шкафа и его особенности
А. Термическая обработка металлов				
Закалка и отпуск в масле	Пары масла, непредельные углеводороды	Верх	0,3 ... 0,5	Рис. 4.2, *а* — шкаф с отсосом в двух зонах. Ширина отверстия равна ширине ванны. Вытяжка естественная
Закалка в селитровой ванне, $t = 400 \ldots 700$ °С	Аэрозоль селитры, теплота	»	0,3 ... 0,5	То же
В соляной ванне, $t = 850 \ldots 1100$ °С	Аэрозоль солей, теплота	»	0,5	Рис. 4.2, *б* — шкаф с верхним отсосом. Вытяжка естественная.
Свинцовая ванна, $t = 400$ °С	Пары и аэрозоль свинца	»	1,5	Рис. 4.2, *в* — шкаф с отсосом в двух зонах. Вытяжка естественная
Цианирование в солях, $t = 800 \ldots 900$ °С	Пары цианистых солей	»	1,5	То же
Б. Гальваническая обработка металлов				
Кадмирование, цианистое меднение или серебрение	Пары синильной кислоты	По всему сечению	1 ... 1,5	Рис. 4.2, *г* — шкаф с отсосом в двух зонах
Хромирование	Хромовый ангидрит	То же	1 ... 1,5	Рис. 4.2, *д* — то же
Цианистое цинкование	Пары синильной кислоты	»	1 ... 1,5	Рис. 4.2, *д* — то же
Обезжиривание в бензоле и хлорированных углеводородах	Пары бензола и углеводорода	»	0,7	То же
Травление:				
в азотной кислоте	Пары кислоты и окислы азота	»	0,7	
в азотной и соляной кислотах	Пары и туманы кислоты	»	0,5 ... 0,7	

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

В. Окраска деталей и мелких изделий

Окраска кистевая и окунанием	Пары растворителей и краски	Низ	0,5 ... 0,7	Рис. 4.2, *г* — шкаф с отсосом в двух зонах
Окраска пульверизационная	Пары растворителей и краски	По периметру	1 ... 1,5	Рис. 4.2, *е* — шкаф с отсосом в тыльной части

Г. Процессы с пылевыделением

Гидропескоструйная очистка	Силикатная пыль	По периметру	1 ... 1,5	Рис. 4.2, *ж* — шкаф с отсосом в виде двух боковых вертикальных улиток
Металлизация распылением	Пыль металлов	То же	0,7 ... 1,5	То же

Д. Операции различного характера

Разные работы, проводимые в химических вытяжных шкафах	Разные пары, газы или пыль	По всему сечению открытой дверки	0,3 ... 0,5 при высокой токсичности 0,7 ... 0,1	Рис. 4.2, *з* — шкаф с отсосом в двух зонах и регулированием
Работа с ртутью при ее нагреве	Пары ртути	То же	1 ... 1,5	То же
Стеклодувные работы с газовыми грелками	Теплота, газы	Верх	Не менее 0,3	Рис. 4.2, *и* — шкаф с верхним отсосом
Пайка свинцом (третником)	Пары и аэрозоли свинца	По всему сечению	0,5 ... 0,7	Рис. 4.2, *к* — шкаф двухсторонний. Скорость на рабочем месте не менее 0,2 м/с
Точечная сварка мелких изделий	Аэрозоли металла	То же	0,3 ... 0,5	То же

Примечание. Объем удаляемого воздуха ($L_ш$, м³/ч) из шкафов при термической обработке металла (А) определяется по формуле $L_ш = 114\sqrt[3]{hQF_ш^2}$, при других операциях (Б, В, Г, Д) — по скорости v в рабочем проеме.

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

Пример 2. Определить объем удаляемого воздуха из лабораториого шкафа для разливки ртути. Размер проема 0,6 × 0,4 м.

Р е ш е н и е. По табл 4.1 скорость всасывания в сечении проема $v_ш$ = = 1,0 м/с. Объем отсасываемого воздуха

$$L_ш = 3600F_ш v_ш = 3600 \cdot [0{,}5 \cdot (0{,}6 \times 0{,}4)] \cdot 1 = 432 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для облегчения выбора конструкции шкафа в зависимости от выполияемой операции и определения его сопротивления предлагается рис. 4.2.

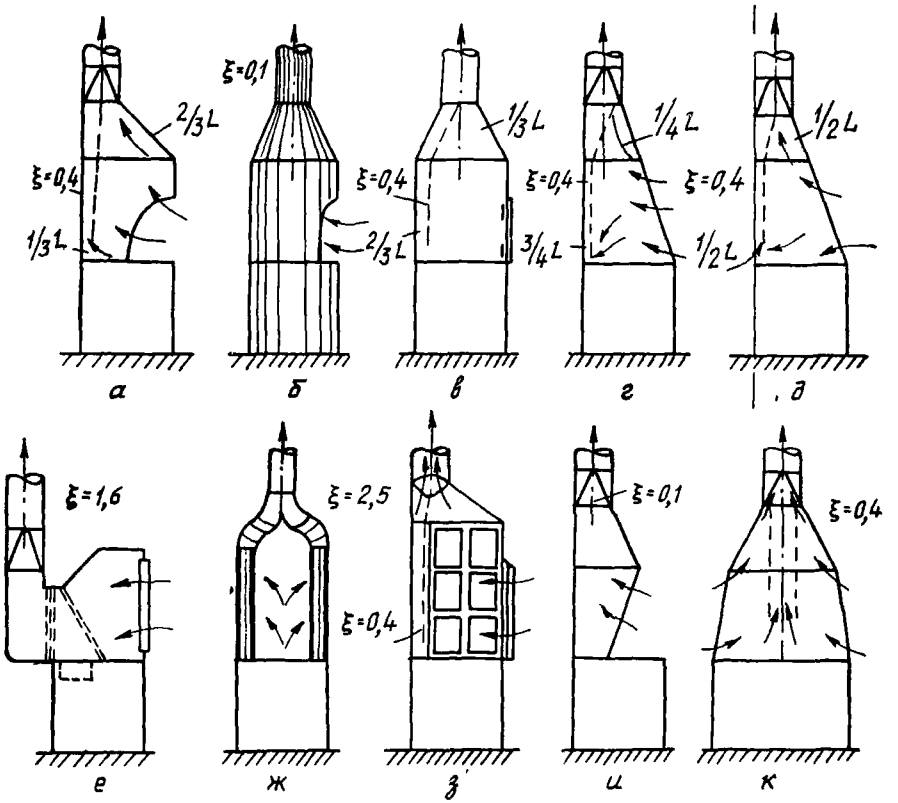


Рис. 4.2. Конструкции вытяжных шкафов

4.2. ВЫТЯЖНЫЕ ЗОНТЫ

Для улавливания вредностей при наличии устойчивых тепловых потоков применяют вытяжные зонты (рис. 4.3). Их габаритные размеры устанавливают исходя из следующих соображений.

Высота установки зонта принимается в пределах H = 1,8...2 м. Размеры прямоугольного зонта в плане (А × Б м) А = а + 0,8 h, Б = б + 0,8h, где а, б — размеры перекрываемого оборудования, м; h — расстояние от оборудования до низа зонта, м, принимаемое не более 0,8$d_э$ ($d_э$— эквивалентный по площади диаметр источника).

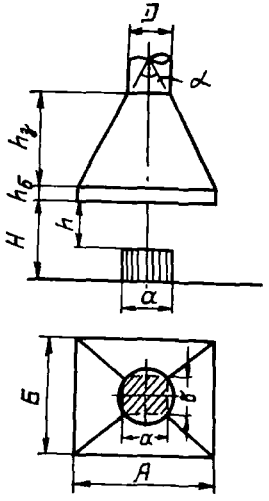
Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Для круглого зонта $D_з = d + 0{,}8h$, где $D_з$ — диаметр круглого зонта, м; d — диаметр перекрываемого оборудования, м.

Равномерное распределение скорости всасывания $v_з$ по всему сечению зонта обеспечивается при угле его раскрытия $\alpha \leqslant 60°$. Высота зонта

$$h_з = \frac{A - D}{2tg\frac{\alpha}{2}} + h_б,$$

где D — диаметр вытяжной трубы, м; $h_б$ — высота борта, $h_б = 0{,}1...0{,}3$ м.



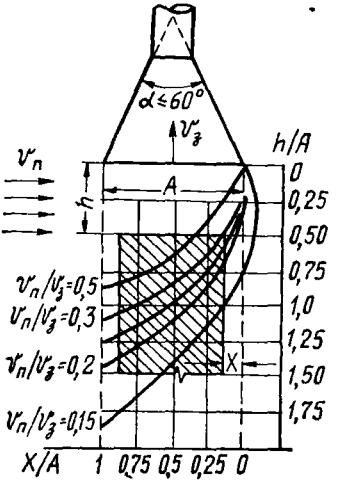


Рис. 4.3. Зонт над ясточником вредностей

Рис. 4.4. Линии границ воздуха, засасываемого зонтом

Объем удаляемого воздуха ($L_з$, м³/ч) следует определять после уточнения конструктивных размеров зонта, используя формулу $L_з = 3600F_з v_з$, где $F_з$ — площадь всасывания, т. е. А × Б или $0{,}785D_з$, м²; $v_з$ — скорость всасывания, принимаемая для нетоксичных вредностей в пределах 0,15...0,25, м/с.

На эффективность зонта значительно влияет подвижность воздуха в помещении $v_п$. При $v_п > 0{,}4$ м/с, а также в случае малой тепловой мощности конвективных потоков рекомендуется снабжать зонт откидными фартуками с одной, двух или трех сторон. При наличии токсичных вредностей принимаются следующие значения скорости всасывания: 1,05...1,25 — для зонтов, открытых с четырех сторон; 0,9...1,05 — с трех сторон; 0,75...0,9 — с двух сторон; 0,5...0,75 — с одной стороны.

Если под зонтом отсутствуют конвективные источники теплоты, скорость всасывания в приемном отверстии зонта с учетом подвижности воздуха в помещении $v_п$ определяют по рис. 4.4, составлен-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ному для зонтов с центральным углом раскрытия $\alpha \leqslant 60°$ в безразмерных координатах: $v_п/v_з$; h/A; x/A. Здесь h — вертикальное расстояние от нижней кромки всасывающего отверстия зонта до поверхности источника вредностей, м; А — наименьшая сторона зонта, м; x — горизонтальное расстояние между кромкой зонта и габаритами укрываемого источника, м.

Подвижность воздуха в помещении $v_п$ принимается в соответствии с табл. 1.8, которая в зависимости от периода года и категории выполняемой работы не должна превышать 0,2...1 м/с.

Пример. Определить скорость всасывания в приемном отверстии зонта $v_з$, если допустимая скорость движения воздуха в помещении $v_п = 0{,}4$ м/с, $h = 1$ м, габаритные размеры источника выделения вредностей $а \times б = 0{,}6 \times 0{,}8$ м.

Решение. Находим размеры зонта: $А = а + 0{,}8h = 0{,}6 + 0{,}8 \cdot 1 = 1{,}4$ м, $Б = б + 0{,}8h = 0{,}8 + 0{,}8 \cdot 1 = 1{,}6$ м. Вынос зонта, т. е. горизонтальное расстояние между кромкой зонта и габаритами источника

$$x = \frac{А - а}{2} = \frac{1{,}4 - 0{,}6}{2} = 0{,}4 \text{ м}$$

По графику рис. 4 4 при

$$\frac{h}{А} = \frac{1}{1{,}4} = 0{,}71 \text{ и } \frac{x}{А} = \frac{0{,}4}{1{,}4} = 0{,}285$$

находим $\frac{v_п}{v_з} = 0{,}3$, откуда $v_в = \frac{0{,}3}{v_п} = \frac{0{,}3}{0{,}4} = 0{,}75$ м/с. Объем воздуха, удаляемого под зонт, $L_з = 3600 v_з F_з = 3600 \cdot 0{,}75\,(1{,}4 \times 1{,}6) = 6000$ м³/ч.

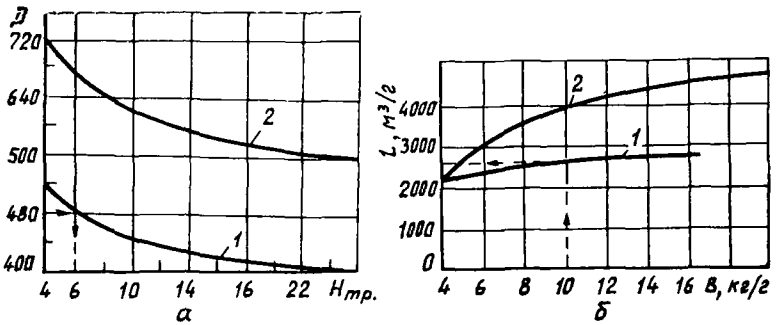


Рис. 4.5. Расчет горнов:

а—зависимость диаметра вытяжной трубы от ее высоты *Нтр*; *б*—зависимость объема воздуха, поступающего под зонт, от расхода топлива *В* (*1*—для одноогневого, *2*—для двухогневого горна)

Количество воздуха, подсасываемого под зонт, установленный над кузнечным горном, можно определить по рис. 4 5. График составлен для условного топлива $Q_у = 29330$ кДж/кг. При другой теплоте сгорания найденный по графику объем воздуха ($L_з$, м³/ч) необходимо привести к фактической теплоте $Q_н^т$ по формуле $L_з' = L_з Q_н^т / Q_у$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример. Рассчитать зонт, определить расход воздуха, высоту и сечение дымовой трубы от одноогневого кузнечного горна с расходом топлива $B = 10$ кг/ч. Топливо — каменный уголь с теплотой сгорания $Q_н^т = 26816$ кДж/кг. Размер горна в плане 1 × 0,7 м, высота 0,7 м.

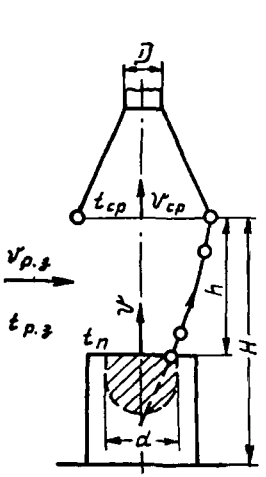
Р е ш е н и е. Принимаем высоту установки зонта $H = 1{,}8$ м. Тогда $h = 1{,}8 - 0{,}7 = 1{,}1$ м. Размеры зонта в плане $А = а + 0{,}8\,h = 1 + 0{,}8 \times 1{,}1 = 1{,}88$ м; $Б = б + 0{,}8h = 0{,}7 + 0{,}8 \cdot 1{,}1 = 1{,}58$ м. Расход воздуха по графику (рис. 4.5, *б*) $L_з = 2600$ м³/ч. Найденный расход пересчитываем на $Q_н^т = 26816$ кДж/кг:

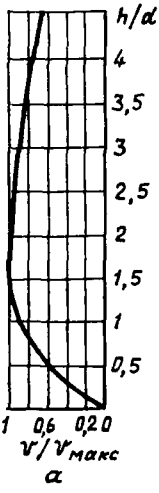
$$L'_з = L_з \frac{Q_н^т}{Q_у} = 2600 \frac{26\,816}{29\,330} \approx 2380 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Высоту зонта определим при угле раскрытия $\alpha = 60°$ и диаметре дымовой трубы $D = 480$ мм:

$$h_з = \frac{А - D}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} = \frac{1{,}88 - 0{,}480}{2 \operatorname{tg} \frac{60}{2}} = 1{,}21 \text{ м}.$$

По рис. 4.5, *а*, при $D = 480$ мм высота трубы $H_{тр} = 6$ м.





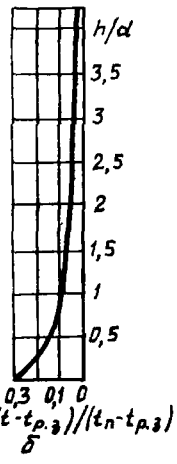


Рис. 4.6. Зонт над источником теплоты

Рис. 4.7. Кривые изменения скоростей (*а*) и температур (*б*) вдоль конвективного потока над нагретой поверхностью

Зонт над нагретой поверхностью. Размеры зонта, устанавливаемого над источником теплоты и объем удаляемого воздуха можно определить и с помощью рис. 4.6, 4.7 [13]. Кривые представлены в безразмерных координатах h/d; $v/v_{макс}$; $\beta = (t - t_{р.з})/(t_п - t_{р.з})$, в которых h — расстояние от нагретой поверхности до плоскости всасывания зонта, м; d — диаметр нагретой поверхности, м; v — осевая скорость в рассматриваемой точке конвективного потока, м/с; $v_{макс}$ — ее максимальное значение; t, $t_{р.з}$, $t_п$ — температура

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

воздуха соответственно в рассматриваемой точке по оси потока, рабочей зоны и нагретой поверхности, °С.

Расчеты выполняются в следующей последовательности. 1. Вычисляют относительное расстояние между источником вредностей и зонтом h/d

2. По найденному значению h/d, пользуясь рис. 4.7, *б*, находят значение $\beta = (t - t_{р.з})/(t_п - t_{р.з})$ и определяют осевую температуру в плоскости нижней кромки зонта.

3. Для этой же плоскости устанавливают осевую v и среднюю $v_{ср}$ скорости восходящего потока по зависимостям

$$v = 0{,}00055\,(t_п - t_{р.з}) + 0{,}3 - 0{,}0465\left(\frac{h}{d} - 1{,}25\right);\ v_{ср} = 0{,}39v.$$

4. Коэффициент конвекции горизонтальной поверхности источника $\alpha_к = 3{,}25\,(t_п - t_{р.з})^{0{,}25}$.

5. Конвективные тепловыделения $q_к = \alpha_к F_п (t_п - t_{р.з})$, где $F_п$— площадь нагретой поверхности, м^2.

6. Объем воздуха, подсасываемого под зонт,

$$L_з = \frac{q_к\,(0{,}39t + 285)}{40\,(t - t_{р.з})}.$$

7. Средняя температура конвективного потока в плоскости зонта

$$t_{ср} = 0{,}39\,(t - t_{р.з}) + t_{р.а}.$$

8. Площадь сечения восходящего потока $F_{пот} = L_з/(3600v_{ср})$ и диаметр его поперечного сечения $d_{пот} = 1{,}13\sqrt{F_{пот}}$.

9. Поскольку зона всасывания зонта будет находиться под действием воздушных потоков в помещении, размер зонта необходимо увеличить, т. е. принять больше диаметра потока, $D_з = d_{пот} + 0{,}8h$, отсюда площадь зонта $F_з = 0{,}785D_з^2$.

10. Объем удаляемого воздуха $L = 3600F_з v_{ср}$.

Пример. Рассчитать зонт над закалочной соляной электрической ванной. Внутренний диаметр ванны $d = 0{,}5$ м, высота 0,8 м, температура $t_п = 900$ °С, температура воздуха в рабочей зоне $t_{р.з} = 25$ °С.

Р е ш е н и е. Высоту установки зонта над полом принимаем $H = 1{,}8$ м, тогда расстояние от поверхности ванны до кромки зонта $h = H - 0{,}8 = 1{,}8 - 0{,}8 = 1$ м.

1. Вычисляем отношение $\frac{h}{d} = \frac{1}{0{,}5} = 2$.

2. По графику рис. 4.7, *б* находим $\beta = 0{,}067$ и определяем осевую температуру в плоскости нижней кромки зонта

$$t = \beta\,(t_п - t_{р.з}) + t_{р.з} = 0{,}067\,(900 - 25) + 25 = 83{,}6\ °С.$$

3. Для этой же плоскости осевая и средняя скорости восходящего потока

$$v = 0{,}00055\,(t_п - t_{р.з}) + 0{,}3 - 0{,}0465\left(\frac{h}{d} - 1{,}25\right) = 0{,}00055 \cdot (900 - 25) + 0{,}3 - 0{,}0465 \cdot (2 - 1{,}25) = 0{,}75\ м/с;$$

$$v_{ср} = 0{,}39v = 0{,}39 \cdot 0{,}75 = 0{,}3\ м/с.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4. Находим коэффициент конвективной теплоотдачи нагретой поверхности

$$\alpha_к = 3{,}25 \cdot (t_п - t_{р.з})^{0{,}25} = 3{,}25\,(900 - 25)^{0{,}25} = 17{,}6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}.$$

5. Вычисляем конвективные тепловыделения

$$q_к = \alpha_к F_п (t_п - t_{р.з}) = 17{,}6 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}5^2 \cdot (900 - 25) \approx 3000 \text{ Вт}.$$

6. Объем воздуха, подсасываемый под зонт,

$$L_з = \frac{q_к\,(0{,}39t + 285)}{40 \cdot (t - t_{р.з})} = \frac{3000 \cdot (0{,}39 \cdot 83{,}6 + 285)}{40 \cdot (83{,}6 - 25)} \approx 400 \text{ м}^3/\text{ч},$$

7. Средняя температура конвективного потока в плоскости зонта

$$t_{ср} = 0{,}39\,(t - t_{р.з}) + t_{р.з} = 0{,}39 \cdot (83{,}6 - 25) + 25 = 47{,}8\ ^\circ\text{C}.$$

8. Площадь сечения восходящего потока

$$F_{пот} = L_з/3600 v_{ср} = 400/3600 \cdot 0{,}3 = 0{,}37 \text{ м}^2,$$

откуда диаметр его поперечного сечения

$$d_{пот} = 1{,}13\sqrt{F_{пот}} = 1{,}13 \cdot \sqrt{0{,}37} = 0{,}88 \text{ м}.$$

9. Диаметр отсасывающего зонта находим по зависимости

$$D_в = d + 0{,}8h = 0{,}5 + 0{,}8 \cdot 1 = 1{,}3 \text{ м},$$

площадь всасывания зонта $F_з = 0{,}785 D_з^2 = 0{,}785 \cdot 1{,}3^2 = 1{,}33$ м.

10. Объем удаляемого воздуха $L = 3600 F_з v_{ср} = 3600 \cdot 1{,}33 \cdot 0{,}3 = 1936$ м^3/ч.

Зонт-козырек над загрузочным отверстием печи предназначен для улавливания потока газов, выходящего из отверстия под влиянием избыточного давления в ней. Размеры всасывающего отверстия зонта должны соответствовать размерам выбивающейся струи с учетом ее искривления под действием гравитационных сил (рис. 4.8).

Последовательность расчета следующая [13]. 1. Средняя скорость выбивающихся газов из загрузочного (рабочего) проема печи

$$v_г = \mu \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_г}},$$

где μ — коэффициент расхода, $\mu \approx 0{,}65$; Δp — избыточное давление в печи, $\Delta p = 9{,}81 h_0 (\rho_{р.з} - \rho_г)$, h_0 — половина высоты загрузочного отверстия, м; $\rho_{р.з}$, $\rho_г$ — плотность воздуха рабочей зоны и газов, выходящих из печи, кг/м^3.

2. Расход газов, выходящих из рабочего проема печи, $L_г = v_г f_о$, где $f_о$ — площадь рабочего проема печи, м^2.

3. Критерий Архимеда $Ar = \frac{9{,}81 d_{экв}}{v_г^2} \frac{T_г - T_{р.з}}{T_{р.з}}$, где $d_{экв} = 1{,}13\sqrt{f_о}$ — эквивалентный по площади диаметр рабочего проема, м; $T_г$, $T_{р.з}$ — температура газов в печи и воздуха рабочей зоны, К.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4. Расстояние, на котором ось потока газов, искривленного под действием гравитационных сил, достигает плоскости всасывающего отверстия зонта,

$$x = \sqrt[3]{h_0 m^2 d_{экв}^2 / 0{,}63 n \, \mathrm{Ar}},$$

где m, n — коэффициенты изменения скорости и температуры, значения которых при отношении высоты загрузочного отверстия h к его ширине в пределах $h/b = 0{,}5 \ldots 1$ принимаются равными соответственно порядка 5 и 4,2.

5. Диаметр потока газов на расстоянии x при $0{,}5 \leqslant h/b < 2$ $d_x = d_{экв} + 0{,}44x$.

6. Минимальный вылет (длина) зонта от загрузочного проема $l = x + 0{,}5dx$ и его ширина $Б = b + (150 \ldots 200)$.

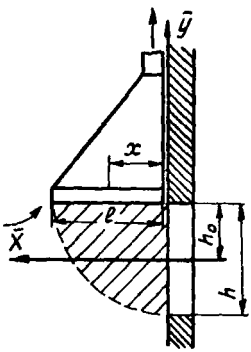


Рис. 4.8. Зонт-козырек

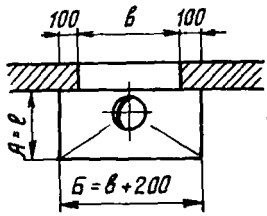


Рис. 4.9. Зонт над загрузочным отверстием печи

7. Расход смеси выбивающихся из печи газов и воздуха, подсасываемого из помещения,

$$L_x = L_г + \left[0{,}085 \frac{x}{d_{экв}} + 0{,}0014 \left(\frac{x}{d_{экв}}\right)^2\right] L_г \sqrt{\frac{T_{р.з}}{T_г}}.$$

8. Расход воздуха, подсасываемого из помещения, $L_{р.з} = L_x - L_г$.

9. Температура смеси газов и воздуха

$$t_{см} = \frac{G_г t_г + G_{р.з} t_{р.з}}{G_г + G_{р.з}},$$

где $G_г = L_г \rho_г$; $G_{р.з} = L_{р.з} \cdot \rho_{р.з}$ — расход газов и воздуха, кг/с.

Температура смеси должна быть не более 300 °С при естественной тяге и согласно ГОСТ 5976—73 — не выше 80 °С при удалении с помощью вентилятора. Если найденная температура превышает рекомендуемую, объем воздуха, подсасываемого под зонт, соответственно увеличивается до значения, определяемого по формуле

$$G_{р.з} = \frac{G_г (t_г - t_{см})}{t_{см} - t_{р.з}}.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример. Определить объем удаляемого воздуха и размеры зонта-козырька у термической печи, имеющей загрузочное отверстие размером $h \times b = 0{,}4 \times 0{,}6$ м. В печи поддерживается температура газов $t_г = 845$ °С, температура воздуха рабочей зоны $t_{р.з} = 27$ °С.

Р е ш е н и е. 1. Определим среднюю скорость, с которой газы выбиваются из отверстия печи, предварительно вычислив

$$\rho_г = 353/273 + t_г = 353/273 + 845 = 0{,}315 \text{ кг/м}^3;$$

$$\rho_{р.з} = 353/273 + 27 = 1{,}18 \text{ кг/м}^3;$$

$$\Delta p = 9{,}81 h_0 (\rho_{р.з} - \rho_г) = 9{,}81 \cdot 0{,}2\,(1{,}18 - 0{,}315) = 1{,}69 \text{ Па};$$

$$v_г = \mu \sqrt{2\Delta p/\rho_г} = 0{,}65 \cdot \sqrt{2 \cdot 1{,}69/0{,}315} = 2{,}13 \text{ м/с}.$$

2. Расход газов, выходящих из печи,

$$L_г = v_г f_0 = 2{,}13 \cdot (0{,}4 \times 0{,}6) = 0{,}51 \text{ м}^3/\text{с},$$

$$\text{или } G_г = L_г \rho_г = 0{,}51 \cdot 0{,}315 = 0{,}16 \text{ кг/с}.$$

3. Вычислим критерий Архимеда при $d_{экв} = 1{,}13 \sqrt{f_0} = 1{,}13 \sqrt{0{,}24} = 0{,}55$ м; $T_г = 273 + t_г = 273 + 845 = 1118$ К; $T_{р.з} = 273 + 27 = 300$ К:

$$Ar = \frac{9{,}81 d_{экв}}{v_г^2} \frac{T_г - T_{р.з}}{T_{р.з}} = \frac{9{,}81 \cdot 0{,}55}{2{,}13^2} \cdot \frac{1118 - 300}{300} = 3{,}24.$$

4. Определим расстояние x при $h_0 = 0{,}2$; $m = 5$; $n = 4{,}2$:

$$x = \sqrt[3]{h_0 m^2 d_{экв}^2 / 0{,}63 n \, Ar} =$$

$$= \sqrt[3]{0{,}2 \cdot 5^2 \cdot 0{,}55^2 / 0{,}63 \cdot 4{,}2 \cdot 3{,}24} = \sqrt[3]{0{,}176} = 0{,}56 \text{ м}.$$

5. Диаметр потока газов на расстоянии x $d_x = d_{экв} + 0{,}44x = 0{,}55 + 0{,}44 \cdot 0{,}56 = 0{,}8$ м.

6. Находим вылет и ширину зонта (рис. 4.9):

$$l = x + 0{,}5 d_x = 0{,}56 + 0{,}5 \cdot 0{,}8 = 0{,}96 \text{ м};$$

$$Б = b + 0{,}2 = 0{,}6 + 0{,}2 = 0{,}8 \text{ м}.$$

7. Определяем расход отсасываемой смеси газов и воздуха

$$L_x = L_г + \left[0{,}085 \frac{x}{d_{экв}} + 0{,}0014 \left(\frac{x}{d_{экв}}\right)^2\right] L_г \sqrt{\frac{T_{р.в}}{T_г}} =$$

$$= 0{,}51 + \left[0{,}085 \cdot \frac{0{,}56}{0{,}55} + 0{,}0014 \left(\frac{0{,}56}{0{,}55}\right)^2\right] \cdot 0{,}51 \sqrt{\frac{300}{1118}} = 0{,}53 \text{ м}^3/\text{с}.$$

8. Расход воздуха, подсасываемый из помещения,

$$L_{р.з} = L_x - L_г = 0{,}53 - 0{,}51 = 0{,}02 \text{ м}^3/\text{с}, \text{ или}$$

$$G_{р.з} = L_{р.з} \rho_{р.з} = 0{,}02 \cdot 1{,}18 = 0{,}024 \text{ кг/с}.$$

9. Вычисляем температуру смеси

$$t_{см} = \frac{G_г t_г + G_{р.з} \cdot t_{р.з}}{G_г + G_{р.з}} = \frac{0{,}16 \cdot 845 + 0{,}024 \cdot 27}{0{,}16 + 0{,}024} = 738 \text{ °С},$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

которая недопустимо высока и для естественной, и для механической тяг. Примем $t_{см} = 300$ °С, тогда количество подсасываемого воздуха

$$G_в = \frac{G_г (t_г - t_{см})}{t_{см} - t_{р.з}} = \frac{0{,}16 \cdot (845 - 300)}{300 - 27} = 2 \text{ кг/с}.$$

Суммарный объем вытяжки $L = L_г + L_в = 0{,}51 + 2/1{,}18 = 2{,}2$ м³/с. Определим высоту дымовой трубы для удаления найденного колнчества воздуха. Примем диаметр трубы $d_{тр} = 630$ мм, площадь поперечного сечения трубы $f_{тр} = 0{,}785\ d_{тр}^2 = 0{,}785 \cdot 0{,}63^2 = 0{,}31$ м². Скорость воздуха

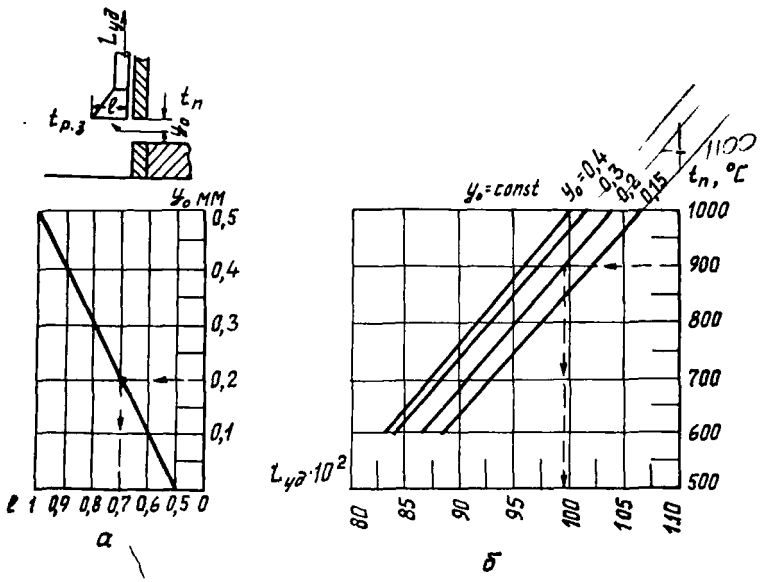


Рис. 4.10. График для определения вылета зонта-козырька и объема отсасываемого от него воздуха

в трубе $v_{тр} = L/f_{тр} = 2{,}2/0{,}31 = 7{,}1$ м/с. Предварительно зададимся высотой трубы $h_{тр} = 4$ м. На оголовке трубы устанавливаем дефлектор диаметром $d_{деф} = 700$ мм. Высота дефлектора $h_{деф} = 1{,}7\ d_{деф} = 1{,}7 \cdot 0{,}7 = 1{,}19$ м, коэффициент местного сопротивления $\xi_{деф} = 0{,}64$; коэффициент местного сопротивления зонта $\xi_з \approx 1$; $\Sigma\xi = 1 + 0{,}64 = 1{,}64$.

Потери давления в вытяжной трубе вместе с дефлектором с учетом загрязнения их стенок ($\lambda_{тр} = 2\lambda = 2 \cdot 0{,}02 = 0{,}04$) определяем по формуле

$$p_{тр} = 9{,}81 \left[\frac{\lambda_{тр}}{d_{тр}} (h_{тр} + h_{деф}) + \Sigma\xi \right] \frac{v_{тр}^2}{2g} \rho_{см} =$$

$$= 9{,}81 \left[\frac{0{,}04}{0{,}63} (4 + 1{,}19) + 1{,}64 \right] \frac{7{,}1^2}{2 \cdot 9{,}81} \cdot \frac{353}{273 + 300} \approx 31 \text{ Па}.$$

Уточним принятую высоту вытяжной трубы из равенства

$$p_{тр} = 9{,}81 \left[(h_{тр} + h_{деф}) (\rho_н - \rho_{см}) + h_з (\rho_н - \rho_{см}) \right].$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Примем температуру наружного воздуха $t_н = 22$ °С, тогда $\rho \approx 1{,}2$ кг/м³. Высота зонта

$$h_з = \frac{l - d_{тр}}{2 \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}} + h_б = \frac{l - d_{тр}}{2 \operatorname{tg} 30} + h_б = \frac{0{,}96 - 0{,}63}{2 \cdot \frac{1}{\sqrt{3}}} + 0{,}2 = 0{,}485 \text{ м}.$$

Подставим найденные значения в формулу $31 = 9{,}81\,[(h_{тр} + 1{,}19)(1{,}2 - 0{,}62) + 0{,}485\,(1{,}2 - 0{,}62)]$, откуда получим $h_{тр} \approx 3{,}8$ м, что близко к предварительно принятой высоте, поэтому пересчета не делаем.

Помимо аналитических расчетов можно пользоваться рис. 4.10. График построен для $\mu = 0{,}65$, $t_{р.з} = 25$ °С, $\Delta p = 2{,}5$Па при коэффициенте турбулентной структуры струи $a = 0{,}1$, где $y_о$— высота установки зонта над центром загрузочного отверстия, м; $L_{уд}$— объем удаляемого воздуха, м³/ч на 1 м² площади загрузочного отверстия; $t_п$ — температура в печи, °С, l — длина вылета зонта, м.

Пример. Определнть длину вылета зонта l н объем удаляемого воздуха $L_{уд}$ от загрузочного отверстня печи размером $h \times b = 600 \times 400$ мм. Температура в печн $t_п = 900$ °С.

Решение. По графику (рис. 4.10) при $t_п = 900$ °С и $y_о = h/2 = 0{,}4/2 = 0{,}2$ находим $l = 0{,}7$ м. $L = L_{уд}F_о = 9900 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}4 = 2400$ м³/ч.

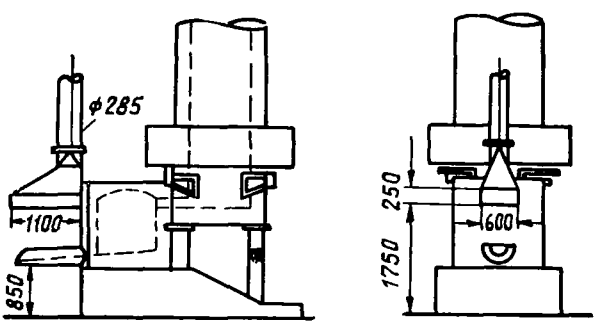


Рис. 4.11. Местный отсос иад желобом ваграпки

Зонты у вагранок для плавки чугуна размещают над желобом и над отверстием для выпуска шлака (рис. 4.11). Объем удаляемого воздуха определяется по скорости во всасывающем отверстии зонта $v_з = 1...1{,}5$ м/с.

4.3. ОТСАСЫВАЮЩИЕ ПАНЕЛИ

Применяются в качестве местных отсосов у тепловых источников и при сварочных работах на постоянных местах.

Панель С. А. Чернобережского (см. подраздел 4.5)

Прямоугольные панели (рис. 4.12) размещают сбоку от источника выделения вредностей на расстоянии $b = 0...8$ м. Габаритные размеры панели устанавливают следующим образом: длина панели

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

А = 1,2 a; высота панели Б = H + В; ширина панели δ — по скорости движения воздуха v = 4...6 м/с; площадь всасывающих отверстий $f_o = \frac{1}{3}$(А × Б). Нижнюю кромку отверстий необходимо располагать на уровне верха источника вредных выделений. Отсос может производиться сверху и снизу панели при вредностях соответственно легче и тяжелее воздуха.

Объем воздуха (L, м³/ч), удаляемого панелью, определяют по формуле [19] $L = cq_к^{1/3}(H + В)^{5/3}$, где c — коэффициент пропорциональности; $q_к$ — конвективный тепловой поток, выделяемый источником, Вт; H — расстояние от верхней плоскости источника до центра всасывающих отверстий панели, м; В — ширина источника, м. Коэффициент пропорциональности c зависит от конструкции панели и ее расположения относительно источника:

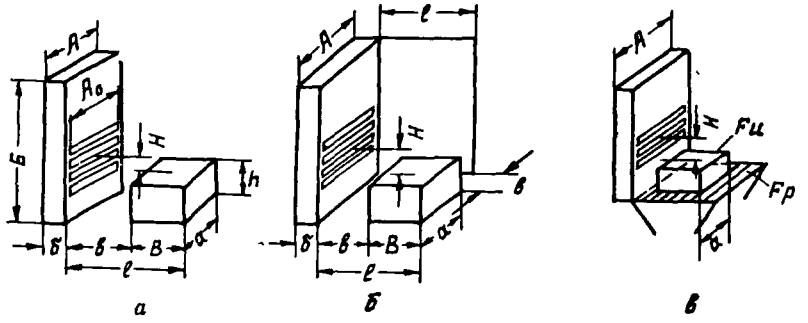


Рис. 4.12. Схемы отсасываемых панелей:
а—односторонней; *б*—с экраном, *в*—комбинированной с отсосом в сторону и вниз

для панели без экрана (рис. 4.12, *а*) $C = 228\left(\frac{l}{H + В}\right)^{2/3}$;

для панели с экраном (рис. 4.12, *б*) $C = 228\left(\frac{l}{H + В}\right)^{1/2} m$,

где m — коэффициент, зависящий от относительного расстояния между источником и экраном,

l/В	0 (вплотную)	0,3	1	> 1
m	1	1,5	1,8	2

l = в + В — расстояние от панели до внешней стороны источника вредностей, м.

Для удаления теплового потока, содержащего газы и крупную дисперсную пыль, следует применять комбинированную панель (рис. 4 12, *в*) с отсосом 60 % удаляемого воздуха в сторону и 40 % — вниз. При этом общий расход удаляемого воздуха L определяют с коэффициентом

$$C = 1170\frac{F_и}{F_р}\left(\frac{F_и}{F_р} - 1\right) + 650,$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

где $F_и$ — площадь изделия или источника вредных выделений, м²; $F_р$ — площадь решетки, м².

Пример. Рассчитать размеры панели для удаления теплоты и аэрозоля солей, выделяющихся от электросоляной закалочной ванны, при $B \times a \times h = 800 \times 1000 \times 800$ мм. Температура поверхности раствора в ванне $t_{пов} = 900$ °С, окружающего воздуха $t_в = 20$ °С. Панель без экрана (рис. 4.12, *а*) отстоит от передней стороны ванны на расстоянии $B = 1{,}2$ м.

Решение. 1. Устанавливаем размеры панели: длина $A = 1{,}2a = 1{,}2 \times 1000 = 1200$ мм; $Б = h + B = 800 + 800 = 1600$ мм; площадь всасывающих отверстий $f_о = \frac{1}{3}(A \times Б) = \frac{1}{3}(1{,}2 \quad 1{,}6) = 0{,}64$ м². Длину отверстий примем равной $A_о = A - 100 = 1200 - 100 = 1100$ мм, тогда высота площади отверстий $Б_о = f_о/A_о = 0{,}64/1{,}1 = 0{,}58$ м. Отверстия выполняются в виде продольных полос длиной 1100 мм и высотой 100 мм с расстоянием между ними по 50 мм. Тогда центр всасывающих отверстий будет отстоять от поверхности ванны на расстоянии $H = (100 \quad 6 + 50 \quad 5)/2 = 425$ мм.

2. Находим конвективный тепловой поток, выделяемый от поверхности ванны, полагая, что стенки ванны хорошо изолированы,

$$q_к = \alpha_к F (t_{пов} - t_в) = 3{,}25 \quad \sqrt[4]{(900 - 20)} \cdot (0{,}8 \cdot 1{,}0)(900 - 20) = 12\,460 \text{ Вт}.$$

3. Определим расход воздуха, удаляемого панелью,

$$L = c q_к^{1/3} (H + B)^{5/3} = 228 \left(\frac{l}{H + B}\right)^{2/3} q_к^{1/3} (H + B)^{5/3} =$$

$$= 228 \cdot \left(\frac{2}{0{,}425 + 0{,}8}\right)^{2/3} \cdot (12\,460)^{1/3} \cdot (0{,}425 + 0{,}8)^{5/3} = 10\,175 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4. Ширину панели рассчитываем по скорости движения воздуха в ней $v = 5$ м/с.

$$\delta = \frac{L}{3600v} = \frac{10\,175 \cdot 10^3}{3600 \cdot 5} \approx 565 \text{ мм}.$$

Отсос воздуха здесь производится сверху.

4.4. БОРТОВЫЕ ОТСОСЫ

Такие отсосы применяются для удаления выделений с поверхности ванн, в которых происходят процессы травления, обезжиривания, закалки, нанесения декоративных и антикоррозийных покрытий. Бортовые отсосы выполняются однобортовыми и двубортовыми, сплошными и секционными, простыми и опрокинутыми, со сдувом и без него. Однобортовые применяют, если ширина ванны $b \leqslant 600$ мм, двубортовые — при $b > 600$ мм [10], сплошные — длина ванны $l \leqslant 1200$ мм, секционные — $l > 1200$ мм; простые — при высоком стоянии уровня раствора в ванне, когда расстояние до щели отсоса $H_р$ (рис. 4.13) составляет менее 80...150 мм, опрокинутые — $H_р > 150...300$ мм, отсосы с поддувом — при ширине ванны $b \geqslant 1{,}5$ м. Однако для повышения эффективности работы последних, особенно при выделении с поверхности ванны токсических вредностей (цианистый водород при цинковании, латунировании, меднении, серебрении, фтористый водород при свинцевании и т. д. —

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

см. табл. 4.2 [14, 16]), поддув может применяться и при меньшей ширине ванны. Выбор типа отсоса зависит также от размеров изделий, погружаемых в ванну. Например, если изделие выступает над поверхностью жидкости, независимо от ширины ванны устраивают двубортовой отсос.

Эффективность улавливания вредных веществ бортовым отсосом зависит от равномерности всасывания по длине щели, которая, как правило, располагается вдоль длинной стороны ванны.

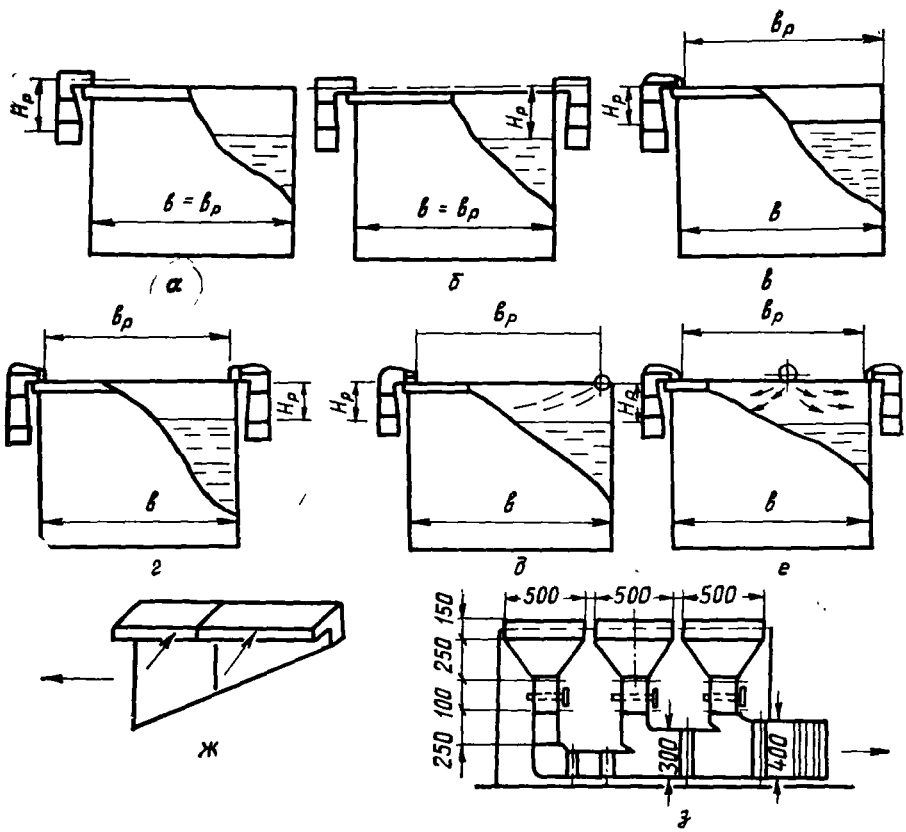


Рис. 4.13. Бортовые отсосы:

а—однобортовой с вертикальной щелью всасывания, обычный; *б*—двубортовой с вертикальной щелью всасывания; *в*—однобортовой с горизонтальной щелью всасывания, опрокинутый; *г*—двубортовой с горизонтальной щелью всасывания; *д*—однобортовой с поддувом; *е*—двубортовой с поддувом; *ж*—сплошной; *з*—секционный

Для бортовых отсосов постоянного поперечного сечения со щелью постоянной высоты равномерные скорости всасывания обеспечиваются соотношением $\bar{f} = f/F = 0{,}25...0{,}3$, в котором f — площадь щели, м^2; F — площадь канала, м^2. Равномерное по расходам всасывание по длине отсоса достигается также изменением высоты щели.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Задача расчета бортовых отсосов сводится к определению объема удаляемого воздуха и выбору их конструкции, габаритные размеры которых приводятся в справочной литературе по вентиляции. Разработано несколько методов расчета бортовых отсосов, конечные результаты которых сильно разнятся, поскольку для решения поставленной задачи принимались различные предпосылки. Рассмотрим методики расчета, наиболее широко применяемые в практике проектных организаций.

Согласно методу М. М. Баранова [17], количество воздуха (L, м³/ч), удаляемое однобортовыми и двубортовыми обычными и опрокинутыми отсосами, определяется по формуле

$$L = a\sqrt[3]{t_ж - t_в} \cdot xSl,$$

где a — удельный расход воздуха, принимаемый по табл. 4.3 в зависимости от ширины ванны b и высоты спектра вредностей $h_{вр}$ (табл. 4.2); $t_ж$ — температура жидкости в ванне (табл. 4.2); $t_в$ — температура воздуха в помещении; x — поправочный коэффициент на глубину уровня жидкости (табл. 4.4); S — поправочный коэффициент на подвижность воздуха в помещении (табл. 4.5); l — длина ванны. При укрытии зеркала испарения ванн поплавками для значения L вводится поправочный коэффициент $k = 0{,}75$, для пены $k = 0{,}5$.

Пример. Определить объем воздуха, удаляемый бортовым отсосом от ванны для хромирования, при таких параметрах: $b = 0{,}6$ м; $l = 1{,}3$ м; $t_ж = 55$ °С; $t_в = 18$ °С; $h_{вр} = 40$ мм (по табл. 4.2); глубина уровня жидкости в ванне $H_р = 80$ мм, скорость движения воздуха в помещении $v_в = 0{,}2$ м/с.

Р е ш е н и е. 1. Принимаем обычный однобортовой отсос, поскольку $b \leqslant 600$ мм, $H_р < 150$ мм.

2. На основании $h_{вр} = 40$ и $b = 0{,}6$ по табл. 4.3 находим $a = 1000$ м³/ч.

3. При глубине уровня жидкости $H_р = 80$ мм по табл. 4.4 находим $x \approx 1$.

4. По табл. 4.5, имея $v_в = 0{,}2$, $h_{вр} = 40$ мм и разность температур $\Delta t = t_ж - t_в = 55 - 18 = 37$ °С, получаем $S = 1{,}05$.

5. С учетом найденных значений определяем расход воздуха, удаляемого бортовым отсосом,

$$L = a\sqrt[3]{t_ж - t_в} \cdot xSl = 1000\sqrt[3]{55 - 18} \cdot 1 \cdot 1{,}05 \cdot 1{,}3 \approx 4500 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество воздуха, удаляемого от нормализованных ванн бортовыми отсосами усовершенствованной конструкции, разработанных институтом «Проектпромвентиляция», определяется по формуле [38] $L = L_o k_{\Delta t} k_т k_1 k_2 k_3 k_4$. Здесь L_o — количество удаляемого воздуха через щель бортового отсоса, м³/ч: для отсосов без поддува (рис. 4.13, *а—г*)

$$L_o = 1400\left(0{,}53\frac{b_р l}{b_р + l} + H_р\right)^{1/3} b_р l.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.2

Назначение ванны	Группа вани	Обрабатываемые материалы	Температура раствора $t_ж$, °С	Состав раствора	Выделяющиеся вредности	$h_{вр}$, мм	$v_{кр}$, м/с
Травление (удаление с поверхности металла окалины, ржавчины, налетов и других окислов)	II III IV	Сталь	15 ... 65	Сернаи кислота	Туман серной кислоты	80	0,25 ... 0,3
		»	30 ... 40	Соляная кислота	Хлористый водород	80	0,3
		»	15 ... 20	Азотная кислота	Пары кислоты, окислы азота	40	0,3 ... 0,4
		»	—	Медный купорос, серная кислота	Кислые пары	80	0,2
		Медь	15 ... 20	Плавиковая кислота	Фтористый водород	40	0,4
		Алюминий, Кадмнй	15 ... 20 15 ... 20	Едкий натр Цианистый калий	Туман щелочи Цианистый водород	80 80	0,25 0,3 ... 0,4
Декапирование (процесс окончательного снятия окислов в слабых травящих растворах)	I	Сталь	15 ... 20	Соляная кислота	Хлористый водород	80	0,2
		»	15 ... 20	Слабая серная кислота	Туман серной кислоты	80	0,15
		»	15 ... 20	Хромпик	То же	80	0,3
		Медь и сплавы	15 ... 20	Цианнстый калий	Цианистый водород	80	0,3 ... 0,4
Электротравление	—	Сталь	15 ... 20	Сернан кислота	Туман серной кислоты	80	0,25
Матирование (удаление с поверхности металла глянца и придание матового оттенка)	II, III	Медь	15 ... 20	Азотиая и серная кислота	Пары кислоты и окислы азота	40	0,3 ... 0,4
		Алюминий	—	Хлористый натр	Пары едкой щелочи	160	0,2

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

Промывка после травления в азотной кислоте	V	Сталь	18 ... 20	Вода, слабая кислота	Окислы азота	40	0,25
Обезжиривание	III	—	60 ... 80	Фтористый натр	Пары воды и щелочи	160	0,3
		—	15	Бензин	Пары бензина	40	0,2
			15	Хлорированные углеводороды	Пары углеводородов	40	0,25 ... 0,3
Электрообезжиривание	—	—	60 ... 80	Фосфористый натр	Туман щелочн	160	0,3
Кнслое цинкование, никелирование, медиение, кадмирование, лужение	III	Сталь, медь	25 ... 40	Сернокислые соли металлов	Туман солей	Не вентилируются	
Цинкование (гальваническое покрытие металла цииком)	III	Черные металлы	18 ... 20	Цианистый иатр	Циаинстый водород	160	0,3 ... 0,4
Медиеиие (то же медью)	IV	Сталь	18 ... 25	Цианистый калий	Цианистый водород	80	0,3 ... 0,4
Лужение (то же оловом)	III	Медь	60 ... 70	Едкий натр	Пары щелочи	80	0,2
Кадмирование (то же кадмием)	III	Черные металлы	15 ... 20	Электролит	Циаиистый водород	80	0,2 ... 0,4
Свинцеваиие (то же свиицом)	IV	То же	15 ... 20	Углекислый свинец, плавиковая кислота	Фтористый водород	40	0,4
Латунирование (то же латуиью)	IV	»	30 ... 40	Свободный цианит	Цианистый водород	80	0,3 ... 0,4

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

Продолжение табл. 4.2

Назначение ванны	Группа ванн	Обрабатываемые материалы	Температура раствора $t_ж$, °С	Состав раствора	Выделяющиеся вредности	$h_{вр}$, мм	$v_{кр}$, м/с
Хромирование (то же хромом)	I	Черные и цветные металлы	45 ... 60	Хромовый ангидрид, серная кислота	Хромовый ангидрид	40	0,4 ... 0,5
Серебрение (то же серебром)	III	Цветные металлы	15 ... 20	Цианистый калий	Цианистый водород	80	0,3 ... 0,4
Золочение (то же золотом)	III	То же	15 ... 20	Цианистый калий	То же	80	0,3 ... 0,4
Оксидирование (нанесение антикоррозионного покрытия	III	Черные металлы	130 ... 155	Едкий натр, азотная кислота	Туман едкой щелочи	40	0,35
		Латунь	18 ... 25	Аммиак	Аммиак	160	0,2
		Алюминий	100	Едкий натр	Туман щелочи	80	0,25 ... 0,3
		Магний	80	Хромпик, азотная кислота	Окислы азота	40	0,3
		Алюминий	18 ... 25	Серная кислота	Туман серной кислоты	80	0,25
Фосфатирование (то же фосфатом)	IV	Черные металлы	95 ... 100	Мажер	Фосфорная кислота	160	0,25
Железнение	V	Сталь	100	Серная кислота	Туман серной кислоты	80	0,25 ... 0,3

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

Осветление	**IV**	Цветные металлы	15 ... 20	Хромовый ангидрид, азотная кислота	Окислы азота	40	0,3
Снятие металлических покрытий	I	Сталь, черные и цветные металлы	18 ... 20	Соляная и серная кислоты, хромовый ангидрид	Хромовый ангидрид	80	0,3 ... 0,4
		Сталь	30	Азотная кислота	Окислы азота	40	0,4
Промывка в горячей воде	V	Обрабатываемые материалы	70 ... 80	—	Пары воды	160	0,2
Полировка	IV	Медь	—	Фосфорная кислота	Фосфорная кислота	160	0,3
		Алюминий	70	Серная и плавиковая кислоты	Фтористый водород	40	0,4
		Сталь	—	Серная кислота	Туман серной кислоты	80	0,3 ... 0,4
Пассивирование	I	Цветные металлы	—	Хромпик	Хромовый ангидрид	80	0,3 ... 0,4
Хроматирование		—	80	Бихромат натрия	Окислы азота	40	0,4
Анодирование	IV	Сталь Черные и цветные металлы	15 ... 25	Сериая кислота	Пары серной кислоты	80	0,3

Электронная библиотека http://lgv.kkstu.ru/

Окончание табл. 4.2

Назначение ванны	Группа вани	Обрабатываемые материвлы	Температура раствора $t_ж$, °С	Состав раствора	Выделяющиеся вредности	$h_{вр}$, мм	$v_{кр}$, м/с
Аиодирование в хромпике	—	Сталь Черные и цветные металлы	—	Хромовый ангндрнд	Хромовый ангидрнд	80	0,4
Амальгамирование	I	Медь и сплавы	25	Цианнстый калий	Цнанистый водород	80	0,3
Воронение	IV	Сталь	150	Фосфорные соли	Фосфорная кислота	160	0,3
Химическое никелнрование	III	Чернме металлы	60 ... 80	Хлористый никель	Аммиак	160	0,2
Обработка после цианистых покрытнй	IV	То же	—	Хлорное железо	Цнанистые соединення	80	0,3
Окрашнванне	III	—	—	Анилиновые н иные красители	Пары красителей, аммиака	80	0,2

Примечание. 1. Группы ванн различаются по химическому составу раствора и характеру производимого в них процесса. 2. Высота спектра вредных выделений $h_{вр}$ (или спектр всасывания) представляет собой превышение траекторнн частицы потока вредностей над осью щели всасывания.

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

Таблица 4.3

Тип отсосов	$h^*_{вр}$, мм	Значение $a = \frac{L}{\sqrt[3]{\Delta t}}$ при ширине ванны b, мм								
		500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
Обычный однобортовой	40	730	1000	1300	1530	1850	2100	—	—	—
	80	530	800	1000	1250	1500	1720	1970	2200	—
	120	450	700	900	1100	1320	1530	1730	1250	2150
	160	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	1980
	200	350	520	720	920	1120	1320	1500	1700	1900
Обычный двубортовой	40	375	450	525	600	675	750	825	900	970
	80	285	350	400	455	520	575	680	700	750
	120	250	300	350	400	450	500	550	600	650
	160	220	260	300	350	380	430	480	525	570
	200	200	240	275	325	410	400	440	480	520
Опрокинутый однобортовой	40	680	900	1100	1300	1530	1750	1950	—	—
	80	500	700	900	1050	1240	1420	1600	1800	—
	120	450	600	760	920	1100	1250	1400	1550	—
	160	400	530	690	830	980	1130	1280	1420	—
	200	350	500	640	780	920	1080	1250	1340	—
Опрокинутый двубортовой	40	400	490	575	670	750	900	940	1025	1100
	80	300	375	455	540	600	680	750	840	900
	120	270	340	450	470	550	600	675	740	800
	160	240	300	350	410	470	520	580	650	700
	200	210	260	320	375	430	480	540	540	640

* Высоту спектра вредностей $h_{вр}$ следует принимать по табл. 4.2.

Таблица 4.4

Вид бортового отсоса	Значение x при глубине уровня жидкости в ванне $H_р$, мм			
	50	120	160	200
Обычный однобортовой, независимо от ширины ванны	1,0	0,95	0,89	0,82
Обычный двубортовой при ширине ванны b, мм:				
500	1,0	1,4	1,9	2,7
750	1,0	1,25	1,52	2,0
1000	1,0	1,15	1,38	1,7
1250	1,0	1,10	1,25	1,5
Опрокинутые однобортовой и двубортовой	1,0	0,9	0,8	0,7

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.5

Разность температур $\Delta t = t_ж - t_в$	Поправочный коэффициент S на подвижность воздуха в помещении $v_в$ при высоте спектра вредностей $h_{вр}$, мм				
	40	60	80	120	160
		$v_в = 0{,}2$ м/с			
20	1,07	1,09	1,10	1,13	1,14
30	1,06	1,08	1,09	1,11	1,13
40	1,05	1,07	1,08	1,09	1,11
50	1,04	1,05	1,06	1,07	1,10
		$v_в = 0{,}4$ м/с			
20	1,19	1,22	1,25	1,29	1,32
30	1,17	1,19	1,23	1,26	1,29
40	1,15	1,18	1,20	1,23	1,26
50	1,13	1,15	1,18	1,20	1,23

Для отсосов с поддувом (рис. 4.13, *д*, *е*) $L_o = 1200 b_р^{3/2} l$. Количество воздуха для поддува $L_п = 60\, b_р l k_{\Delta t}$, где $b_р$ — расчетная ширина ванны, м: для двубортовых отсосов равна расстоянию между кромками отсосов, для однобортовых — между кромкой отсоса и бортом или осью воздухоподающей трубы (отсос с поддувом); l — длина ванны, м; $H_р$ — расчетное расстояние от зеркала раствора до борта ванны или оси щели, м.

При коэффициентах $k_{\Delta t}$, k_t, k_1 ... k_4, равных единице, и глубине раствора в ванне $H_р = 0{,}15$ значение L_o для нормализованных ванн принимается по табл. 4.6. Эти коэффициенты учитывают: $k_{\Delta t}$ — разность температур раствора и воздуха в помещении (табл. 4.7); $k_т$ — токсичность вредных выделений (табл. 4.8); k_1 — тип отсоса (табл. 4.9); k_2 — подвижность воздуха в помещении (табл. 4.9); k_3 — укрытие зеркала раствора плавающими телами — шариками, линзами (табл. 4.9); k_4 — укрытие зеркала раствора пенным слоем введенных добавок поверхностно-активных веществ (табл. 4.9).

Для химических ванн трубу для поддува выполняют из полиэтилена или углеродистой стали, для электролитических — из меди или латуни. Воздух в трубу подается от специальной вентиляционной установки или от сети сжатого воздуха. Угол наклона воздушной струи к плоскости зеркала испарения $\alpha = 35°$. Скорость выхода воздуха из отверстий для поддува не должна превышать 8 м/с, суммарная площадь отверстий для равномерного выхода воздуха из трубы должна составлять 0,25....0,3 площади ее поперечного сечения, т. е. $f_{пд} = (0{,}25...0{,}3)\, f_{тр}$.

Пример 1. Определить количество удаляемого воздуха от нормализованной ванны размером 800 × 760 мм, в которой осуществляется кадмирование в цианистом растворе при $t_{р.з} = 18$ °С.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.6

Размер ванны в плане $b \times l$, мм	L_0 для отсоса, м³/ч			Количество воздуха для поддува $L_п$, м³/ч
	без поддува двубортового	с поддувом		
		двубортового	одноборто-вого	
450×800	260	—	200	20
450×1100	360	—	275	30
450×1500	500	—	375	40
450×2200	730	—	550	55
500×1100	420	—	355	30
500×1500	580	—	455	45
550×600	250	—	280	20
600×1100	540	—	470	40
600×1500	740	—	640	50
600×2200	1100	—	940	75
700×800	480	—	450	35
700×1100	660	—	615	45
700×1500	910	—	840	60
700×2200	1350	—	1230	90
800×360	380	—	395	30
800×760	530	—	535	35
1000×1500	1450	1090	1540	90
1000×2200	2180	1600	2260	130
1100×560	550	475	670	40
1100×760	780	645	910	50
1200×1100	1320	1080	1530	80
1200×1500	1860	1475	2090	105
1200×2200	2760	2155	3060	155

Таблица 4.7

Разность температур растворв и воздуха Δt, °С	Коэффициент $K_{\Delta t}$ для отсоса	
	без поддува	с поддувом
0	1,0	1,0
5	1,03	1,015
10	1,16	1,03
15	1,24	1,045
20	1,31	1,06
25	1,39	1,075
30	1,47	1,09
35	1,55	1,105
40	1,63	1,12
45	1,71	1,135
50	1,79	1,15
55	1,86	1,165
60	1,94	1,18
65	2,02	1,195
70	2,10	1,21
75	2,18	1,225
80	2,26	1,24

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.8

Технологический процесс гальванопокрытия	$K_т$
Промывка в горячей воде, безвредные технологические процессы при наличии неприятных запахов, например аммиака, клея	0,5
Химическая обработка стали в растворах хромовой кислоты при $t_р > 50$ °С (пассивация, травление); химическая обработка металлов, кроме алюминия и магния в растворах щелочи при $t_ж > 50$ °С (обезжиривание, нейтрализация); меднение в этилендиаминовом электролите; кадмирование и лужение в кислых электролитах	1,0
Химическая обработка металлов в растворах соляной кислоты (травление, снятие шлама), ортофосфорной (фосфатирование), азотной (осветление алюминия, травление, декапирование, пассивация), в растворах щелочи	1,25
Электрохимическая обработка металлов в растворах щелочи (обезжиривание, лужение, оксидярование меди, снятие хрома и др.); цинкование, меднение, латунирование, химическое декапирование и амальгамирование в цианистых растворах; то же в растворах серной кислоты (анодирование, травление, снятие никели, серебра)	1,6
Кадмирование, серебрение, золочение в цианистых растворах; электрохимическая обработка металлов в растворах хромовой кислоты (хромирование и др.); никелирование в хлоридных растворах при плотности тока в 1 . . . 3 А/дм²	2

Таблица 4.9

Коэффициент	Отсос без поддува		Отсос с поддувом	
	однобортовой	двубортовой	однобортовой	двубортовой
K_1	1,8	1,0	1	0,7
K_2	1,2	1,2	1	1
K_3	0,75	0,75	1	1
K_4	0,5	0,5	1	1

Решение. По табл. 4.2 находим температуру раствора $t_ж = 20$ °С. По табл 4.6—4.9 получаем $L_0 = 530$ м³/ч, $\kappa_{\Delta t} = 1{,}01$, $k_т = 2$, $k_1 = 1$, $k_2 = 1{,}2$, $k_3 = 0{,}75$, $k_4 = 0{,}5$. Количество удаляемого воздуха

$$L = L_0 \cdot k_{\Delta t} \cdot k_t \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 =$$
$$= 530 \cdot 1{,}01 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}5 = 482 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 2. Определить расход воздуха, удаляемого от ванны хромирования размером $b \times l = 0{,}8 \times 1{,}2$ м. Расстояние от зеркала раствора до борта ванны $H_р = 0{,}15$ м, температура раствора $t_ж = 50$ °С, температура воздуха рабочей зоны $t_{р.з} = 15$ °С.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Р е ш е н и е. Принимаем двусторонний бортовой отсос с горизонтальной щелью всасывания, расчетная ширина ванны $b_р = 0,7$ м (см. рис. 4.13). Находим количество удаляемого воздуха через щель бортового отсоса

$$L_о = 1400\left(0,53\frac{b_р l}{b_р + l} + H_р\right)^{1/3} b_р l =$$

$$= 1400\left(0,53\frac{0,7 \cdot 1,2}{0,7 + 1,2} + 0,15\right)^{1/3} \cdot 0,7 \cdot 1,2 = 858 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По соответствующим таблицам находим $k_{\Delta t} = 1,55$, $k_т = 1$; $k_1 = 1$; $k_2 = 1,2$; $k_3 = 0,75$; $k_4 = 0,5$. Расход воздуха, удаляемого от ванны,

$$L = L_о k_{\Delta t} k_t k_1 k_2 k_3 k_4 = 858 \cdot 1,55 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,75 \cdot 0,5 = 600 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 3. Для условий примера 2 определить расход удаляемого воздуха при использовании поддува.

Р е ш е н и е. $L_о = 1200 b_р^{3/2} l = 1200 \cdot 0,7^{3/2} \cdot 1,2 = 843$ м³/ч. По таблицам находим $k_{\Delta t} = 1,105$; $k_т = 1$; $k_1 = 0,7$; $k_2 = k_3 = k_4 = 1$.

Расход воздуха, отводимого от ванны, $L = 843 \cdot 1,105 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 =$ $= 652$ м³/ч. Расход воздуха для поддува $L_п = 60 b_р l k_{\Delta t} = 60 \cdot 0,7 \cdot 1,2 \times$ $\times 1,105 = 56$ м³/ч.

Для ориентировочных подсчетов объема воздуха, удаляемого от ванн, следует пользоваться табл. 4.10. Приведенные в ней данные, отражающие результаты отечественной и зарубежной практики, относятся к двусторонним отсосам; для односторонних отсосов их следует увеличить на 20...30 % [8].

Кольцевыми бортовыми отсосами оборудуются круглые ванны. Эффективность действия зависит как от расположения щели отсоса (горизонтально или вертикально), так и от равномерности всасы-

Таблица 4.10

Оборудование	Объем воздуха, удаляемого двусторонними бортовыми отсосами $L_{уд}$ на 1 м² зеркала, при ширине ванны b, мм		
	500 ... 600	700 ... 800	900 ... 1000
Ванны травления в азотной и плавиковой кислотах, ванны свинцевания, цианистые при $t_ж = 40$ °С	3000..4000	4000..5000	5000...6000
Ванны травления в соляной и серной кислотах, цианистые ванны при $t_ж =$ $= 15$ °С, ванны электрообезжиривания, полировки, анодирования	2500...3000	3000...3500	3500...4500
Прочие гальванические ванны	2000...2200	2300...2600	2500..3500
Баки для закалки в масле	2500...3000	3500...4000	4000...5500
Печи при $t = 600 \ldots 1000$ °С при выделении вредных газов	9000...10000	12000..14000	16000...20000
То же при маловредных газах	7000...8000	9000...10000	13000..15000
Ванны с горячей водой при $t_ж = 80 \ldots$ $\ldots 90$ °С	1400...1600	1700..2000	2200...2500

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.11

Разность температур $t_ж - t_{р.з}$, °С	Значение коэффициентов K_v при h_1, мм		
	80	120	250
	$v_в = 0{,}2$ м/с		
10	1,8	1,95	2,15
20	1,6	1,7	1,8
30	1,45	1,55	1,65
40	1,35	1,4	1,45
50	1,28	1,33	1,4
100	1,2	1,25	1,3
	$v_в = 0{,}4$ м/с		
10	2,25	2,4	2,6
20	1,95	2,05	2,2
30	1,7	1,8	1,9
40	1,55	1,6	1,7
50	1,47	1,52	1,6
100	1,38	1,42	1,48
	$v_в$=0,6 м/с		
10	2,65	2,7	2,85
20	2,2	2,25	2,4
30	1,95	2,0	2,1
40	1,75	1,8	1,9
50	1,65	1,7	1,8
100	1,53	1,57	1,64

вания по ее периметру. При заключении ванны в кожух с расположением отсасывающего воздуховода на расстоянии не менее двух его диаметров от оси кольцевой щели (рис. 4.14) равномерность всасывания через щель постоянного сечения обеспечивается при относительной ширине ее b/d_o = = 0,04...0,8. Если значение b/d_o больше указанного, отсасывающие воздуховоды следует присоединять с двух сторон или применять щели равномерного всасывания. Проведенные исследования показали, что кольцевые отсосы с горизонтальной щелью более эффективны, чем обычные кольцевые отсосы с вертикальной щелью.

Расход воздуха, удаляемого от ванны с кольцевым опрокинутым отсосом, обеспечивающий надежность захвата и удаления вредных веществ, определяется по формуле

$$L = 103 d^{2,84} h_1^{0,086} h_2^{-0,333} (t_ж - t_{р.з})^{0,442} k_v,$$

где d — диаметр, измеренный по оси всасывающей щели, м; h_1 — расстояние от плоскости щели до уровня жидкости в ванне, м; h_2 — расстояние от плоскости щели до верха ванны, м; $t_ж$, $t_{р.з}$ — температура поверхности жидкости и рабочей зоны, °С; k_v — коэффи-

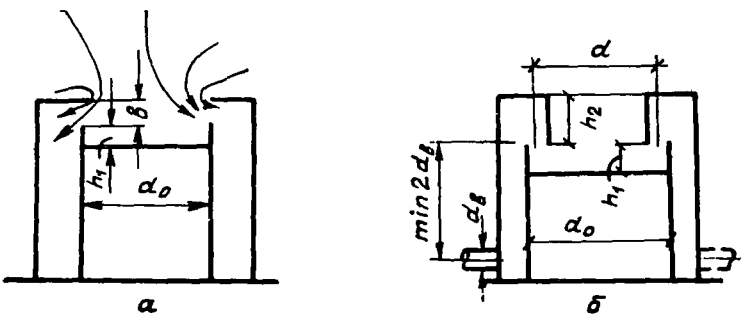


Рис. 4.14. Кольцевой отсос:
а—с вертикальной щелью; *б*—с горизонтальной

циент, учитывающий подвижность воздуха в помещении (табл. 4.11) [10]. В тех случаях, когда $t_ж$ отличается от $t_{р.з}$ незначительно (холодные растворы), разность температур следует находить по формуле $t_ж - t_{р.з} = 8{,}95/d_o$, где d_o — диаметр ванны, м.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример. Определить расход воздуха, удаляемого от ванны с опрокинутым кольцевым отсосом, при следующих условиях: $d_о = 1{,}2$ м; $t_ж = 75$ °С; $t_{р.з} = 25$ °С; $h_1 = 0{,}2$ м; $h_2 = 0{,}15$ м; ширина щели отсоса $b = 0{,}06$ м; подвижность воздуха в помещении $v_в = 0{,}2$ м/с.

Решение. По табл. 4.11 при $t_ж - t_{р.з} = 75 - 25 = 50$ °С, $h_1 = 0{,}2$ м и $v_в = 0{,}2$ м находим $k_t = 1{,}4$; $d = d_о - b = 1{,}2 - 0{,}06 = 1{,}14$ м;

$$L = 103 d^{2,84} h_1^{0,086} h_2^{-0,333} (t_ж - t_{р.з})^{0,442} k_v =$$

$$= 103 \cdot 1{,}14^{2,84} \cdot 0{,}2^{0,086} \cdot 0{,}15^{-0,333} \cdot 50^{0,442} \cdot 1{,}4 = 2680 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

4.5. МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ

При сварочных работах электродуговая сварка и резка металла сопровождаются выделением теплоты, пыли и газов, удаление которых осуществляется местными отсосами различной конструкции. При сварке небольших деталей на фиксированных местах (сварочные посты) для удаления вредностей применяются панели С. А. Чернобережского (рис. 4.15) размером 600 × 645 и 900 × 645 мм. Ширина панели выбирается на 100...200 мм меньше ширины стола.

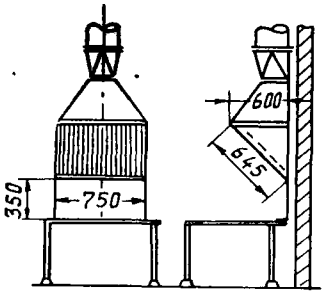


Рис. 4.15. Местный отсос от сварочного поста

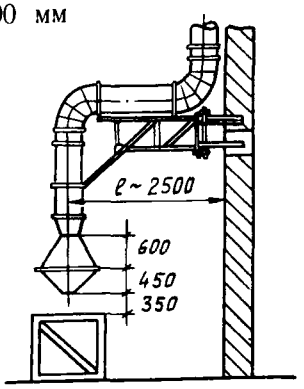


Рис. 4.16. Двухсторонняя всасывающая панель на поворотном устройстве

Объем отсасываемого воздуха ($L_{отс}$, м³/ч) определяется по формуле $L_{отс} = 3600 f_{ж.с} v$, где $f_{ж.с} = 0{,}23 F$ — площадь живого сечения панели, м² (F — ее габаритная площадь, м²); v — скорость воздуха в живом сечении, м/с: $v = 2...3{,}5$ для вредных испарений и газов без пыли; $v = 3{,}5...4$ в смеси с горячей дисперсной пылью (по данным Ленпромстройпроекта). Панель действует вполне эффективно, если на 1 м² ее габаритной площади приходится не менее 3300 м³/ч отсасываемого воздуха при ее расположении вблизи стены и 5000...7000 м³/ч — вдали от стены.

Пример. Габаритные размеры панели Чернобережского 750 × 645 мм. Определить количество и скорость отсасываемого воздуха от сварочного поста

Решение. Принимая расход воздуха на 1 м² габаритной площади панели 3300 м³/ч, получаем $L_{отс} = 3300F = 3300 \cdot (0{,}75 \cdot 0{,}645) = 1600$ м³/ч. Площадь

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

живого сечения панели $f_{ж.с} = 0{,}23F = 0{,}23 \cdot (0{,}75 \cdot 0{,}645) = 0{,}11$ м². Скорость всасывания

$$v = \frac{L_{отс}}{3600 f_{ж.с}} = \frac{1600}{3600 \cdot 0{,}11} = 4{,}04 \text{ м/с}.$$

Для упрощения расчетов по определению $L_{отс} = f(v)$ можно пользоваться табл. 4.12 [17].

Таблица 4.12

Размер панели, мм	Площадь живого сечения, м²	Объем отсасываемого воздуха $L_{отс} = f(v)$, м³/ч при скорости всасывания v, м/с								
		2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8
600×645	0,089	620	775	930	1080	1240	1550	1860	2170	2430
750×645	0,11	790	990	1185	1385	1580	1980	2370	2770	3160
900×645	0,13	935	1170	1400	1640	1870	2340	2810	3270	3730

При сварке деталей длиной от 1 до 2 м, укладываемых краном, устраиваются поворотные панели равномерного всасывания (рис. 4.16). Ширина двухсторонней панели выбирается на 0,5...0,65 м больше размера свариваемых деталей. Объем отсасываемого воздуха увеличивается вдвое. Для удаления вредных газов и пыли при сварке деталей длиной больше 2 м с целью уменьшения расхода удаляемого воздуха одностороннюю панель равномерного всасывания укрепляют на одно- или двухшарнирном поворотном устройстве, которое обеспечивает возможность установки отсоса над любой точкой в пределах зоны, обслуживаемой отсосом (рис. 4.17).

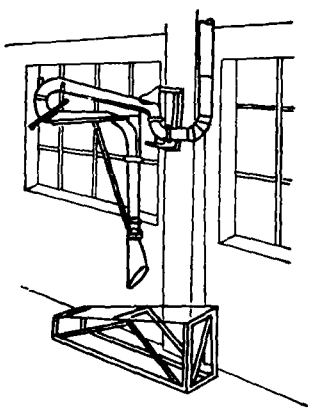


Рис. 4.17. Местный отсос на двухшарнирном поворотном устройстве

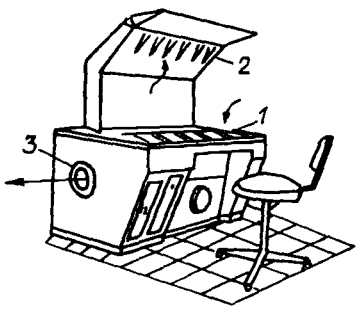


Рис. 4.18. Сварочный стол со встроенным вытяжным устройством: *1*—нижняя всасывающая решетка; *2*—наклонная решетка; *3*—патрубок

В последнее время широкое распространение получили сварочные столы с наклонной панелью и нижней решеткой, которые мож-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

но использовать одновременно или поочередно (рис. 4.18) путем переключения соответствующих шиберов. В нижней части стола имеется встроенный вентилятор. Объем удаляемого воздуха $L_{отс}$ = = 1800 м³/ч.

При сварке внутри замкнутых емкостей рекомендуется применять переносной пылегазоприемник с пневматическим присосом-держателем (рис. 4.19) конструкции Ленинградского института охраны труда, который укрепляется на расстоянии 100...150 мм от места сварки. Объем удаляемого воздуха $L_{отс}$ = 100...150 м³/ч.

Аэрозоли, образующиеся при работах на агрегатах автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса, удаляются щелевидными местными отсосами, располагаемыми непосредственно у мест сварки на высоте 40...50 мм над флюсом. Длина щели отсоса

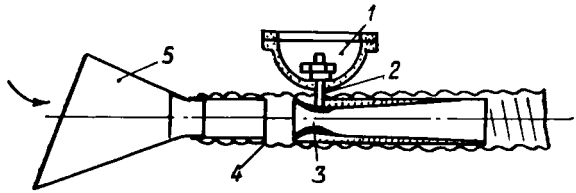


Рис. 4.19. Переносный пылеприемник с пневматическим присосом-держателем *1* — резиновая полусфера; *2*—полая втулка; *3*—диффузорный пережим. *4*—пылесосный шланг ∅ = 32 мм; *5*—пылегазоприемник

над сварочным швом принимается в пределах 250....300 мм. Количество удаляемого воздуха $L_{отс} = k\sqrt[3]{I}$, где I — сила сварочного тока, А; k — поправочный коэффициент, k = 12 для одностороннего щелевого отсоса; k = 16 при двух отсосах, располагаемых спереди и сзади сварочного трактора. Обобщенные данные о количестве воздуха, удаляемого местными отсосами от различных агрегатов автоматической и полуавтоматической сварки под слоем флюса, приведено в табл. 4.13 [17; 36].

При окрасочных работах технология подразделяется на три этапа: подготовка поверхностей изделий к окраске, окраска, сушка изделий после окраски. Подготовка поверхностей сводится к удалению ржавчины, старой краски, обезжириванию, шпатлевке, ошкуровке. Окраска осуществляется кистью, валками, окунанием, пневматическим распылением, безвоздушным распылением, когда краска подается к соплу распылителя под высоким давлением (40... ...2500) · 10^5 Па, электрораспылением (перенос заряженных частиц в электрическом поле высокого напряжения между двумя электродами разного потенциала), электроосаждением (осаждение на поверхности изделия частиц лакокрасочного материала из водного раствора под воздействием электрического тока). Сушка изделий производится в сушильных камерах и шкафах при обычной и повышенной температурах воздуха либо непосредственно в цехе.

Процесс окраски сопровождается выделением вредностей в виде паров растворителей (табл. 4.14 [25]), твердых частиц пигмента —

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.13

Сварочный агрегат	$L_{отс}$, м³/ч при силе сварочного тока, А				Параметры отсасывающего патрубка		
	200	300	1000	1500	размер, мм	площадь, м²	скорость, м/с
Универсальный сварочный автомат АВС	80	110	140	160	⌀83	0,005	4,5.. 8,9
Сварочная головка САГ-4	80	110	140	160	⌀83	0,005	4,5...8,9
Сварочный трактор ТС-17-М-У при нормальном положении и при сварке наклонным электродом	80	110	140	160	100×60	0,006	3,7...7,4
То же при положении изделия «в лодочку»	90	120	155	180	100×60	0,006	4,1...8,2
Сварочный трактор ТС-30	70	95	120	140	76×55	0,0042	4,6...9,3
Сварочный трактор АДС-1000-2	90	120	155	180	100×60	0,006	4,1...8,2
АДС-500	80	110	140	160	70×80	0,0056	4,0...8,0
АДСД-500	90	120	155	180	70×80	0,0066	4,5...9,0
АДШМ-500	80	110	140	160	70×80	0,0056	4,0...8,9
УТ-1250, УТ-1500, УТ-200	90	120	155	180	100×60	0,006	4,1...8,2
Полуавтоматические головки ПШ-5-У, ДШ-14, АДШМ-500	70	95	120	140	⌀75	0,0042	4,6...9,8

Таблица 4.14

Лакокрасочные материалы	Растворитель	Компоненты	Массовое содержание, %
Перхлорвиниловые	Р-4 (ГОСТ 7827—74)	Бутилацетат	12
		Ацетон	26
		Толуол	62
Нитроцеллюлозные, нитроглифталевые, эпоксидные, мочевино-меламалоформальдегидные, молотковые	№ 646 (ГОСТ 18188—72)	Бутилацетат	16
		Этилцеллюзоль	8
		Ацетон	7
		Бутиловый спирт	15
		Толуол	50
		Этиловый спирт	10
Алкидно-акриловые фенольные		Уайт-спирит	50
		Ксилол	50
Масляные эмали и битумные лаки	РС-2 (МРТУ6—10—952—70)	Уайт-спирит	70
		Ксилол	30
Меламиномочевино- и феиолформальдегидные	РКБ-1 (ТУ 6—10—994—70)	Ксилол	50
		Бутиловый спирт	50

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

белил, свинцового сурика, охры, сажи и капелек нелетучих жидких компонентов, распыляемых в воздухе при пневматическом способе окраски.

Выбор и расчет применяемых конструкций местных отсосов зависит от организации технологического процесса, методов окраски,

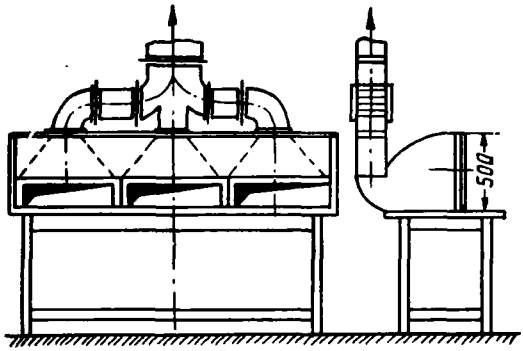


Рис. 4.20. Местный отсос при кистевой окраске

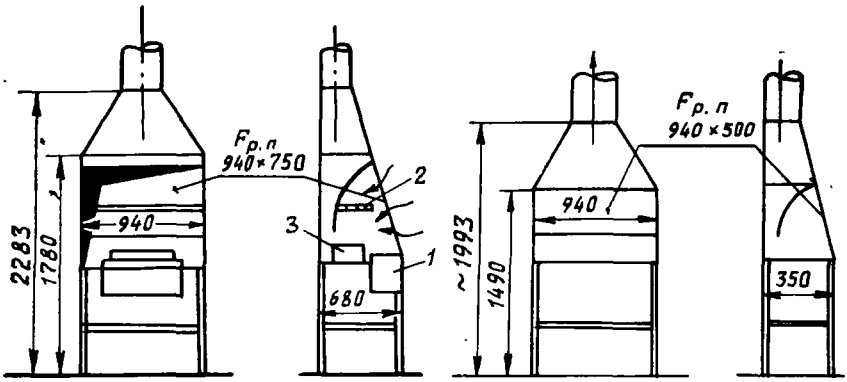


Рис. 4.21. Шкаф-камера для кистевой окраски мелких изделий:
1—место для ванны с краской; *2*—решетчатая полка для выкрашенных изделий; *3*—лоток для сбора стекающей краски

Рис. 4.22. Шкаф-камера для ручного окунания мелких изделий

состава лакокрасочных покрытий и характера окрашиваемых изделий.

Мелкие изделия окрашиваются в шкафах-камерах различной конструкции (рис. 4.20...4.23), изделия средних размеров — в камерах с боковым отсосом, которые могут быть тупиковыми и проходными с расположением рабочего места вне камеры (рис. 4.24). В тупиковых камерах предусмотрен один рабочий проем (он же транспортный), в проходных — один рабочий и два транспортных.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Окраска плоских изделий большой площади осуществляется в камерах с подъемной рабочей площадкой и перемещающимися вместе с ней щитами, ограничивающими площадь рабочего проема (рис. 4.25). Количество воздуха, удаляемого из шкафов-камер и камер с боковым отсосом, определяется по скорости всасывания воздуха через открытые проемы по формуле $L_{отс} = 3600Fv$, где F — суммарная площадь рабочих и транспортных проемов, м^2; v — средняя скорость воздуха в проемах, принимаемая в зависимости от способа окраски и состава лакокрасочных материалов по табл. 4.15 [8].

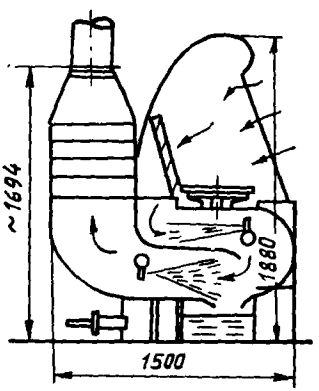


Рис. 4.23. Шкаф-камера для пневматической окраски мелких изделий с нижним гидрофильтром

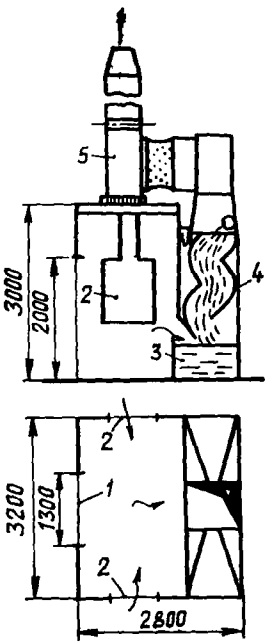


Рис. 4.24. Камера с боковым отсосом:
1—рабочий проем; *2*—транспортный проем; *3*—ванна для воды; *4*—гидрофильтр; *5*—вентилятор

Окраска крупногабаритных изделий производится в камере, внутри которой располагается и рабочий. Способы вентиляции таких камер указаны в табл. 4.16 [8], а расчетные объемы воздуха — в табл. 4.17. Воздух, удаляемый от мест окраски распылением, подвергается мокрой очистке от красочного аэрозоля в гидрофильтрах (рис. 4.26) с целью пре-

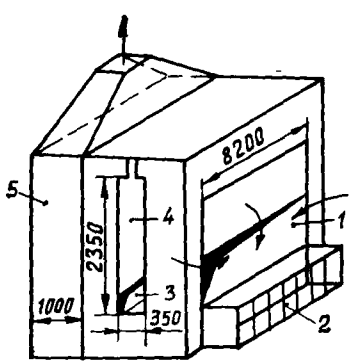


Рис. 4.25. Камера с подъемной площадкой при постоянной площади рабочего проема
1 — постоянное рабочее отверстие в передвижном щите; *2* — подъемная площадка; *3* — воздухоприемное отверстие; *4*—транспортный проем; *5* —гидрофильтр

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.15

Метод нанесения краски на изделие	Лакокрасочные материалы и способ окраски	Расчетная средняя скорость всасывания v, м/с
	Ручной	
Кистью, окунание	Содержащие ароматические углеводороды* (бензол**, толуол, ксилол, сольвент-нафта)	1,0
Кистью, окунание, облив	Не содержащие ароматические углеводороды	0,5
Пневматическое распыление	Содержащие диизоцианаты, эпоксидные, полиуретановые и акрилатные соединения	1,7
То же	Содержащие свинцовые соединения или ароматические углеводороды	1,3
	Не содержащие ароматические углеводороды и свинцовые соединения	1,0
Безвоздушное распыление	Содержащие свинцовые соединения и ароматические углеводороды	0,7
То же	Не содержащие ароматические углеводороды и свинцовые соединения диизоцианатов	0,6
Электростатическое и электроручное распыление	Различные	0,4...0,5
	Автоматизированный	
Окунание, облив, с помощью электростатической стационарной установки	Различные	0,4...0,5
Безвоздушное распыление	Содержащие свинцовые соединения	0,5
Электростатическое распыление	Не содержащие свинцовые соединения	0,4

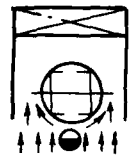
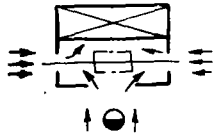
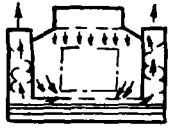
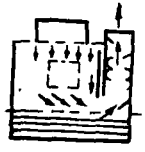
*Обладают большой летучестью. **В настоящее время запрещен.

дохранения вентиляционных воздуховодов от залипания. В них также частично задерживаются растворители.

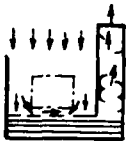
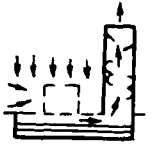
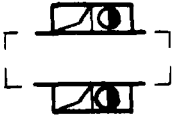
Сушка изделий, окрашенных на конвейере пульверизационным или электростатическим способом, осуществляется в проходных тупнельных сушилах с форкамерами (рис. 4.27). Скорость воздуха в проемах форкамер 0,5...0,6 м/с для уайт-спирита и 0,7...0,8 м/с для ксилола. Объем воздуха, удаляемого из укрытия конвейера, принимается из расчета 800....1200 м³/ч на 1 м длины укрытия.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.16

Схема кабины	Тип камеры	Вид загрузки изделия	Расположение рабочего	Направление воздушного потока	Вытяжка	Приток
	Тупиковая	Ручная через рабочий проем	Вне кабины	Горизонтальное (поперечное)	Вертикальная решетка за изделием	Из цеха через рабочий проем
	Проходная	Конвейерная	То же	То же	То же	Из цеха через рабочий и транспортные проемы
	Тупиковая	Тележкой	В камере с двух сторон изделия	Вертикальное	Решетки в полу под изделием и вокруг	В камеру через распределители воздуха в потолке
	Тупиковая	То же	В камере с одной стороны изделия	То же	То же	Из цеха через открытый потолок

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

	Проходная	Конвейерная	В камере с одной стороны изделия	Вертикальное	Решетки в полу под изделием и вокруг	В камеру через воздухораспределители в потолке
	Бескамерная	Мостовым краном	Вне укрытия	Вертикально-горизонтальное	То же	Из цеха
	Проходная	Конвейерная	В камере с двух сторон изделия	Горизонтально-продольное	Вертикальные решетки в торце камеры	Из цеха через двери или решетки в торце камеры
	Проходная	То же	На площадках с двух сторон изделия	Горизонтальное	Боковые решетки в вертикальных воздуховодах	Из цеха

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.17

Способ окраски	Расчетные объемы воздуха, м³/ч		Лакокрасочные материалы
	для камер с нижним отсосом на 1 м² суммарной площади горизонтальной проекции изделия и площади проходов вокруг него	для бескамерной окраски на решетках на 1 м² габаритной площади решетки	
Пневматический	1800	2200	Не содержащие свинец и ароматические углеводороды
	2200	2500	Содержащие свинец и ароматические углеводороды
Безвоздушный	1200	1350	Не содержащие свинец и ароматические углеводороды
	1500	1700	Содержащие свинец и ароматические углеводороды
Гидроэлектрический	—	900	Не содержащие свинец и ароматические углеводороды
	—	1100	Содержащие свинец и ароматические углеводороды
Пневмоэлектрический	—	900	—

Пример. Определить необходимое количество удаляемого воздуха от бескамерной установки с нижним отсосом (см. табл. 4.16). Ширина пола установки 3,4 м, длина 5,4 м. Окраска пневматическая (пульверизатором).

Р е ш е н и е. По табл. 4.17 принимаем расход воздуха на 1 м² площади пола при бескамерной окраске 2500 м³/ч. Объем отсасываемого воздуха $L_{отс} = 2500F = 2500\ (3{,}4 \times 5{,}4) = 45900$ м³/ч.

Отсосы от пылящего оборудования предназначены для ограничения зоны распространения пыли. Выделение пыли в производственных условиях происходит при дроблении, размоле, рассеве, магнитной сепарации, смешивании, транспортировке сыпучих материалов. Места пыления должны снабжаться герметизированными укрытиями в виде кожухов, коробов, воронок и оборудоваться местными отсосами, создающими разрежение в укрытиях, препятствующее выбиванию вредностей через неплотности. Такая вытяжная венти-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

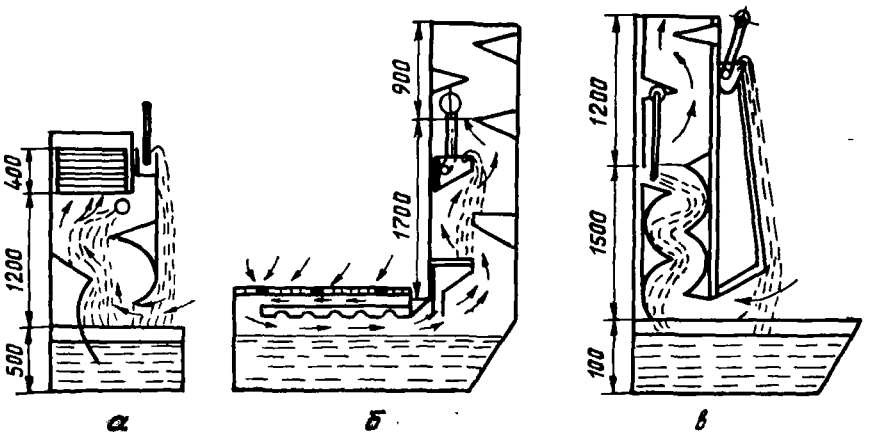


Рис. 4.26. Схемы гидрофильтров различных типов:
а—каскадный с подачей воды через перфорированные трубы; *б*—каскадный с переливом; *в*—лабиринтовый

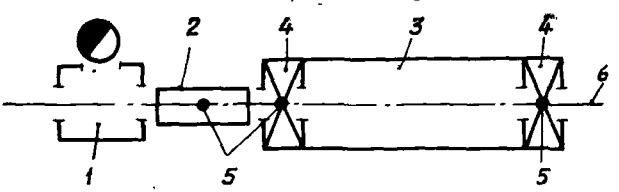


Рис. 4.27. Проходное сушило с форкамерой и укрытием конвейера:
1—окрасочная кабина; *2*—укрытие конвейера; *3*—проходное сушило; *4*—форкамера; *5*—места отсоса воздуха; *6*—ось конвейера

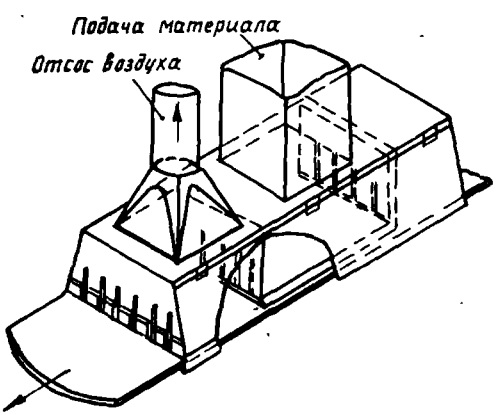


Рис. 4.28. Укрытие с отсосом от мест перепада материала

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ляция носит общее название — аспирация. Различные типы укрытий наиболее часто встречающегося технологического оборудования показаны на рис. 4.28...4.30.

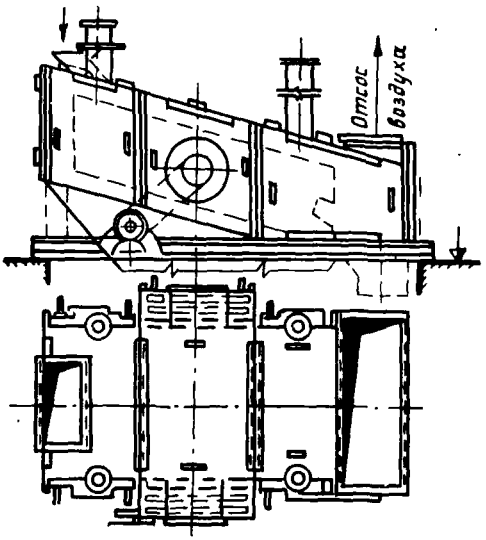
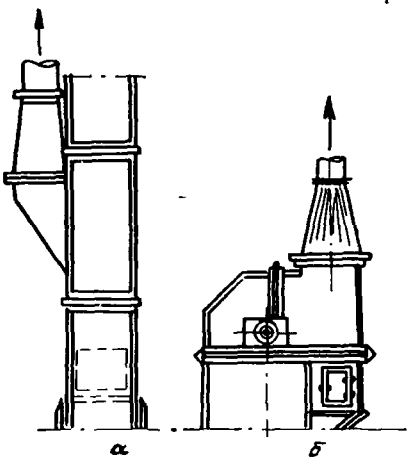


Рис. 4.29. Укрытие виброгрохота



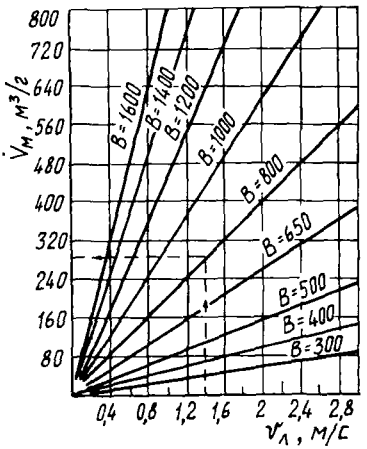


Рис. 4.30. Отсос из элеватора:
а—основание элеватора; *б*—головка элеватора

Рис. 4.31. График для определения средней производительности ленточных конвейеров: B — ширина ленты; $V_м$ — производительность желобчатой ленты, м³/ч; $v_л$ — скорость ленты, м/с

Количество воздуха, удаляемого из аспирируемого укрытия, $L_{ас} = L_м + L_{вс}$, где $L_м$ — объем воздуха, вносимого в укрытие поступающим материалом, $L_м = 0{,}04 k_y V_м v_к^2$; $L_{вс}$ — объем воздуха, проникающего из помещения через неплотности в укрытие за счет

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

разрежения, создаваемого аспирационной установкой, $L_{вс} = 3600Fv$. В приведенных формулах $k_у$ — коэффициент, зависящий от конструкции укрытия, $k_у = 3$ для укрытий технологического оборудования, загружаемого через течки, и укрытий на конвейерах; $V_м$ — количество загружаемого материала, м³/ч (по рис. 4.31); $v_к$ — скорость движения материала при входе из течки в укрытие,

$$v_к = \sqrt{19{,}62H(1 - 1{,}2k_{тр}\operatorname{ctg}\alpha)}.$$

Здесь H — высота падения материала в загрузочной течке, м; $k_{тр}$ — коэффициент трения материала о стенки течки: 0,65 — гипс; 0,8 — гравий; 0,5 — сухая земля; 0,65 — руда; 0,6 — песок; α — угол наклона загрузочной течки к горизонтали, град; F— площадь щелей укрытия, м² (табл. 4.18 [48]); v — скорость прохода воздуха через щели, м/с: $v = 1$ для бункеров, $v = 2$ для шнеков и укрытий дробильно-помольного оборудования. Более подробные сведения об объемах аспирируемого воздуха изложены в специальных указаниях СН 155-61 и серии АЗ-611 (ГПИ Сантехпроект). При ориен-

Таблица 4.18

Технологическое оборудование	Площадь неплотностей F
Щековые дробилки	35 % площади зева дробилки
Конусные дробилки	10 % квадрата номенклатурного диаметра дробилки
Помольные бегуны с вращающейся чащей	3,5 % квадрата вращающейся чаши
Вибрационные и валковые грохоты	10 % площади грохота
Смесительные бегуны	3 % квадрата диаметра чаши
Конвейеры	30 % площади поперечного сечения загрузочной течки при непроходных укрытиях
	50 % площади поперечного сечения загрузочной течки при проходных укрытиях
Бункера, загружаемые через самозакрывающиеся люки сбрасывающими тележками	10 % суммарной площади загрузочных люков

Примечание. 1. Площадь неплотностей в кожухах валковых дробилок, молотковых дробилок, дезинтеграторов, турбомельниц, шаровых мельниц и питателей в условиях их нормальной эксплуатации можно принимать равной нулю. 2. Площадь поперечного сечения течки в зависимости от ширины ленты:

Ширина ленты, мм	500	650	800	1000	1200	1400	1600
Сечение течки, мм	378× ×378	438× ×438	552× ×552	716× ×716	816× ×816	950× ×950	1000× ×1000

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.19

Оборудование	Характеристика оборудования	Вид укрытия	Объем L_{ac}, м³/ч	Место отсоса	Примечание
Элеваторы, холодный материал	$H < 10$ м, ширина ковша B = 300 мм	Сплошной металлический кожух	1200	От башмака	Из расчета 4В
	B = 400...500 мм	То же	1400...1700	То же	То же 3,5В
	B = 600...700 мм	»	1800...2100	»	» 3В
	$H > 10$ м, B < 300 мм	»	1100	От башмака	» 3,5В
		»	500	От головки	» 1,5В
	B = 400...500 мм	»	1200...1500	То же	» 3В
			600...800	»	» 1,5В
	B = 600...700 мм	»	1700...2000	»	2,8В
			800...1000	»	1,4В
Элеваторы, горячий материал	$H < 10$ м, B < 300 мм	»	600	»	» 2В
			900	»	» 3В
	B = 400...500 мм	»	800...1000	»	» 2В
			1000...1200	»	» 2,5В
	B = 600...700 мм	»	1100...1300	»	» 1,8В
			1300...1500	»	» 2,2В
	$H > 10$ м	»	700	»	» 2,5В
	B < 300 мм	»	1000	»	» 3,5В
	B = 400...500 мм	»	1000...1200	»	» 2,5В
			1200...1500	»	» 3В
	B = 600...700 мм	»	1300...1500	От башмака	» 2,2В
			1500...1700	От головки	» 2,5В
Шнеки обычного уплотнения	$d \leqslant 200$ мм	Сплошной разъемный кожух	300	От перепада	У перепада — емкое укрытие с отсосом
			40	По длине на 1 м	
То же	$d = 300$ мм	То же	400	То же	То же
			50	»	»
	$d = 400$ мм	» »	500	»	»
			60	»	»

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

	$d = 500$ мм		600		
			70		
Шнеки герметичные	$d = 200$ мм	Сплошной кожух	30	По длине на 1 м	
То же	$d = 300$ мм	То же	40	То же	
			По расчету		
Транспортеры, полностью укрытые (реверсивные, передвижные и др.)	Ширина ленты $B = 500$ мм	Укрытие со съемными стальными шторами	300...400	От перепада По длине на 1 м	У перепада — укрытие с боковыми вентилируемыми камерами (типа СИОТ)
	$B = 600...800$ мм	То же	400...500	То же	То же
	$B = 1000...1200$ мм	»	500...600	»	»
Автовесы	—	Сплошной кожух	500...800	От верха кожуха	Малые
			1000...1500		Большие
Бегуны смешивающие или помольные	Диаметр чаши $Д$ до 1200 мм	Сплошной кожух с проемом	2000...2500	От верха кожуха	—
	до 1500 мм	То же	2500...3000	То же	—
	до 2000 мм	»	3000...4000	»	—
Магнитный сепаратор	—	Сплошной кожух	800...1200	»	Объем кожуха до 2 м³
			1500...2000	»	более 2 м³
Плоские грохоты (качающиеся и вибрационные)	Площадь до 2 м²	Сплошное укрытие	2000 на 1 м² площади грохота	От верха укрытия	Площадь неплотностей 12...15 % площади грохота
То же	Площадь свыше 2 м²	То же	1500...1800 на 1 м² площади грохота	То же	То же 10 % площади грохота
	—	Кожух со шторками	2000...3500 на 1 м² площади грохота	»	В зависимости от уплотнения
Грохот барабанный	—	Сплошной кожух	(3,5...4,0) d	—	d — диаметр грохота
Дезинтегратор	—	Кожух	600...900	От загрузочной течки или башмака элеватора	Дополнительно к отсосу от элеватора

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

Окончание табл. 4.19

Оборудование	Характеристика оборудования	Вид укрытия	Объем L_{ac}, м³/ч	Место отсоса	Примечание
Питатель пластинчатый	—	Кожух	1200...1600	От верха кожуха	—
То же	—	То же	800...1000	То же	—
То же ленточный	—	»	1200...1600	»	—
Скребковый транспортер	—	»	1000...2500	От перепада	У перепада — емкое укрытие
Мешалки (смесители)	—	Сплошной кожух без проемов	400...600	По длине на 1 м	На одну мешалку
			500...800	От кожуха, сверху	
Трубчатые мельницы	—	Укрытие мест загрузки и разгрузки	1500	Через полую ось от мест загрузки и разгрузки	—
			300...600 объемов барабана		
Шаровые мельницы малые	—	Сплошное укрытие	800...1200	От кожуха сверху	—
То же большие	—	То же	1500...2500	То же	—
Скиповые подъемники большие	—	Укрытие скиповой ямы и места разгрузки	2500...5000	Низ	—
			1500...3000	Верх	
То же малые	—	Сплошной кожух	2000...4000	От кожуха снизу и сверху	—
Бункера, загружаемые элеватором	—	—	500	От перекрытия бункера	$B \leqslant 300$ мм
			800		$B = 400...500$ мм
			1200		$B = 600...700$ мм
То же шнеками	—	—	500	То же	$d = 200...300$ мм
			800		$d = 400...500$ мм
То же конвейерами. Ширина ленты 500 мм	—	—	900...1200	»	Загрузка плужковыми сбрасывателями
То же ширина ленты до 800 мм	—	—	2000...2500	»	То же

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

То же, ширина ленты до 1000 мм	—	» — »	3000...3500	»	»
Очистные барабаны	—	—	1800 d^2	Через полую ось барабана	d — диаметр барабана в м
Дробеструйные и пескоструйные камеры	—	Сплошное укрытие	1800 на 1 м² горизонтальной проекции камеры	Сверху укрытия	—
Щековые дробилки производительностью до 30 т/ч	Объем укрытия, м³: 0,25 0,5 1,0	Полное укрытие загрузочного отверстия	500 800 1100	То же » »	— —
Валковые дробилки производительностью до 10 т/ч	Объем укрытия, м³: 0,25 1,0 4,0	То же » »	750 1000 1200	» » »	— — —
Дробилки разные	—	При открытом загрузочном отверстии — бортовой отсос у отверстия	7000 на 1 м² площади загрузочной воронки	—	—
Сито вибрационное производительностью до 1,5 т/ч	—	Полное укрытие кожухом	1500 на 1 м² сита	Сверху кожуха	—
Сито качающееся производительностью до 1,5 т/ч	—	Отсос типа «Улитка»	1500 на 1 м² сита	—	—
Сито цилиндрическое полигональное	Диаметр сита, мм: до 700 750...1200 1200...1500 1500...1800 1800	Полное укрытие кожухом	2500 3500 5000 7000 8500	Сверху укрытия	На одно сито

Примечания. 1. При наличии силикозной, асбестовой и токсической пыли объем воздуха, удаляемый от аспирируемого укрытия, следует принимать с коэффициентом β: для пылей с допустимой концентрацией 3...5 мг/м³ $\beta = 1{,}2$; при 1...2 мг/м³ $\beta = 1{,}3$; для токсических пылей с допустимой концентрацией до 0,3 мг/м³ $\beta = 1{,}4$; ниже 0,3 мг/м³ $\beta = 1{,}5...1{,}6$.

2. При тщательной герметизации кожухов элеваторов и уплотнении течек объем воздуха следует принимать с коэффициентом 0,8.

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

тировочных расчетах следует пользоваться табл. 4.19 [14], где даны рекомендуемые объемы воздуха, удаляемого аспирацией от пылящего оборудования (для нейтральной пыли).

Пример. *Определить количество воздуха, которое надо удалить от укрытия конвейера с шириной ленты* $B = 800$ мм, на который подается песок из бункера через загрузочную течку, установленную под углом $\alpha = 90°$ к горизонту. Высота падения материала $H = 2{,}5$ м, скорость движения ленты 1,4 м/с.

Р е ш е н и е. По скорости движения и ширине ленты согласно рис. 4.31 находим количество загружаемого материала $V_м = 285$ м³/ч. Коэффициент трения песка о стенки течки $k_{тр} = 0{,}6$, площадь неплотностей (табл. 4.18) $F = 0{,}3\ (0{,}552 \cdot 0{,}552) = 0{,}09$ м²; $k_у = 3$.

1. Скорость падения материала при $ctg\ 90^c = 0$

$$v_к = \sqrt{19{,}62H\,(1 - 1{,}2k_{тр}0)} = \sqrt{19{,}62 \cdot 2{,}5\,(1 - 1{,}2 \cdot 0{,}6 \cdot 0)} = 7 \text{ м/с}.$$

2. Объем воздуха, вносимого в укрытие поступающим материалом,

$$L_м = 0{,}04V_м k_у v_к^2 = 0{,}04 \cdot 285 \cdot 3 \cdot 7^2 \approx 1676 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Объем воздуха, проникающего в укрытие через неплотности при скорости прососа $v = 1{,}3$ м/с, $L_{вс} = 3600\,Fv = 3600 \cdot 0{,}09 \cdot 1{,}3 = 421$ м³/ч.

4. *Общее количество аспирируемого воздуха*

$$L_{ас} = L_м + L_{вс} = 1676 + 421 \approx 2100 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Объем воздуха, отсасываемого от кожухов заточных, шлифовальных и других станков с сухими кругами, определяют по таким формулам. Для станков с любыми кругами $L_{отс1} = 3600Fv_о$, где F — площадь живого сечения отверстия кожуха, м²; $v_о$ — скорость в воздухоприемном отверстии, м/с; $v_о = 0{,}25v_{о.с}$ — при направлении пылевого факела непосредственно в отверстие кожуха; $v_о = (0{,}3...0{,}4)\,v_{о.с}$ — то же параллельно плоскости всасывающего отверстия кожуха; $v_{о.с}$ — максимальная окружная скорость вращения круга, м/с,

$$v_{о.с} = \frac{\pi d_{кр} n}{60},$$

где n — частота вращения круга, об/мин; $d_{кр}$ — диаметр круга, мм.

Для заточных и шлифовальных станков с абразивными кругами (рис. 4.32)

$$L_{отс2} = 2d_{кр},\ d_{кр} < 250 \text{ мм};\ L_{отс2} = 1{,}8d_{кр},\ d_{кр} = 250...600 \text{ мм};$$
$$L_{отс2} = 1{,}6d_{кр},\ d_{кр} > 600 \text{ мм}.$$

Для полировальных станков с войлочными кругами (рис. 4.33) $L_{отс3} = 4d_{кр}$, с матерчатыми кругами (рис. 4.34) $L_{отс4} = 6d_{кр}$, с абразивными кругами $L_{отс}$ определяется по рис. 4.35.

При диаметре круга более 400 мм количество воздуха, определяемое по рис. 4.35, возрастает на каждые 10 мм увеличения ширины круга в таких размерах: $d_{кр} = 200...300$ мм — на 6 %; $d_{кр} = 300...400$ мм — на 5 %; $d_{кр} = 600$ и более — на 4 %. При частоте вращения круга $n > 1450$ об/мин полученное по графику коли-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

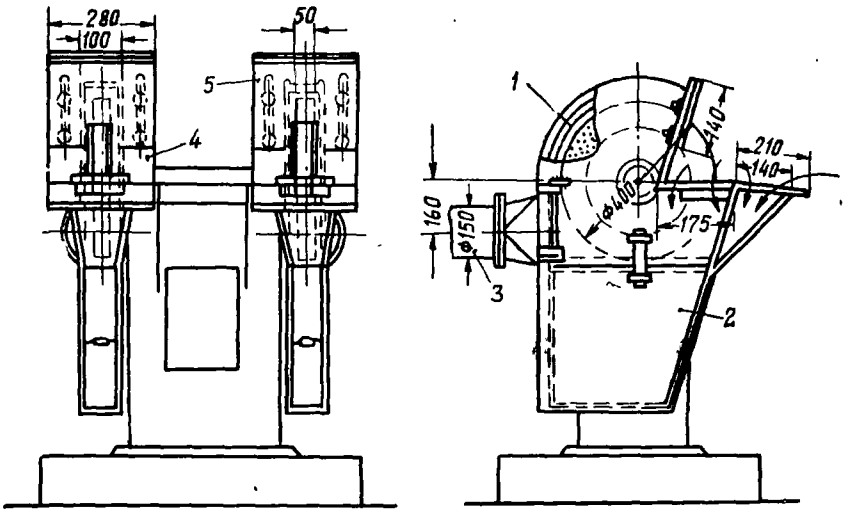


Рис. 4.32. Пылеприемник для заточных станков:

1—кожух; *2*—бункер первой ступени очистки; *3*—отсасывающий патрубок; *4*—неподвижный щиток; *5*—регулирующий щиток

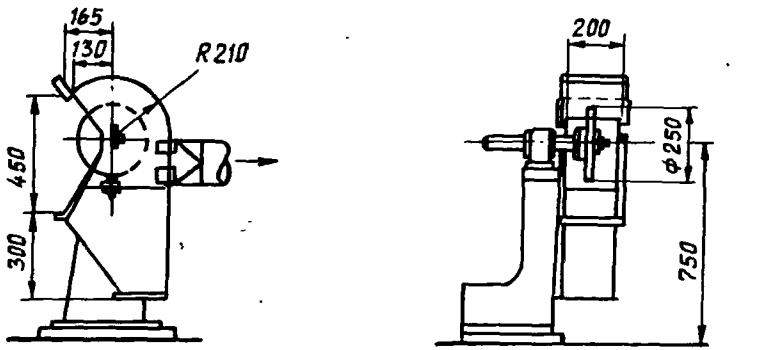


Рис. 4.33. Обеспыливающий кожух для войлочного полировального круга

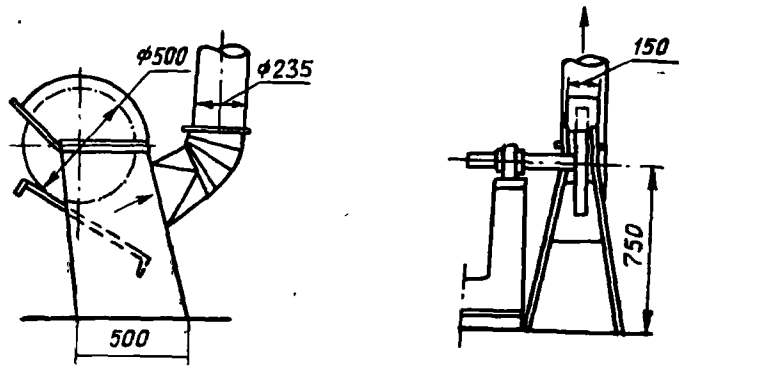


Рис. 4.34. Обеспыливающий кожух для матерчатого полировального круга

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

чество отсасываемого воздуха следует увеличить в $n/1450$ раз. В расчет принимается большее из значений $L_{отс1}$ или $L_{отс2}$, $L_{отс1}$ или $L_{отс3}$, $L_{отс1}$ или $L_{отс4}$.

Отсасывающие воронки устанавливаются на станках в тех случаях, когда невозможно применить кожухи. Они могут быть квадратного, прямоугольного и круглого сечений. Количество воздуха, удаляемого воронками,

$$L_{отс} = 3600\, v_н x^2 \left(\frac{k}{\frac{v_н}{v_к} - 1}\right)^{1/4},$$

где $v_н$ — необходимая начальная скорость вытяжного факела, равная скорости транспортирования отходов в воздуховоде, м/с: $v_н = 14...16$ — для тяжелой наждачной минеральной пыли, $v_н = 10...12$ — для легкой минеральной пыли; $v_к$ — необходимая конечная скорость вытяжного факела у круга, $v_к = 2$ м/с; x — рабочая

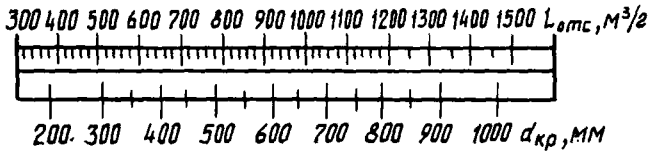


Рис. 4.35. Определения количества отсасываемого воздуха от полировальных станков с абразивными кругами

длина вытяжного факела — расстояние от края круга до всасывающего отверстия воронки, м; k — коэффициент, зависящий от формы и отношения размеров воронки: $k = 7{,}7$ — для круглого отверстия, $k = 9{,}1$ — для прямоугольного с соотношением сторон от 1 : 1 до 1 : 3.

Пример. Определить количество отсасываемого квадратной воронкой запыленного воздуха от заточного станка. Пыль тяжелая, наждачная, минеральная.

Решение. Принимаем $v_н = 16$ м/с; $x = 0{,}1$ м; $k = 9{,}1$; $v_к = 2$ м/с. Объем отсасываемого воздуха

$$L_{отс} = 3600 v_н x^2 \left(\frac{k}{\frac{v_н}{v_к} - 1}\right)^{1/4} = 3600 \cdot 16 \cdot 0{,}1^2 \left(\frac{9{,}1}{\frac{16}{2} - 1}\right)^{1/4} = 630 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Площадь сечения воронки $f = \frac{L_{отс}}{3600 v_н} = \frac{630}{3600 \cdot 16} = 0{,}011$ м². Принимаем размеры сечения 105 × 105 мм.

Количество воздуха, удаляемого через круглые отсосы-воронки, зависит от расстояния между приемным отверстием отсоса и передним краем круга x. Определяется согласно рис. 4.36.

Отсос от деревообрабатывающих станков, выделяющих при работе древесную пыль, опилки, стружки, осуществляется пылеприемниками, встроенными в станки. Конструкции, количество и места

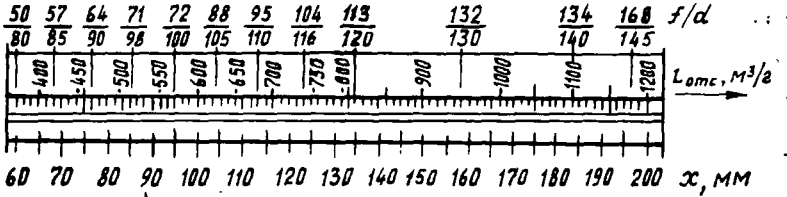
Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.20

Название и марка стакка	Отходы	$v_{макс}$, м/с при влажности материала		$L^{мин}_{отс}$, м³/ч		Коэффициент местного сопротивления отсоса ξ
		< 20 %	> 20 %	От одного приемника	Всего	
Круглопильный с автоподачей для продольной распиловки ЦА-2Н:	Опилки					
сверху		15	16	600	1440	0,8
снизу		15	16	840		1,0
Круглопильный универсальный Ц-2Д-5А, Ц-6:						
сверху		16	17	1190	1910	0,8
снизу		15	16	720		
Торцовочный ЦМЭ-2М		15	16	865	865	1,0
Ленточнопильный столярный ЛС-80-1		15	16	1330	1330	1,0
Фуговальный СФ-3-3	Стружка	17	18	972	972	1,0
То же, СФА-4		17	18	1110	1110	1,0
То же, СФ-6		18	19	1295	1295	1,0
Фуговальный двусторонний:						
от ножевого вала		17	18	1115	2015	1,0
от вертикальной головки		17	18	900		0,8
Рейсмусовый односторонний СР3-6		17	18	972	972	1,0
То же, СР6-7		18	19	1295	1295	1,0
То же, СР-12-12		18	19	2520	2520	1,0
Рейсмусовый двусторонний С2Р8-2:						
снизу		18	19	1800	3600	1,0
сверху		18	19	1800		1,0
Фрезерный одношпиндельный ФЛ		17	18	900	900	0,8
Шипорезный ящичный ШПа-40		17	18	1080	1080	1,0
Шипорезный рамный ШО-6:						
от торцовой пилы		14	15	720	4177	1,0
от шипорезной головки		18	19	1225		1,0
от надсечных головок		16	17	792		0,8
от проушечного диска		17	18	1440		0,8
Шлифовальный ленточный с подвижным столом ШЛПС-Л:	Пыль					
верхний отсос		14	—	900	2195	1,0
головной отсос		14	—	1295		
Шлифовальный дисковый с бобиной ШЛДБ-5:						
нижний от диска		14	—	720	2702	1,2
боковой от диска		14	—	972		1,0
от бобины		14	—	1010		1,0
Напольный отсос		18	19	1100	1100	1,0

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тановки приемников (местных отсосов) зависят от назначения, тройства станка и особенностей технологии обработки материа-



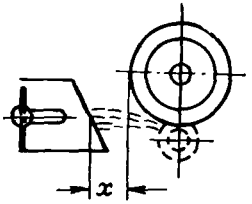


Рис. 4.36. Определение количества отсасываемого воздуха через круглые воронки (x—расстояние от воронки до ближайшего к ней края круга, мм; $L_{отс}$— количество удаляемого воздуха, м³/ч; d — диаметр воронки, мм; f—площадь поперечного сечения воронки, м²)

лов на нем. Объем удаляемого воздуха обычно определяется экспериментальным путем и приводится в справочниках [17; 19], для некоторых станков эти данные представлены в табл. 4.20 [8].

4.6. ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМИ ВЫБРОСАМИ

Согласно СНиП 2.04.05—86 [42] о нормативах по защите атмосферы от загрязнений, предельно допустимые выбросы вредностей (ПДВ) от систем местной и общеобменной вытяжной вентиляции не должны превышать максимальную разовую предельно допустимую концентрацию ($ПДК_н$) данного вещества в приземном слое атмосферы населенных пунктов, установленную Минздравом СССР; для зон санитарной охраны курортов, в местах размещения крупных санаториев, а также зон отдыха городов — 0,8 $ПДК_н$. Допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом в атмосферу, $z_{доп}$ в зависимости от ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения $z_{р.в}$ приведено в табл. 4.21.

Таблица 4.21

ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения $z_{р.з}$, мг/м³	до 2	от 2 до 4	от 4 до 6	более 6
$z_{доп}$, мг/м³	30	60	80	100

Очистка воздуха от пыли осуществляется в пылеуловителях и фильтрах различной конструкции. Для выбора пылеочистного устройства необходимо знать дисперсный состав пыли, ее физико-химические свойства, объем очищаемого воздуха, начальную концентрацию пыли, эффективность очистки пылеуловителя [18].

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример. Подобрать циклон для очистки воздуха от пыли горелой земли. Объем воздуха, отсасываемого от места пересыпки с ленты на ленту, $L = 3000$ м³/ч при начальной запыленности $z_н = 1000$ мг/м³. ПДК пыли в воздухе рабочей зоны помещения $z_{р.з} = 10$ мг/м³.

Р е ш е н и е. Пользуясь графиком [19], выбираем одиночный циклон ЦН-11, $d = 630$ мм, $p = 1100$ Па. Дисперсный состав пыли приведен в табл. 4.22 [18]. Общая эффективность очистки

$$\eta_{общ} = \frac{3{,}4 \cdot 55 + 4 \cdot 87 + 17{,}4 \cdot 98 + 21{,}8 \cdot 98{,}5 + 8{,}4 \cdot 99{,}2 + 45 \cdot 99{,}4}{100} = 97\ \%.$$

Таблица 4.22

Размер пылинок, мм	Дисперсный состав пыли, % по массе	Фракционная эффективность пылезадержания, % в циклоне НИИОГАЗ
Менее 5	3,4	55
5...10	4	87
10...20	17,4	98
20...40	21,8	98,5
40...60	8,4	99,2
Более 60	45	99,4

Концентрация пыли после циклона $z_к = z_н - z_н \cdot \eta_{общ} = 1000 - 1000 \cdot 0{,}97 = 30$ мг/м³, при допустимой концентрации, выбрасываемой в атмосферу (табл. 4.21), $z_{доп} = 100$ мг/м³.

Расчет рассеивания вредных веществ в атмосфере производится по методике [30] или по одной из приведенных в справочнике [19]. Согласно ГОСТ [27] для каждого источника загрязнения необходимо определять значения ПДВ или временно согласованные выбросы (ВСВ) вредных веществ.

Источники выбросов классифицированы таким образом: точечные (трубы, через которые удаляются промышленные выбросы, выбросные шахты вытяжных вентиляционных систем, газоотводные трубы от аппаратов); линейные (аэрационные фонари, близко расположенные вытяжные трубы или шахты в кровле здания, открытые световые проемы, через которые удаляются вредные вещества и другие неорганизованные источники, имеющие значительную длину); высокие ($H \geqslant 50$ м, где H — высота устья источника выброса вредного вещества над уровнем земной поверхности) — не загрязняющие циркуляционные (плохо проветриваемые) зоны над зданием и за ним; средней высоты ($H = 10$ ...50 м); низкие ($H = 2$...10 м), от которых вредные вещества распространяются стелющимся потоком вблизи земной поверхности, загрязняя циркуляционные зоны; наземные ($H < 2$ м) [30].

Суммарная концентрация вредных веществ в приземном двухметровом слое над поверхностью земли не должна превышать ПДКр для атмосферного воздуха населенных пунктов, указанных в работе [40], и 0,3 ПДК вредных веществ, установленных для воздуха ра-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

бочей зоны производственных помещений [26], подаваемого механической вентиляцией и поступающего через открытые окна, фрамуги, отверстия.

Для уменьшения загрязнения воздуха на промышленной площадке следует выполнить такие мероприятия: удалить вентиляционные выбросы за пределы зон подпора и аэродинамической тени; обеспечить большие скорости выброса (25—40 м/с), что помимо увеличения высоты подъема повысит турбулентность струи, интенсифицирует процесс рассеивания вредностей; не устанавливать на трубах, удаляющих загрязненный воздух, зонты, которые гасят скорость на выходе и направляют загрязняющие вещества вниз.

4.7. РАСЧЕТ ВОЗДУШНОГО ДУШИРОВАНИЯ

Душирование рабочих мест осуществляется в соответствии со СНиП [42] в зависимости от поверхностной плотности лучистого теплового потока $q_{р.м}$ внутренним (с применением аэраторов) или наружным воздухом. Если $q_{р.м} = 175....350$ Вт/м^2 и площадь излучающих поверхностей в пределах рабочего места превышает 0,2 м^2, применяется внутренний воздух. При этом температура и скорость движения воздуха на рабочем месте должна соответствовать данным табл. 1.8 с повышением скорости на 0,2 м/с.

При поверхностной плотности лучистого теплового потока 350 Вт/м^2 и более используется наружный воздух. Температура и скорость движения воздуха на рабочем месте определяются по табл. 4.23 [40], поверхностная плотность лучистого теплового потока — по табл. 4.24 [19; 35].

Расстояние x от душирующего патрубка до рабочего места не должно быть меньшим 1 м. При борьбе с воздействием лучистой теплоты воздушный поток направляется на грудь человека горизонтально или сверху под углом $\alpha = 45°$, при борьбе с газами и пылью — в зону дыхания. Последовательность расчета и выбор формул зависят от способа охлаждения душирующего воздуха [33].

При адиабатическом охлаждении ($t_{р.м} > t_о$) определяется площадь душирующего патрубка:

при тепловыделениях $$F_о = \left[\frac{(t_{р.з} - t_{р.м})\,x}{(t_{р.з} - t_о)\,n}\right]^2;$$

при газо- и пылевыделениях $$F_0 = \left[\frac{(k_{р.з} - k_{пдк})\,x}{(k_{р\ з} - k_о)\,n}\right]^2.$$

Здесь $t_{р.з}$ — температура воздуха в рабочей зоне (табл. 1.8), $t_{р.м}$ — температура воздуха на рабочем месте (табл. 4.23), °С; $t_о$ — температура воздуха на выходе из душирующего патрубка, $t_о = t_{ф.к} + \Delta t$; $t_{ф.к}$ — температура воздуха на выходе из форсуночной камеры, °С; Δt — нагрев воздуха в вентиляторе и воздуховодах между форсуночной камерой и душирующим патрубком, °С; n — коэффициент, характеризующий изменение температуры по оси струи

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.23

Период года	Категория работы	Температура, °С (числитель) и скорость, м/с (знаменатель) при поверхностной плотности лучистого теплового потока, Вт/м²				
		350...700	700...1400	1400...2100	2100...2800	> 2800
Теплый	Легкая	22...24 / 0,5...1	21—23 / 0,7—1,5	20—22 / 1—2	19—22 / 2—3	19—20 / 2,5—3,5
	Средней тяжести	21...23 / 0,7...1,5	20—22 / 1,5—2	19—21 / 1,5—2,5	18—21 / 2—3,5	18—19 / 3—3,5
	Тяжелая	20...22 / 1...2	19—21 / 1,5—2,5	18—20 / 2—3	18—19 / 3—3,5	18—19 / 3—3,5
Холодный и переходные условия	Легкая	20...23 / 0,5...0,7	21—22 / 0,5—1	20—21 / 1—1,5	19—21 / 1,5—2	19—22 / 1,5—2
	Средней тяжести	21...22 / 0,7...1	20—21 / 1—1,5	19—20 / 1,5—2	19—21 / 2—2,5	19—21 / 2—2,5
	Тяжелая	20...21 / 1...1,5	19—20 / 1,5—2	18—19 / 2,0—2,5	18—19 / 2,5—3	18—19 / 2,5—3

Таблица 4.24

Оборудование	Поверхностная плотность лучистого теплового потока $q_{р.м}$, Вт/м²
Нагревательные печи, прессы, молоты, ванны электродно-соляные, агрегаты для закалки и цианирования изделий, колодцы для охлаждения изделий	1400...2100
Шахтные цементационные электропечи, печи-ванны с электродно-соляным подогревом ($t = 1280$ °С), тигельные печи-ванны с газовым подогревом, шахтные газовые печи, агрегаты для отпуска изделий, столы для напайки твердых сплавов, места складирования изделий после прессования	700...1400
Масляные закалочные ванны, шахтные отпускные электропечи, камерные газовые печи с выдвижным подом, селитровые и щелочные ванны с газовым подогревом, места складирования изделий после отковки	350...700

Примечания. 1. Поверхностная плотность лучистого теплового потока на рабочих местах приведена при условии закрытых заслонок у нагревательных печей. При открытых заслонках она увеличивается примерно в 3 раза.

2. На всех видах оборудования принята тяжелая категория работ.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

(табл. 5.11); $k_{р.з}$, $k_{пдк}$, $k_о$ — концентрации вредных веществ соответственно в рабочей зоне, предельно-допустимая, в душирующем воздухе, мг/м³.

Находится скорость воздуха на выходе из душирующего патрубка $v = v_{р.м} \cdot x/m\sqrt{F_0}$, где $v_{р.м}$ — скорость воздуха на рабочем месте, м/с (табл. 4.23); m — коэффициент, характеризующий изменение скорости по оси струи (табл. 5.11).

Рассчитывается количество воздуха на один душирующий патрубок по формуле $L_о = 3600F_о v_о$.

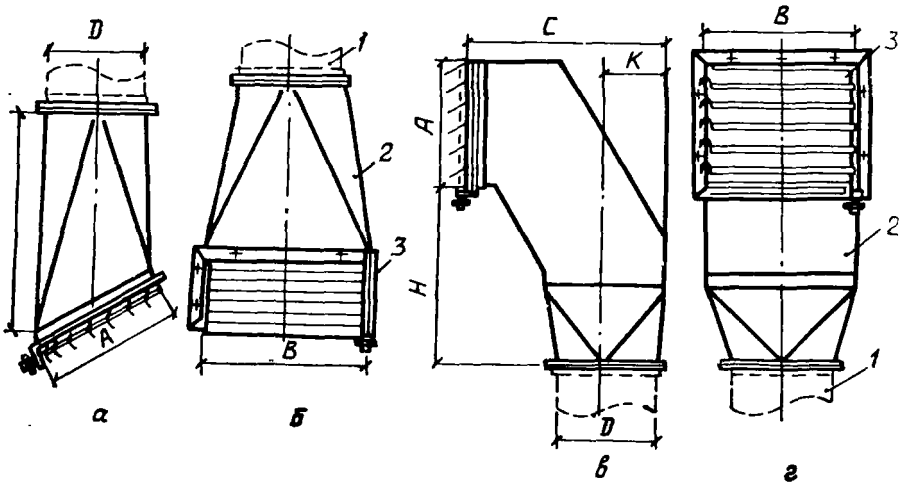


Рис. 4.37. Душирующие патрубки:

а—с верхним подводом воздухв типа ПДв; *б*—с нижним подводом воздуха типа ПДн (*1*—воздуховод, *2*—корпус, *3*—направляющая решетка)

При искусственном (политропном) охлаждении ($t_{р.м} < t_о$) используются такие расчетные формулы: $F_о = (x/n)^2$; $v_о = v_{р.м}$; $t_о = t_{р.м}$; $L_о = 3600F_о v_о$.

Для заданной конструкции душирующего патрубка, т. е. когда известны m, n, $F_о$, x, величины $v_о$, $\Delta t_о$ зависят от следующих условий:

$$x < m\sqrt{F_о},\ v_о = v_{р.м};$$

$$x < n\sqrt{F_о},\ t_о = t_{р.м};$$

$$x > m\sqrt{F_о},\ v_о = v_{р.м}x/m\sqrt{F_о};$$

$$x > n\sqrt{F_о},\ t_о = t_{р.з} - \frac{(t_{р.з} - t_о)x}{n\sqrt{F_о}}.$$

Конструкции душирующих патрубков приведены на рис. 4.37, конструктивные размеры — в табл. 4.25 [19].

Пример. Рассчитать воздушное душирование рабочего у шахтной газовой печи. Категория работ — тяжелая. Поверхностная плотность лучистого теплового потока $q_{р.м}$ = 930 Вт/м² (табл. 4.24). Температура воздуха в ра-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 4.25

Модель	Д	А	В	Н	С	К	Площадь живого сечения, м²	Масса, кг
	мм							
ПДв-3	315	330	440	760	—	—	0,14	20,7
ПДв-4	400	440	660	960	—	—	0,23	30
ПДв-5	500	550	700	1200	—	—	0,36	42,7
ПДн-3	315	330	440	565	553	150	0,14	24,3
ПДн-4	400	440	560	780	689	190	0,23	35,1
ПДн-5	500	550	700	900	831	240	0,36	52,1

бочей зоне $t_{р.з} = t_н^А + 5 = 20{,}3 + 5 = 25{,}5$ °С (г. Рига, $t_н^А = 20{,}3$ °С, $I = 47{,}3$ кДж/кг). Согласно табл. 4.23 средняя температура $t_{р.м} = 20$ °С, подвижность воздуха на рабочем месте $v_{р.м} = 2$ м/с. Расстояние от душирующего патрубка до рабочего $x = 2$ м.

Р е ш е н и е. Поскольку $q_{р.м} > 350$ Вт/м², душирование осуществляется наружным воздухом. При адиабатическом процессе охлаждения на выходе из форсуночной камеры температура воздуха $t_{ф.к} = 17$ °С, а на выходе из душирующего патрубка $t_о = t_{ф.к} + \Delta t = 17 + 1{,}5 = 18{,}5$ °С. Предварительно принимаем душирующий патрубок ПДв-3 с углом наклона лопаток $\alpha = 45$ °С, для которого по табл. 5.11 находим $n = 3{,}5$, $m = 5{,}1$. Определяем площадь живого сечения патрубка

$$F_о = \left[\frac{(t_{р.з} - t_{р.м})x}{(t_{р.з} - t_о)n}\right]^2 = \left[\frac{(25{,}5 - 20)2}{(25{,}5 - 18{,}5)3{,}5}\right]^2 \approx 0{,}20 \text{ м}^2,$$

табличное значение $F_о^т = 0{,}14$ м². Находим скорость воздуха на выходе из патрубка

$$v_о = v_{р.м}x/m\sqrt{F_о^т} = 2 \cdot 2/5{,}1\sqrt{0{,}14} = 2{,}1 \text{ м/с}.$$

Устанавливаем расход воздуха, подаваемого душирующим патрубком $L_о = 3600F_о^т v_о = 3600 \cdot 0{,}14 \cdot 2{,}1 \approx 1000$ м³/ч. В холодный период года и в переходных условиях температура и скорость движения воздуха на рабочем месте должны быть в таких пределах: $t_{р.м} = 19...20$ °С; $v_{р.м} = 1{,}5...2$ м/с, $t_{р.з} = 13...19$ °С (см. табл. 4.23). Оставляя неизменной производительность вентилятора, а следовательно, и $L_о$, $v_о$, принятые для теплого периода, определим температуру воздуха на выходе из душирующего патрубка при $t_{р.з}^{ср} = 16$ °С и $t_{р.м} = 20$ °С, используя формулу

$$F_о = \left[\frac{(t_{р.з} - t_{р.м})x}{(t_{р.з} - t_о)n}\right]^2; \quad 0{,}14 = \left[\frac{(16 - 20) \cdot 2}{(16 - t_о)3{,}5}\right]^2, \text{ откуда } t_о = 22 \text{ °С}.$$

Работа форсуночной камеры в холодный период года и в переходных условиях отключается. Нагрев подаваемого воздуха осуществляется в калорифере до температуры $t_к = 22 - 1{,}5 = 20{,}5$ °С.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4.8. РЕГЕНЕРАЦИЯ ТЕПЛОТЫ В ВЕНТИЛЯЦИИ

Среди энергопотребляющих отраслей отопительно-вентиляционная техника занимает одно из первых мест, поэтому в решении проблемы рационального использования энергоресурсов, утилизация теплоты воздуха, удаляемого системами общеобменной, местной и технологической вентиляций, приобретает особо важное значение. В качестве утилизаторов теплоты в этих системах могут использоваться теплообменные аппараты различных типов: регенеративные, где теплообменная поверхность попеременно контактирует с охлаждаемой и нагреваемой средами; рекуперативные, где теплообмен между теплообменивающимися потоками происходит через стенки; утилизаторы контактного типа с промежуточным теплоносителем.

Целесообразность использования теплоты удаляемого воздуха или газовоздушных смесей должна быть подтверждена технико-экономическим расчетом [32]. При проектировании систем утилизации теплоты необходимо учитывать требования СНиП [42], согласно которым для нагрева приточного воздуха в теплообменниках без промежуточного теплоносителя не допускается использовать воздух общеобменной вытяжной вентиляции, удаляемый из помещений с производствами категорий А и Б, и воздух местной вытяжной вентиляции, содержащий взрывоопасные или легковоспламеняющиеся вещества, горючие газы или пары. Запрещается также использовать воздух, содержащий осаждающиеся либо конденсирующиеся на теплообменных поверхностях утилизаторов вредные вещества 1 и 2 класса опасности, а также воздух с болезнетворными бактериями, вирусами, грибками или с резко выраженным неприятным запахом. Использование теплоты удаляемого воздуха не должно сопровождаться загрязнением приточного воздуха вредными веществами (с учетом содержания их в наружном воздухе), превышающим 30 % ПДК по ГОСТ 12.1.005—76 [26]. Теплоутилизаторы с промежуточным теплоносителем, в которых в качестве теплообменников используются воздухонагреватели (калориферы), допускается применять без ограничений, поскольку в них обеспечивается полная изоляция потоков теплообменивающихся сред, что исключает загрязнение приточного воздуха вредными примесями, содержащимися в удаляемом воздухе. В качестве промежуточных теплоносителей применяются вещества, которые не оказывают разрушающего действия на трубопроводы и оборудование, не являются ядовитыми, пожаро- и взрывоопасными, хорошо транспортируются насосами. К таким веществам относятся незамерзающие растворы солей и геликолей, а также вода. На рис. 4.38 показана одна из возможных схем утилизации теплоты отходящих газов. Установка работает следующим образом. Прорывающиеся через рабочие проемы нагревательных печей газы вместе с подсасываемым из помещения воздухом поступают в установленные над ними зонты-козырьки *1*, затем по воздуховоду подаются в теплообменник (калорифер) *2*, в котором через

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

промежуточный теплоноситель (вода) отдают часть теплоты приточному воздуху, после чего вытяжным вентилятором *3* выбрасываются наружу. Приточный воздух, забираемый через оголовок *4* из помещения на уровне рабочей зоны, вентилятором *5* подается в теплообменник *6*, где нагревается за счет утилизированной теплоты удаляемых газов и затем подается в короба *7* воздушно-тепловой завесы. Предусмотрена байпасная линия *8*, предназначенная для удаления вытяжного воздуха минуя теплообменник *2* в теплый период года. Циркуляция промежуточного теплоносителя осуществляется насосом *9*.

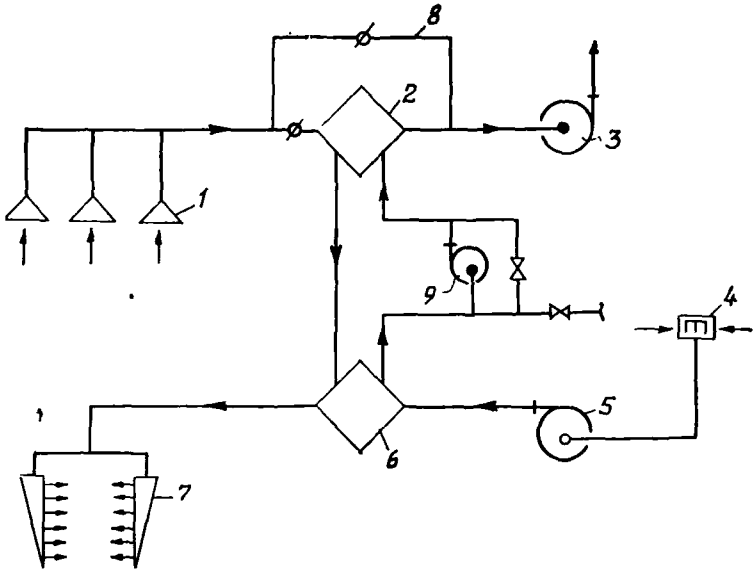


Рис. 4.38. Принципиальная схема утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем в системах с положительной начальной температурой приточного воздуха

Схемы утилизации теплоты и подробные расчеты по подбору теплоутилизаторов приведены в работах [12; 31; 32; 34]. В качестве примера рассмотрим расчет системы утилизации теплоты, показанной на рис. 4.38. Исходные данные: расход вытяжного $G_{в1}$ и приточного $G_{в2}$ воздуха, кг/ч; начальная температура вытяжного $t_{в.н1}$ и приточного $t_{в.н2}$ воздуха, °С. Последовательность расчета соответствует рекомендациям [34].

1. Определяют живое сечение по воздуху теплообменников в вытяжном и приточном каналах

$$f_{в1} = G_{в1}/3600\,(v\rho); \quad f_{в2} = G_{в2}/3600\,(v\rho),$$

где $(v\rho)$ — массовая скорость в живом сечении теплообменников, принимаемая в пределах 4...6 кг/ $(м^2 \cdot с)$, максимально допустимая 8 кг/$(м^2 \cdot с)$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

2. На основании значений $f_{в1}$, $f_{в2}$ по таблицам справочника [24] выбирают тип и количество теплообменников (воздухонагревателей), устанавливаемых параллельно по ходу движения воздуха в вытяжном и приточном каналах. Затем выписывается их теплообменная поверхность $F_{в1}$; $F_{в2}$, м², фактическая площадь живого сечения по воздуху $f_{в.\,ф.\,1}$, $f_{в.\,ф.\,2}$, м² и живое сечение по теплоносителю $f_{ж.\,1}$, $f_{ж.\,2}$ (м²).

3. Вычисляют фактическую массовую скорость движения воздуха для принятых теплообменников

$$(\upsilon\rho)_{ф.\,1} = G_{в.\,1}/3600 f_{в.\,ф.\,1},$$

$$(\upsilon\rho)_{ф.\,2} = G_{в.\,2}/3600 f_{в.\,ф.\,2}.$$

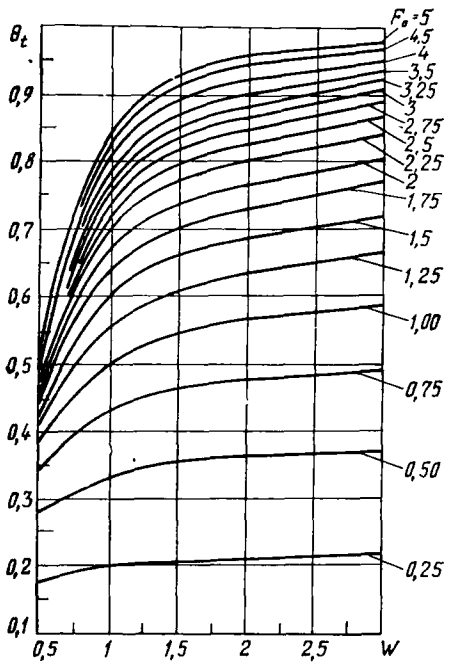


Рис. 4.39. Определение температурной эффективности теплообменников

4. Определяют расход промежуточного теплоносителя

$$G_ж = W_б G_{в.\,2} c_в / c_ж,$$

где $W_б$ — отношение водяных эквивалентов, для рассматриваемой схемы $W_б = 1$; $c_в$ — теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К); $c_ж$ — теплоемкость теплоносителя, кДж/(кг · К).

5. Вычисляют значение отношения водяных эквивалентов для установки в канале с меньшим расходом воздуха $W_м = G_ж c_ж / G_{в.\,м} c_в$.

6. Находят скорость движения промежуточного теплоносителя в трубках теплообменников в вытяжном и приточном каналах:

$$\upsilon_{ж1} = G_ж/3600\rho_ж f_{ж1}; \quad \upsilon_{ж2} = G_ж/3600\rho_ж f_{ж2}.$$

Схемы обвязки теплообменников по теплоносителю, как правило, должны обеспечивать противоточное движение воздуха и теплоносителя, скорость движения теплоносителя в трубках теплообменников должна быть в пределах 0,5...2 м/с.

7. С помощью вычисленных значений $(\upsilon\rho)$ и υ по таблицам справочника [24] находят коэффициенты теплопередачи k_1, k_2 (Вт/м²·К) для теплообменников каждого канала.

8. Определяют необходимую общую температурную эффективность установки исходя из заданной конечной температуры приточного воздуха $\Theta_{t\,об} = (t_{в.\,к2} - t_{в.\,н2})/(t_{в.\,н1} - t_{в\,н2})$ и температурную эффективность одиночной установки $\Theta_{t1} = 2\Theta_{t\,об}/(1 + \Theta_{t\,об})$, по кото-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

рой, используя рис. 4.39, получают необходимый безразмерный параметр F_{o1}, F_{o2}.

9. Вычисляют необходимую общую теплообменную поверхность воздухонагревателей $F_{об.\,1} = F_{o1}G_{в1}c_в/k_1$; $F_{об.\,2} = F_{o2}G_{в2}c_в/k_2$.

10. Находят требуемое количество теплообменников, установленных параллельно по ходу движения воздуха, $n_1 = F_{об.\,1}/F_{в1}$; $n_2 = F_{об.\,2}/F_{в2}$. Принимаются ближайшие целые значения n, которые могут быть меньше расчетных не более чем на 10 %.

11. Определяют фактические значения безразмерных комплексов

$$F_{о.\,ф.\,1} = k_1F_{об.\,1}/G_{в.\,1}c_в; \quad F_{о.\,ф.\,2} = k_2F_{об.\,2}/G_{в.\,2}c_в.$$

12. По найденным значениям $F_{о.\,ф.\,1}$, W_1; $F_{о.\,ф.\,2}$, W_2 с помощью рис. 4.39 определяют температурные эффективиости теплообменников вытяжного Θ_{t1} и приточного Θ_{t2} каналов.

13. Находят общую температурную эффективность установки

$$\Theta_{t\,об} = \frac{1}{\frac{1}{\Theta_{t1}} + \frac{1}{\Theta_{t2}}\frac{G_{в1}}{G_{в2}} - \frac{1}{W_1}} \cdot \frac{G_{в1}}{G_{в2}}.$$

14. Вычисляют температуру воздуха, нагретого от утилизированной теплоты, $t_{в.\,к2} = \Theta_{t\,об}(t_{в.\,н1} - t_{в.\,н2}) + t_{в.\,н2}$.

15. Определяют мощность утилизированной теплоты, Вт при расчетной начальной температуре приточного воздуха $Q_у = 0{,}278 \times G_{в2}c_в(t_{в.\,к2} - t_{в.\,н2})$.

Пример. Рассчитать систему утилизации теплоты, показаиную на рис. 4.38, с положительной начальной температурой приточного воздуха. Исходные даиные: расход воздуха, удаляемого от иагревательных печей, $G_{в.\,1} = 31800$ кг/ч; расход приточного воздуха для воздушно-тепловой завесы $G_{в.\,2} = 33600$ кг/ч; начальная температура удаляемого воздуха $t_{в.\,н.\,1} = 112$ °С; начальная температура приточиого воздуха $t_{в.\,н.\,2} = 15$ °С; коиечная температура приточного воздуха $t_{в.\,к.\,2} = 50$ °С; место строительства — г. Москва. Требуется определить: тнп и количество теплообменников, необходимых для установки в каналах удаляемого и приточного воздуха; конечную температуру приточиого воздуха после утилизацнонных воздухонагревателей; количество утилизованной теплоты прн расчетиой начальиой температуре приточного воздуха.

Р е ш е н н е. 1. Принимаем массовую скорость $(\rho v) = 5$ кг/(м² · с) и находим живое сечение по воздуху теплообменников в вытяжном и приточиом каналах $f_{в.\,1} = 31\,800/3600 \cdot 5 = 1{,}77$ м²; $f_{в.\,2} = 33\,600/3600 \cdot 5 = 1{,}87$ м².

2. Пользуясь табл. 7.26 в работе [24], с учетом значений $f_{в.\,1}$, $f_{в.\,2}$ принимаем по два воздухонагревателя КВС-П № 11, устанавливаемых параллельно движенню воздуха в вытяжном и приточном каналах, для которых выписываем

$$f_{в.\,ф.\,1} = f_{в\ ф.\,2} = 0{,}8655 \cdot 2 = 1{,}73 \text{ м}^2;$$

$$F_{в.\,1} = F_{в.\,2} = 72 \cdot 2 = 144 \text{ м}^2; \quad f_{ж.\,1} = f_{ж.\,2} = 0{,}002316 \text{ м}^2.$$

3. Фактическая массовая скорость движения воздуха

$$(v\rho)_{ф.\,1} = 31\,800/3600 \cdot 1{,}73 \approx 5{,}1 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)};$$

$$(v\rho)_{ф.\,2} = 33\,600/3600 \cdot 1{,}73 \approx 5{,}4 \text{ кг/(м}^2 \cdot \text{с)}.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

4. Расход промежуточного теплоносителя по каналу с большим расходом воздуха $G_ж = 1 \cdot 33\,600 \cdot 1{,}005/4{,}18 = 8078$ кг/ч.

5. Для установки в канале с меньшим расходом воздуха

$$W_м = 8078 \cdot 4{,}18/31\,800 \cdot 1{,}005 = 1{,}056.$$

6. Скорость движения промежуточного теплоносителя в трубах теплообменников при их параллельном подключении по теплоносителю

$$v_{ж.1} = v_{ж.2} = 8078/3600 \cdot 1000 \cdot 0{,}002316 \cdot 2 = 0{,}484 \text{ м/с}.$$

7. На основании найденных значений $(v\rho)_ф$, $v_ж$ по табл. 7.33 [24] находим коэффициенты теплопередачи

$k_1 = 27{,}46 \cdot 1{,}16 = 31{,}85$ Вт/(м² · К); $k_2 = 27{,}94 \cdot 1{,}16 = 32{,}41$ Вт/(м² · К).

8. Находим необходимую общую температурную эффективность установки и температурную эффективность одиночной установки:

$$\Theta_{t\,об} = (50-15)/(112-15) = 0{,}361; \quad \Theta_{t1} = 2 \cdot 0{,}361/(1 + 0{,}361) = 0{,}53.$$

По рис. 4.39 определяем необходимый комплекс, обеспечивающий

$$\Theta_{t1} = 0{,}53 \text{ при } W_1 \approx 1; \quad F_{o1} = F_{o2} = 1{,}2.$$

9. Общая теплообменная поверхность воздухонагревателей

$$F_{об.1} = 1{,}2 \cdot 31\,800 \cdot 1{,}005/31{,}85 \cdot 3{,}6 = 334{,}5 \text{ м}^2;$$

$$F_{об.2} = 1{,}2 \cdot 33\,600 \cdot 1{,}005/32{,}41 \cdot 3{,}6 = 347{,}3 \text{ м}^2.$$

10. Количество воздухонагревателей, устанавливаемых параллельно по ходу движения воздуха, $n_1 = 334{,}5 : 144 = 2{,}32$; $n_2 = 347{,}3 : 144 = 2{,}41$. Принимаются по ходу движения воздуха шесть воздухонагревателей (три ряда по два воздухонагревателя в каждом). Общая поверхность нагрева $F_{об.1} = 144 \cdot 3 = 432$ м²; $F_{об.2} = 144 \cdot 3 = 432$ м².

11. Вычисляем фактическое значение безразмерных комплексов

$$F_{o.ф1} = 31{,}85 \cdot 432 \cdot 3{,}6/31\,800 \cdot 1{,}005 = 1{,}55;$$

$$F_{o.ф2} = 32{,}41 \cdot 432 \cdot 3{,}6/33\,600 \cdot 1{,}005 = 1{,}37.$$

12. По $F_{o.ф1}$, $F_{o.ф2}$, используя рис. 4.39, при $W = 1$ находим температурную эффективность воздухонагревателей вытяжного и приточного воздуха: $\Theta_{t1} = 0{,}63$; $\Theta_{t2} = 0{,}57$.

13. Общая температурная эффективность установки

$$\Theta_{t\,об} = \frac{1}{\frac{1}{0{,}63} + \frac{1}{0{,}57} \cdot \frac{31\,800}{33\,600} - \frac{1}{1{,}056}} \cdot \frac{31\,800}{33\,600} = 0{,}411.$$

14. Конечная температура приточного воздуха воздушно-тепловой завесы $t_{в.к2} = 0{,}411 \cdot (112 - 15) + 15 = 55$ °С, что несколько больше исходной, так как принятая поверхность нагрева воздухонагревателей в приточном канале примерно на 24 % больше требуемой.

15. Мощность утилизированной теплоты при расчетной начальной температуре приточного воздуха $Q_у = 0{,}278 \cdot 33\,600 \cdot 1{,}005\,(55 - 15) = 375\,500$ Вт.

4.9. РАСЧЕТ ВОЗДУШНОЙ ЗАВЕСЫ

Воздушные завесы предназначены для предотвращения поступления наружного воздуха через открытые проемы ворот и дверей производственных и общественных зданий. Кроме того, они служат

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

препятствием перетеканию загрязненного воздуха из одного помещения в другое. Согласно СНиП 2.04.05—86 [42] воздушные или воздушно-тепловые завесы надлежит устраивать в таких случаях: у постоянно открытых проемов в наружных стенах помещений, а также у ворот и проемов в наружных стенах, не имеющих тамбуров и открывающихся более пяти раз или не менее чем на 40 мин в смену в районах с расчетной температурой наружного воздуха минус 15 °С и ниже (параметры Б); у ворот и технологических проемов для любых расчетных температур и любой продолжительности открывания при соответствующем обосновании.

При прорыве части холодного воздуха во время открывания ворот, дверей и технологических проемов, температура воздуха на рабочих местах в районе ворот $t_{см}$ не должна быть ниже 14 °С — при легкой физической работе, 12 °С — при работе средней тяжести, 8 °С — при тяжелой работе и 5 °С — при отсутствии постоянных рабочих мест. Районом ворот считается пространство длиной l (табл. 4.26) и шириной Б = 2 В (В — ширина ворот), непосредственно примыкающее к воротам.

Таблица 4.26

$t_{р.з} - t_{см}$, °С	12	10	8	6	4
l/В, м	12	10	8	5	3

Максимальная температура $t_{щ}$ и скорость выхода воздуха из щели $v_{щ}$ не должны превышать 70 °С и 25 м/с для ворот и технологических проемов и 50 °С и 8 м/с для наружных дверей; в начале раздаточного короба $v_{н} = 0{,}7v_{щ}$. Угол наклона струи α к плоскости ворот для боковых завес принимается равным 45° для ворот, защищенных от ветра, и 30° — для незащищенных. Используется несколько типов воздушных завес и методов их расчета. Рассмотрим последовательность расчета [19; 50] для случая, когда в помещении отсутствуют механический приток и вытяжка или они равны.

1. Находят количество воздуха, подаваемого завесой, кг/ч:

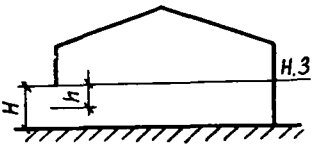
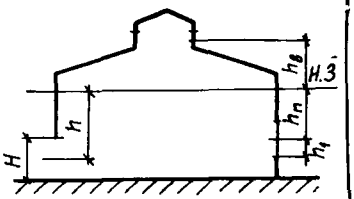
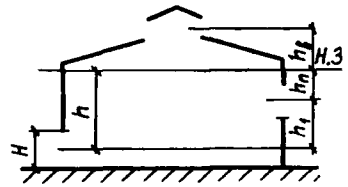
$$G_{зав} = 3600\bar{q}\mu_{пр}F_{пр}\sqrt{2\Delta p\rho_{см}},$$

где $\bar{q} = G_{зав}/G_{пр}$ — характеристика завесы, т. е. отношение количества воздуха, подаваемого завесой, к количеству смеси воздуха, проходящего в помещение через проем (ворота), рекомендуемое значение $\bar{q} = 0{,}6 \ldots 0{,}8$; $\mu_{пр}$ — коэффициент, учитывающий расход воздуха, проходящего через проем при работе завесы: $\mu_{пр} \approx 0{,}25$ для боковых завес распашных ворот, $\mu_{пр} \approx 0{,}29$ для раздвижных при отношении $F = F_{пр}/F_{щ} = 20 \ldots 30$ ($F_{щ}$ — суммарная площадь воздухо-выпускных щелей, м²); $F_{пр}$ — площадь открываемого проема, оборудованного завесой, м²; $\Delta p = 9{,}81h(\rho_{н} - \rho_{в})$ — расчетная разность давления, Па. Здесь h — расстояние от середины проема,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

оборудованного завесой до нейтральной зоны, м; вычисляется при расчете вентиляции помещения, без полных расчетных данных определяется по формулам табл. 4.27 [19]; $\rho_н$ — плотность воздуха, кг/м^3, при наружной температуре соответствующая расчетным параметрам Б для холодного периода года; $\rho_в$ — плотность воздуха при температуре помещения; $\rho_{см}$ — плотность смеси воздуха, проходящего через открытый проем при температуре, равной нормируемой температуре в районе ворот.

Таблица 4.27

Характеристика здания	Схема	Формула
Без аэрационных проемов		$h = 0{,}5H$
С аэрационными проемами, закрытыми в холодный период года		$h = h_1 + \frac{h_в + h_п}{0{,}25\left(\frac{l_п}{l_в}\right)^2 + 1}$
С аэрационными проемами, открытыми в холодный период года		$h = h_1 + h_п$, где $h_п$ определяется при расчете аэрации для холодного периода года по параметрам климата Б

Примечание. В приведенных формулах

H — высота проема, оборудованного завесой, м;

h_1 — расстояние от центра проема, оборудованного завесой, до центра приточных проемов, м;

$h_в$ — расстояние от н. з. до центра вытяжных проемов, м;

$h_п$ — расстояние от центра приточных проемов до нейтральной зоны (н. з.), м;

$l_п$, $l_в$ — длина открываемых в теплый период года притворов приточных и вытяжных проемов, м.

2. Определяют температуру воздуха, подаваемого завесой, °С:

$$t_{зав} = \frac{t_{см} - t_н^Б}{q(1 - \bar{Q})} + t_{н}^Б,$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

где $\bar{Q} = Q'/Q_{зав}$ — отношение количества теплоты, теряемой с воздухом, уходящим через открытый проем наружу Q', к тепловой мощности завесы $Q_{зав}$. Для некоторых значений $\bar{F}$ и $\bar{q}$ отношения $\bar{Q}$ приведены в табл. 4.28.

Таблица 4.28

$\bar{F}$	20	20	30	30
$\bar{q}$	0,6	0,7	0,6	0,7
$\bar{Q}$	0,06	0,14	0,13	0,18

3. Вычисляют суммарную тепловую мощность воздухонагревателей (калориферов) воздушно-тепловой завесы, Вт:

$$Q_{зав} = 0{,}278 G_{зав} c (t_{зав} - t_{нач}),$$

где c — теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К); $t_{нач}$ — температура воздуха, забираемого на завесу. При расположении вентилятора завесы на полу и заборе воздуха на уровне его всасывающего отверстия $t_{нач} = t_{см}$, при заборе воздуха из верхней зоны $t_{нач} = t_в$ или $t_{нач} = t_{ух}$.

4. Определяют ширину воздуховыпускной щели, м: $b_щ = F_{пр}/2\bar{F}H_щ$, где $H_щ$ — высота щели, равная высоте ворот (проема), м.

5. Находят скорость воздуха на выходе из щели, м/с:

$$v_щ = G_{зав}/2 \cdot 3600 H_щ b_щ \rho_{зав}.$$

Если она окажется больше допустимой ($v_{доп} = 25$ м/с), то $b_щ$, м определяют по формуле $b_щ = G_{зав}/v_{доп} 2 \cdot 3600 H_щ \rho_{зав}$.

6. Определяют дополнительные теплопоступления, необходимые для компенсации теплопотерь помещения вследствие врывания воздуха через открытые ворота или технологические проемы, Вт:

$$Q_{доп} = \frac{0{,}278 G_{зав}}{\bar{q}} c (t_{р.з} - t_{см}) \frac{\tau}{60},$$

где $t_{р.з}$ — температура воздуха в рабочей зоне, °С; τ — продолжительность открывания ворот (проема) в пределах одного часа, мин.

Дополнительные потери теплоты должны компенсироваться работой завесы в течение некоторого времени после закрытия ворот.

Пример. Рассчитать двухстороннюю боковую завесу у распашных ворот помещения при закрытых аэрационных проемах в холодный период года. Механический приток и механическая вытяжка сбалансированы. Исходные данные. $t_н^Б = -23$ °С; $\rho_н = 1{,}412$ кг/м³; $t_{р.з} = 16$ °С; $\rho_{р.з} = 1{,}221$ кг/м³; $t_{см} = 12$ °С; $\rho_{см} = 1{,}239$ кг/м³, длина притворов приточных аэрационных проемов $l_п = 850$ м; длина притворов фонаря $l_в = 700$ м; рас-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

стояние от центра фрамуг аэрационного фонаря до центра приточных проемов $h_п + h_в = 6$ м; приточные проемы расположены на уровне проема ворот, т. е. $h_1 = 0$; вентилятор завесы расположен на отм. ±0,000; ворота (4×3 м) открыты 10 м в течение одного часа.

Р е ш е н и е. 1. Задаемся характеристикой завесы: $\bar{q} = 0{,}6$; $\bar{F} = 20$; $\mu_{пр} = 0{,}25$. Находим расчетное значение

$$h = h_1 + \frac{h_в + h_п}{0{,}25\left(\frac{l_п}{l_в}\right)^2 + 1} = 0 + \frac{6}{0{,}25\left(\frac{850}{700}\right)^2 + 1} \approx 4{,}4 \text{ м.}$$

Вычисляем расчетную разность давлений $\Delta p = 9{,}81h(\rho_н - \rho_{р.\,з}) = 9{,}81 \cdot 4{,}4 \times \times (1{,}412 - 1{,}221) = 8{,}24$ Па. Определяем колнчество воздуха, подаваемого завесой,

$$G_{зав} = 3600\bar{q}\mu_{пр}F_{пр}\sqrt{2\Delta p\rho_{см}} =$$

$$= 3600 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}25 \cdot 12\sqrt{2 \cdot 8{,}24 \cdot 1{,}239} \approx 29\,300 \text{ кг/ч.}$$

2. Находнм температуру воздуха, подаваемого завесой, прн

$$\bar{Q} = 0{,}06 \text{ (см. табл. 4.28)} : t_{зав} = [(t_{см} - t_н^Б)/\bar{q}(1 - \bar{Q})] + t_н^Б =$$

$$= [(12 + 23)/0{,}6(1 - 0{,}06)] + (-23) = 39\,°\text{C.}$$

3. Вычисляем тепловую мощность воздухонагревателей

$$Q_{зав} = 0{,}278G_{зав}c(t_{зав} - t_{нач}) = 0{,}278 \cdot 29\,300 \cdot 1{,}005(39 - 12) = 221\,000 \text{ Вт.}$$

4. Находим шнрину воздуховыпускной щели $b_щ = F_{пр}/2\bar{F}H_щ = = 12/2 \cdot 20 \cdot 3 = 0{,}1$ м.

5. Скорость воздуха на выходе нз щели

$$v_щ = G_{зав}/2 \cdot 3600H_щ b_щ \rho_{зав} = 29\,300/7200 \cdot 3 \cdot 0{,}1 \cdot 1{,}131 = 12 < 25 \text{ м/с.}$$

6. Дополнительные теплопоступления, необходимые для нагрева холодного воздуха, поступившего в помещение через ворота,

$$Q_{доп} = \frac{0{,}278G_{зав}}{\bar{q}}c(t_{р.\,з} - t_{см})\frac{\tau}{60} =$$

$$= \frac{0{,}278 \cdot 29\,300}{0{,}6}1{,}005(16 - 12)\frac{10}{60} \approx 9100 \text{ Вт.}$$

Чертежи конструкций воздушно-тепловых завес и нх техннческая характеристика прнведены в тнповой серни 1.494—2, частично в работе [21].

Глава 5

ВОЗДУХООБМЕН И ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕХАХ

5.1. РАСЧЕТ ВОЗДУХООБМЕНОВ ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

Количество воздуха, подаваемого в помещение для обеспечения требуемых параметров воздушной среды в рабочей зоне, следует определять для теплого, холодного периодов года и переходных условий исходя из преобладающих вредных выделений:

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

по избыткам явной теплоты

$$G_{я} = G_{р.\ з} + \frac{3{,}6Q_{я} - G_{р.\ з}c\,(t_{р.\ з} - t_{пр})}{c\,(t_{ух} - t_{пр})};$$

по избыткам полной теплоты

$$G_{п} = G_{р.\ з} + \frac{3{,}6Q_{п} - G_{р.\ з}\,(I_{р.\ з} - I_{пр})}{I_{ух} - I_{пр}};$$

по избыткам влаги

$$G_{w} = G_{р.\ з} + \frac{W - G_{р.\ з}\,(d_{р.\ з} - d_{пр})}{d_{ух} - d_{пр}};$$

по вредным газам, парам и пыли

$$G_{г} = G_{р.\ з} + \frac{1{,}2Z - G_{р.\ з}\,(Z_{р.\ з} - Z_{пр})}{Z_{ух} - Z_{пр}}.$$

При одновременном выделении теплоты и влаги, расчет количества воздуха $G_{т\,w}$, подаваемого в помещение, следует вести с использованием $J - d$-диаграммы с построением луча процесса $\varepsilon = Q/W$, характеризующего изменение параметров воздушной среды помещения. В приведенных формулах $Q_{я}$, $Q_{п}$ — соответственно избытки явной и полной теплоты в помещении, Вт; $G_{р.\ з}$ — количество воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения местными отсосами сбщеобменной вентиляцией и на технологические или другие нужды, кг/ч; c — удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К); $t_{р.\ з}$, $t_{пр}$, $t_{ух}$ — температура воздуха в рабочей зоне, подаваемого в помещенне и удаляемого из верхней зоны, °С; $I_{р.\ з}$, $I_{пр}$, $I_{ух}$ — энтальпия воздуха в рабочей зоне, подаваемого в помещение и удаляемого из верхней зоны, кДж/кг; W — избытки влаги в помещении, г/ч; $d_{р.\ з}$, $d_{пр}$, $d_{ух}$ — влагосодержание воздуха в рабочей зоне, подаваемого в помещение и удаляемого из верхней зоны, г/кг; Z — количество вредных веществ, поступающих в воздух помещения, мг/ч; $Z_{р.\ з}$, $Z_{пр}$, $Z_{ух}$ — предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны (табл. 5.1 [26]), концентрация вредных веществ в приточном воздухе, принимаемая не более 30 % предельно допустимой, концентрация вредных веществ в воздухе, удаляемая из верхней зоны помещения, мг/м³.

Согласно ГОСТ 12.1.005—76 [26] при одновременном выделении нескольких газов и паров, не обладающих однонаправленным действием, количество воздуха при расчете общеобменной вентиляции принимается по той вредности, которая требует подачи наибольшего объема чистого воздуха. При одновременном выделении в воздух помещения нескольких веществ, обладающих эффектом суммации, расчет общеобменной вентиляции надлежит вести путем суммирования объемов воздуха, потребных для разбавления каждого веще-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.1

Наименование веществ	ПДК $_{р.з.}$ мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние	Наименование веществ	ПДК $_{р.з.}$ мг/м³	Класс опасности	Агрегатное состояние
Пары и газы				Бутилацетат	200	4	п
Акролеин	0,2	2	п				
Аммиак	20	4	п	Метилацетат	100	4	п
Ацетон	200	4	п	Этилацетат	200	4	п
Бензин-растворитель (в пересчете на С)	300	4	п	Пыль минеральная и органическая			
Бензин топливный (в пересчете на С)	100	4	п				
Бензол	5	2	п	Содержание более 70 % свободной SiO_2 (кварц, динас и др.)	1	3	—
Керосин (в пересчете на С)	300	4	п				
Ксилол	50	3	п				
Марганец (в пересчете на MnO_2)	0,3	2	а	Содержание от 10 % до 70 % свободной SiO_2 (гранит, шамот и др.)	2	4	—
Цианистый водород	0,3	2	п				
Окись углерода	20	4	п	Абразивная (корунд, карборунд)	6	4	—
Кислота серная	1	2	а				
Сернистый ангидрид	10	3	п				
Сероводород	10	2	п	Цементная, глинянная, минеральная, не содержащая свободной SiO_2	6	4	—
Скипидар (в пересчете на С)	300	4	п				
Сольвент-нафта (в пересчете на С)	100	4	п				
Спирт:							
бутиловый	10	3	п				
метиловый	5	3	п				
Толуол	50	3	п				
Уайт-спирит (в пересчете на С)	300	4	п	Прочие виды минеральной и растительной пыли, не содержащие SiO_2 и примеси токсичных веществ	10	—	—
Формальдегид	0,5	2	п				
Хлор	1	2	п				
Амилацетат	100	4	п				

Примечания. 1. а — аэрозоль; п — пары и (или) газы. 2. Классы опасности веществ различают по их воздействию на человека [40]: 1 — чрезвычайно опасные, 2 — высокоопасные, 3 — умеренно опасные, 4 — малоопасные.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Вредные вещества, обладающие суммацией вредного действия [40]

Ацетон и фенол;
ацетальдегид и винилацетат;
озон, двуокись азота и формальдегид; сернистый газ и фенол;
сернистый газ и фтористый водород;
сернистый газ и аэрозоль серной кислоты;
сероводород и диинил;
сернистый газ и сероводород;
фурфурол, метанол и этанол;
циклогексан и бензол;
сильные минеральные кислоты (серная, соляная и азотная) в концентрации по водородному иону;
этилен, пропилен, бутилен и амилен;
уксусная кислота и уксусный ангидрид;
ацетон и ацетофенон;
бензол и ацетофенон;
фенол и ацетофенон;
сернистый и серный ангидрид, аммиак, окислы азота.

ства в отдельности. Это связано с тем, что иногда присутствие во вдыхаемом воздухе различных химических соединений в концентрациях каждого в отдельности в допустимых пределах в сумме вредно воздействует на организм человека. Предельно допустимая концентрация (ПДК) таких веществ должна удовлетворять выражению

$$\frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \cdots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n} \leqslant 1,$$

где C_1, C_2, ..., C_n — концентрация вредных компонентов смеси, мг/м^3.

При наличии в помещении выделений газов и паров, которые могут образовывать с воздухом помещения взрывоопасные смеси, минимальное количество подаваемого воздуха должно обеспечивать концентрации этих паров и газов, не превышающие 5 % нижнего предела взрываемости $N_н$. В этом случае в формулу для расчета воздухообмена по вредным газам и парам вместо $Z_{ух}$ следует подставить $0{,}05N_н$ и вместо $Z_{пр}$ — не более 30 % от $0{,}05\,N_н$. За расчетное количество воздуха, по которому производится выбор вентиляционного оборудования (вентилятор, фильтр, воздухонагреватель и другие элементы вентиляционной системы), принимают большее из рассчитанных количеств по формулам $G_я$, $G_п$, $G_ш$, $G_г$, $G_{г\,ш}$. При этом количество наружного воздуха, подаваемого на одного работающего, должно быть не менее 30 м^3/ч при объеме помещения, приходящемся на одного человека, менее 20 м^3 и 20 м^3/ч при объеме 20 м^3 и более, если используется естественное проветривание помещения; при отсутствии такой возможности — 60 м^3/ч, но не менее однократного воздухообмена [40].

Объемная подача местной вытяжной вентиляции для всех периодов года принимается постоянной.

При использовании местных отсосов у конвективных источников теплоты часть вредностей (от 10 до 30 %) прорывается в поме-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

щение и накапливается в верхней зоне, затем вследствие охлаждения у перекрытия и стен они опускаются вниз, загрязняют рабочую зону и ухудшают условия труда. Поэтому дополнительно к местным отсосам необходимо предусматривать удаление воздуха и из верхней зоны. Этот дополнительный объем принимается не менее однократного часового воздухообмена. Согласно [42] для помещений высотой более 6 м минимальное количество удаляемого воздуха из верхней зоны под перекрытием помещения допускается определять из расчета 6 м^3/ч на 1 м^2 площади пола помещения.

5.2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА

Температура приточного воздуха $t_{пр}$, зависящая от периода года, способа подачи, температуры воздуха в рабочей зоне, устанавливается расчетом приточных струй. В случае ассимиляции избытков теплоты минимальная температура приточной струи t_x на входе в рабочую зону определяется по формуле $t_x = t_{р.\,з} - \Delta t_1$, при восполнении недостатков теплоты максимальная температура $t_x = t_{р.\,з} + \Delta t_2$, где Δt_1, Δt_2 — допустимые отклонения температуры струи от нормируемой температуры в рабочей зоне соответственно при ассимиляции избытков теплоты и ее восполнении. Для общеобменной вентиляции в производственных зданиях принимаются такие значения Δt: в зоне прямого действия струи $\Delta t_1 = 2$ °С; $\Delta t_2 = 5$ °С; вне зоны $\Delta t_1 = 2{,}5$ °С; $\Delta t_2 = 6$ °С.

В теплый период при естественном притоке (аэрация) и механической подаче в средние пролеты многопролетных зданий, находящихся на расстоянии более 30 м от окон или аэрационных проемов в наружных стенах, температура $t_{пр}$ принимается равной $t_н^А$.

Температура воздуха, удаляемого из верхней зоны помещения, с известными допущениями определяется по одной из формул

$$t_{ух} = t_{пр} + \frac{t_{р.\,з} - t_{пр}}{m}; \quad t_{ух} = t_{р.\,з} + \beta\,(H - 2);$$

$$t_{ух} = t_{пр} + k_l\,(t_{р.\,з} - t_{пр}),$$

где m — коэффициент теплораспределения, учитывающий долю избыточной теплоты, которая воздействует на температуру воздуха в рабочей зоне (табл. 5.2 [14; 16]); принимается постоянным для всех периодов года; для горячих цехов преимущественно с печным оборудованием ориентировочно определяется по табл. 5.3 [14] в зависимости от отношения площади, занятой печами f (или иными источниками интенсивного выделения теплоты), к общей площади пола помещения F; β — температурный градиент, учитывающий повышение температуры воздуха по высоте помещения на каждый метр выше рабочей зоны (табл. 5.4 [14]); H — высота помещения от пола до центра вытяжных отверстий, м; k_l — коэффициент воздухообмена, зависящий от схемы воздухораспределения (подробные сведения приведены в работах [3; 21; 33]).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.2

Помещения	Коэффициент m
Плавильные цехи	
Печные пролеты	0,5
Разливочные пролеты	0,4
Конвертерные пролеты	0,4
Плавильные цехи электрокорунда и карбида	
Отделение плавки	0,3
Отделение остывания и разборки печей	0,5
Отделение копрового дробления и разборки	0,5
Электротермическое отделение	0,4
Отделение разборки и отделение охлаждения	0,6
Химические заводы	
Насосные и компрессорные	0,8
Сушильные отделения	0,5
Печные отделения	0,5 . . . 0,6
Аппаратные отделения	0,6
Фильтровальные отделения	0,5
Сернокислые цехи	0,4
Реакторные отделения	0,35
Стеклоплавильные цехи	0,6
Цехи травления и металлопокрытий, машинные отделения	0,5
Электромеханические заводы	
Обмоточно-укладочные цехи	0,6
Цехи пропитки	0,6
Испытательная станция	0,6
Прокатные цехи	
Машинные залы станов, пролеты замедленного охлаждения	0,6
Помещение нагревательных печей	0,5
Помещение прокатных станов	0,5 . . . 0,6
Модельные и деревообрабатывающие цехи	
Ремонтно-строительные цехи	
Станочно-заготовительные и сборочные отделения	0,6
Заточные отделения	0,5
Остывочные помещения у сушильных камер	0,5
Алюминиевые заводы	
Электролизные цехи	0,7 . . . 0,8
Цехи кальцинации	0,5 . . . 0,6
Металлообрабатывающие заводы	
Чугунолитейные цехи с рассеянным режимом	0,5
смесеприготовительное отделение	0,6
отделение формовки и сушки стержней	0,5
плавильно-заливочное отделение	0,5
отделение выбивки форм и стержней	0,5
обрубно-очистные отделения	0,6
отделение отжига литья	0,7
комплексно-механизированные участки литейного производства	0,5
Цехи литья по выплавляемым моделям	
отделения приготовления моделей	0,6
отделение выплавки моделей, прокалки форм, заливки форм металлом	0,5
отделение приготовления наполнительных смесей, формовки и выбивки стержней	0,5
отделение выварки отливок и щелочи	0,5
генераторные отделения	0,6

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Окончание табл. 5.2

Помещения	Коэффициент m
Конвейерные литейные	0,5
Смешанные литейные	0,4
Выбивные отделения	0,4
Термические цехи	0,45
Кузнечные и кузнечно-прессовые цехи	0,4
Газогенераторные	0,6
Стале- и меднолитейные	0,5
Литейные алюминия	0,4
Цехи:	
механические, холодной обработки металлов, механосборочные	0,7
Токарно-шлифовальные отделения подшипниковых заводов	0,7
Отделение координатно-расточных станков	0,8
Отделение производства редукторов газовых турбин	0,8
Цехи сварных конструкций:	
заготовительное отделение	0,7
механические отделения	0,7
сборочно-сварочные отделения	0,6
Пищевые предприятия	
Пекарные залы хлебозаводов	0,6
Варочные отделения	0,6
Заводы общего приборостроения	
Механосборочные цехи и испытательные стенды	0,7
Абразивные заводы	
Отделения спекания	0,5
Отделение плавки электрокорунда и корунда	0,3
Помещения обратного хода агломашины	0,5
Помещения сборных газоходов	0,5
Помещения эксгаустеров	0,5
Отделение остывания и разборки печей	0,5
Электротермические отделения	0,6
Отделение разборки и охлаждения	0,6
Литейные лаборатории	0,5
Центральные заводские лаборатории	
Литейные	0,5
Металлообрабатывающие и металлографические	0,6
Термические	0,5
Вычислительные центры	0,8

Примечания. 1. Значения коэффициента m даны для схемы вентиляции снизу вверх. 2. При струйной (сосредоточенной) подаче воздуха в верхнюю зону помещений, значение коэффициента m рекомендуется принимать равным 0,8 для всех цехов и отделений.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.3

f/F	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
m	0,3	0,5	0,65	0,75	0,8	0,9

Таблица 5.4

Тепловое напряжение q_t, Вт/м³	Расчетные значения температурного градиента β для промышленных зданий [14] при высоте помещения H, м									
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
23	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,35	0,5	0,3
46	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	0,4	0,35
70	1,0	0,9	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5	0,4
93	1,0	0,9	0,9	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,5	0,4
116	0,8	0,7	0,7	0,65	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,35
174	0,65	0,6	0,6	0,55	0,5	0,5	0,45	0,4	0,4	0,35

Для помещений со значительными избытками явной теплоты, в которых циркуляция воздуха определяется конвективными потоками и организацией воздухообмена снизу — вверх, значения k_t приведены в табл. 5.5 [7]. Для производственных помещений, в которых циркуляция воздуха обусловлена совместным действием приточных струй и конвективных потоков от крупногабаритных теплоисточников ($d_{экв} \geqslant 1{,}5$ м) с шагом расстановки воздухораспределителей 12 м и более, значение k_t следует принимать по табл. 5.6 [33]. Значения коэффициента k_t, приведенные в табл. 5.7 [21], относятся к цехам, в которых циркуляция воздуха обусловлена только действием приточных струй (основные цехи радиотехнической и электронной промышленности, сборочно-сварочные, заготовительно-штамповочные). При составлении теплового баланса помещения следует пользоваться табл. 5.8, для воздушного — табл. 5.9.

Таблица 5.5

Помещения	k_t
Кузнечно-прессовые цехи, печные пролеты сталеплавильных, рельсопрокатных цехов, эмалирования, корпуса нагревательных колодцев, блюминги, склады заготовок	2,0
Цехи:	
термические	1,9
сушильные	1,8
литейные	1,7
доменные и кузнечные	1,6
прокатные	1,5
электролизные, машинные и компрессорные залы	1,4
вулканизации и производства изделий из пластмасс	1,3

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.6

№ п/п	Способ подачи воздуха	Площадь зоны действия воздухораспределителей, м², не более	Коэффициент воздухообмена	Кратность воздухообмена, ч⁻¹					
				3	5	10	15	20	25
1	Приколонная подача непосредственно в рабочую зону (до 2 м от пола)	300	k_1	1,3	1,2	1,15	1,1	1,05	1,05
			k_2	1,85	1,75	1,65	1,6	1,55	1,5
2	Приколонная подача с высоты 4 м от пола наклонными веерными струями в направлении рабочей зоны	600	k_1	1,15	1,05	1	1	1	1
			k_2	1,4	1,35	1,25	1,2	1,15	1,15
3	Горизонтальная подача компактными струями выше 6 м от пола	900	k_1	1	0,95	0,85	0,8	0,8	0,75
			k_2	1,1	1	0,9	0,85	0,8	0,8
4	Подача сверху вниз вертикальными закрученными струями выше 6м от пола	600	k_1	1	0,95	0,9	0,85	0,85	0,8
			k_2	1,1	1,05	1	0,95	0,95	0,9

Примечания. 1. Экспериментальные данные приведены для помещений высотой от 7 до 15 м при отношении высоты оборудования к высоте помещения менее 0,8. 2. Источники теплоты и газов расположены в рабочей зоне, плотность газа не превышает 1,5 плотности воздуха. 3. Вытяжка размещена в верхней зоне помещения.

Пример 1. Рассчитать воздухообмен в кузнечном цехе, расположенном в г. Одессе. Исходные данные: площадь цеха 42 × 24 м, высота 10 м; суммарные теплопоступления от технологического оборудования $\Sigma Q_{т.в} = 174\,000$ Вт; теплота, вносимая солнечной радиацией, $Q_{с.р} = 29\,000$ Вт; потери теплоты через ограждающие конструкции включая инфильтрацию в холодный период $Q_{т.п} = 290\,000$ Вт. Объем воздуха, удаляемого местной вытяжной вентиляцией $L_{м.о} = 15\,000$ м³/ч.

Решение. Поскольку в помещении имеются местные отсосы, расчетную наружную температуру для холодного периода года выбираем по климату Б, т. е. $t_н^Б = -18$ °С; расчетная температура для теплого периода $t_н^А = 25$ °С (параметры климата А).

Теплый период года. Определяем тепловую напряженность цеха исходя из условного объема помещения высотой $H = 6$ м (см. прим. 3 к табл. 1.8), т. е. $V = 42 \cdot 24 \cdot 6 = 6000$ м³:

$$q = \frac{\Sigma Q_{т.в} + Q_{с.р}}{V} = \frac{174\,000 + 29\,000}{6000} = 33{,}8 \text{ Вт/м}^3.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.7

Способ подачи воздуха	Место удаления воздуха общеобменной вентиляции	Доля тепловыделений в рабочую зону $q_{р.з}$	Коэффициент k_t
Непосредственно в рабочую зону	Из верхней зоны	1	1
		0,7	1,4
		0,5	2
Наклонными струями в направлении рабочей зоны с высоты 4 м от пола	То же	1	1
		0,7	1,2
		0,5	1,3
То же, более 4 м		1	1
		0,7	1
		0,5	1,2
Выше рабочей зоны:			
настилающими и ненастилающими струями	Вне зоны непосредственного воздействия струи	1	1,1
		0,7	1,15
		0,5	1,2
плоскими или компактными и веерными струями	В зоне непосредственного воздействия струи	1	0,9
		0,5	0,85
настилающимися струями	То же при $h/F_{стр}$:		
	10	—	0,8
	20	—	0,9
	30	—	0,95
неиастилающимися струями	Из верхней зоны	1	0,85
		0,7	0,95
		0,5	1

Примечания. 1. $q_{р.з} = Q_{р.з}/Q$, где $Q_{р.з}$ — количество теплоты, поступающей в рабочую зону, $Q = Q_{р.з} + Q_{в.з}$; $Q_{в.з}$ — количество теплоты, поступающей в верхнюю зону. 2. h — расстояние по горизонтали от всасывающего отверстия до выпуска струи, м; $F_{стр}$ — площадь струи на входе в рабочую зону.

Таблица 5.8

Наименование помещения	Объем помещения	Период года и переходные условия	Потери теплоты, Вт					
			через ограждающие конструкции	на инфильтрацию	на нагревание ввозимого материала	на нагревание транспорта	другие	общие

Окончание табл. 5.8

Поступление теплоты, Вт							Избытки теплоты, Вт	Недостача теплоты, Вт	Тепловая напряженность, Вт/м³
от технологического оборудования	от солнечной радиации	от остывающего металла	от освещения	от работающих станков	другие	общие			

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.9

Наименование помещения	Объем помещения	Период года и переходные условия	Вытяжная вентиляция, м³/ч (кг/ч)					
			местная	общеобменная		Всего	кратность обмена	температура $t_{ух}$, °С
				механическая	естественная			

Окончание табл. 5.9

Приточная вентиляция, м³/ч (кг/ч)						Примечание
Механическая		Естественная	Всего	Кратность обмена	Температура $t_{пр}$, °С	
приточная установка	воздушный ду					

Находим температуру воздуха в рабочей зоне. Согласно табл. 1.8 (прим. 8) при $q > 23$ Вт/м³ $t_{р.з} = t_н^А + (5 - 2) = 25 + 3 = 28$ °С (категория работ тяжелая).

Вычисляем температуру воздуха, удаляемого из верхней зоны помещения,

$$t_{ух} = t_{пр} + \frac{t_{р.з} - t_{пр}}{m} = 25 + \frac{28 - 25}{0{,}4} = 32{,}5\ °С,$$

где $m = 0{,}4$ (по табл. 5.2), $t_{пр} = t_н^А = 25$ °С, поскольку в целях экономии электроэнергии воздух подается естественным путем При найденных значениях $t_{пр}$, $t_{р.з}$, $t_{ух}$ расход воздуха для ассимиляции избыточной теплоты

$$G_я = L_{м.о}\rho_{р.з} + \frac{3{,}6(\Sigma Q_{т.в} + Q_{с.р}) - L_{м.о}\rho_{р.з}c(t_{р.з} - t_{пр})}{c(t_{ух} - t_{пр})} =$$

$$= 15\,000 \cdot 1{,}172 + \frac{3{,}6(174000 + 29\,000) - 15\,000 \cdot 1{,}172 \cdot 1{,}005(28 - 25)}{1{,}005(32{,}5 - 25)} =$$

$$= 107\,500 \text{ кг/ч}.$$

Приточный воздух $G_{пр} = G_{м.о} + G_я = 15\,000 \cdot 1{,}172 + 107\,500 =$ $= 125\,100$ кг/ч подается в цех естественным путем через нижние приточные проемы. Удаление воздуха из цеха осуществляется местной вытяжной вентиляцией и естественным путем через фонарь ($G_{ух} = G_я = 107\,500$ кг/ч), благодаря чему обеспечивается вентиляция верхней зоны помещения. Необходимая площадь приточных и вытяжных проемов определяется при расчете аэрации.

Переходные условия. Температура наружного воздуха $t_н = 8$ °С, рабочей зоны $t_{р.з} = 15$ °С (см табл. 1.7). Потери теплоты

$$Q_{т,п}^{п} = Q_{т.п}\frac{t_{р.з} - t_и}{t_{р.а} - t_н^Б} = 290\,000\,\frac{15 - 8}{15 - (-18)} \approx 61\,500 \text{ Вт},$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Тепловыделения $\Sigma Q_{т.\,в} = 174\,000$ Вт, теплота солнечной радиации $Q_{с.\,р} = 29\,000$ Вт. Поскольку теплопоступления превышают потери теплоты, искомой величиной является потребное количество воздуха для ассимиляции избытков теплоты. Температура уходящего воздуха (приток естественный)

$$t_{ух} = t_{пр} + \frac{t_{р.\,з} - t_{пр}}{m} = 8 + \frac{15 - 8}{0{,}40} = 25{,}5\ °C.$$

Расход воздуха для ассимиляции избытков теплоты

$$G_{я} = 15\,000 \cdot 1{,}247 + \frac{3{,}6\,(174\,000 + 29\,000 - 61\,500) - 15\,000 \cdot 1{,}225 \cdot 1{,}005\,(15 - 8)}{1{,}005\,(25{,}5 - 8)} \approx 40\,300 \text{ кг/ч}.$$

Приточный воздух, поскольку он не требует нагрева, подается естественным путем на высоте не ниже 4 м от уровня пола в количестве $G_{пр} = G_{м.\,о} + G_{я} = 15\,000 \cdot 1{,}247 + 40\,300 = 59\,000$ кг/ч, удаление осуществляется местной вытяжной вентиляцией 18 700 кг/ч и через фонарь ($G_{я} = 59\,000$ кг/ч). Площадь приточных и вытяжных проемов определяется расчетом аэрации на переходные условия.

Холодный период года. Температура воздуха в рабочей зоне $t_{р.\,з} = 15$ °С (по табл. 1.7). Поскольку суммарные потери теплоты превышают теплопоступления $\Sigma Q_{т.\,п} > \Sigma Q_{т.\,в}$, искомой величиной будет температура приточного воздуха. Дополнительно к местной вытяжной вентиляции предусматривается вентиляция верхней зоны в минимальном объеме из расчета 6 м³/ч на 1 м² площади пола помещения: $L_{в.\,з} = 42 \cdot 24 \cdot 6 \approx 6000$ м³/ч. Температуру удаляемого воздуха примем на 3 °С выше $t_{р.\,з}$, т. е. $t_{ух} = 15 + 3 = 18$ °С, $\rho_{ух} = 1{,}213$ кг/м³.

Уравнение тепловоздушного баланса

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/ч	Теплонедостатки и содержание теплоты в вытяжном воздухе, кДж/ч
$\Sigma Q_{т.\,в} = 174\,000 \cdot 3{,}6 = 626\,400$ $Q_{пр} = (L_{м.\,о} + L_{в.\,з})\,c\rho_{пр}t_{пр} =$ $= (15\,000 + 6000)\,1{,}005\rho_{пр}t_{пр} =$ $= 21\,100\rho_{пр}t_{пр}$	$Q_{т.\,п} = 3{,}6 \cdot 290\,000 = 1\,044\,000$ $Q_{м.\,о} = L_{м.\,о}c\rho_{р.\,з}t_{р.\,в} =$ $= 15\,000 \cdot 1{,}005 \cdot 1{,}225 \cdot 15 = 277\,000$ $Q_{в.\,з} = L_{в.\,з}c\rho_{ух}t_{ух} =$ $= 6000 \cdot 1{,}005 \cdot 1{,}213 \cdot 18 = 131\,660$
Итого: $624\,000 + 21\,100\rho_{пр}t_{пр}$	$1\,452\,660$

Решив уравнение баланса относительно $t_{пр}$ и приняв $\rho_{пр} \approx 1{,}2$ кг/м³, получим

$$t_{пр} = \frac{1\,452\,660 - 624\,000}{21\,100 \cdot 1{,}2} = 32{,}7\ °C.$$

Приточный воздух подается механическим путем с подогревом до 32,7 °С. Производительность установки принята равной $L_{п.\,у} = L_{м.\,о} + L_{в.\,з} = 15\,000 + 6000 = 21\,000$ м³/ч. Удаление воздуха осуществляется местной вытяжной вентиляцией и естественным путем через фонарь благодаря подпору, создаваемому приточной установкой.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример 2. Для условий предыдущего примера предусмотреть воздушное душирование рабочих мест. Количество душирующего воздуха $L_{душ} = 10\,000$ м³/ч, температура воздуха, выходящего из душирующего патрубка, $t_{душ} = 17 + 1{,}5 = 18{,}5$ °С (охлаждение адиабатическое). Плотность воздуха принята постоянной $\rho = 1{,}2$ кг/м³ [42].

Теплый период года. Составляем уравнение воздушного баланса $G_{пр} + G_{душ} - G_{м.\,о} - G_{в.\,з} = G_{пр} + 10\,000 \cdot 1{,}2 - 15\,000 \cdot 1{,}2 - G_{в.\,з} = 0$, откуда $G_{в.\,з} = G_{пр} - 6000$.

Уравнение тепловоздушного баланса

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/ч	Теплонедостатки и содержание теплоты в вытяжном воздухе, кДж/ч
$\Sigma Q_{т.\,в} = 3{,}6 \cdot 174\,000 = 626\,400$ $Q_{с.\,р} = 3{,}6 \cdot 29\,000 = 104\,400$ $Q_{душ} = G_{душ} c t_{душ} = 10\,000 \times$ $\times 1{,}2 \cdot 1{,}005 \cdot 18{,}5 = 223\,110$ $Q_{пр} = G_{пр} c t_{пр} = G_{пр} 1{,}005 \cdot 25$	$Q_{м.\,о} = G_{м.\,о} c t_{р.\,з} =$ $= 15\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}005 \cdot 28 = 506\,520$ $Q_{в.\,з} = G_{в.\,з} c t_{ух} =$ $= (G_{пр} - 6000)\,1{,}005 \cdot 32{,}5$
Итого: $953\,910 + G_{пр} 25{,}1$	$310\,320 + G_{пр} 32{,}7$

Тогда $G_{пр} = \dfrac{953\,910 - 310\,320}{7{,}6} = 84\,700$ кг/ч; $G_{в.\,з} = 84\,700 - 6000 = 78\,700$ кг/ч.

Переходные условия. Температура душирующего воздуха $t_{душ} = 22{,}5$ °С (по формуле для определения $t_{душ}$ в переходных условиях и в холодный период года).

Уравнение тепловоздушного баланса

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/кг	Теплонедостатки и содержание теплоты в вытяжном воздухе, кДж/кг
$\Sigma Q_{т.\,в} = 626\,400$ $Q_{с.\,р} = 104\,400$ $Q_{душ} = 10\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}005 \cdot 22{,}5 =$ $= 271\,350$ $Q_{пр} = G_{пр} 1{,}005 \cdot 8$	$Q_{т.\,п} = 61\,500$ $Q_{м.\,о} = 15\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}005 \cdot 15 =$ $= 271\,350$ $Q_{в.\,з} = (G_{пр} - 6000)\,1{,}005 \cdot 25{,}5 =$ $= G_{пр} 25{,}6 - 153\,765$
Итого: $1\,002\,150 + G_{пр} 8{,}04$	$179\,085 + G_{пр} 25{,}6$

Приравнивая левую и правую части баланса, находим

$$G_{пр} = \frac{1002\,150 - 179\,085}{25{,}6 - 8{,}04} = 46\,872 \text{ кг/ч}.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Холодный период года. Определяем температуру приточного воздуха.

Уравнение тепловоздушного баланса

Теплоизбытки и содержание теплоты в приточном воздухе, кДж/кг	Теплонедостатки и содержание теплоты в вытяжном воздухе, кДж/кг
$\Sigma Q_{т.\,в} = 626\,400$ $Q_{душ} = 10\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}005 \cdot 22{,}5 =$ $= 271\,350$ $Q_{пр} = 15\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}005\ t_{пр}$	$Q_{т.\,п} = 104\,400$ $Q_{м.\,о} = 15\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}005 \cdot 15 =$ $= 271350$ $Q_{в.\,з} = 10\,000 \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}005 \cdot 18 =$ $= 217\,080$

Решая балансовое равенство, получаем

$$t_{пр} = \frac{1\,538080 - 897\,750}{18090} \approx 35{,}1\ °C;$$

$G_{пр} = G_{душ} + G_{мо} = 12\,000 + 18\,000 = 30000$ кг/ч; $G_{в.\,з} = G_{душ} = 12\,000$ кг/ч;

Пример 3. Определить количество воздуха для ассимиляции избыточной теплоты в теплый период года в цехе по производству промышленных материалов при следующих условиях: объем цеха $V = 6000$ м³ (площадь пола 24 × 18 м, высота до середины фонаря $H = 15$ м). Суммарные выделения теплоты от технологического оборудования $\Sigma Q_{т.\,в} = 6400$ Вт, теплопоступления от солнечной радиации $Q_{с.\,р} = 37\,000$ Вт, количество воздуха, удаляемого местными отсосами, $L_{м.\,о} = 56\,300$ м³/ч. Дополнительно к местной вытяжке предусмотреть провегривание верхней зоны в однократном объеме помещения. Работы, выполняемые в цехе, относятся к категории средней тяжести. Цех расположен в г. Саратове, расчетная наружная температура $t_н^А = 25{,}4$ °С.

Р е ш е н и е. Для выбора температуры воздуха в рабочей зоне определим тепловую напряженность цеха

$$q = \frac{\Sigma Q_{т.\,в} + Q_{с.\,р}}{V} = \frac{6400 + 37\,000}{24 \cdot 18 \cdot 6} \approx 16{,}7\ Вт/м^3.$$

Поскольку $q < 23$ Вт/м³, $t_{р.\,з} = t_н^А + 3 = 25{,}4 + 3 = 28{,}4$ °С ($\rho_{р.\,з} = 1{,}171$ кг/м³); $t_{пр} = t_н^А = 25{,}4$ °С ($\rho_{пр} = 1{,}183$ кг/м³). Температуру воздуха, удаляемого из верхней зоны в количестве $L_{в.\,з} = 24 \cdot 18 \cdot 6 \approx 2600$ м³/ч, определим по формуле $t_{ух} = t_{р.\,з} + \beta\,(H - 2) = 28{,}4 + 0{,}3\,(15 - 2) = 32{,}3$ °С ($\rho_{ух} = 1{,}156$ кг/м³), где градиент $\beta = 0{,}3$ принят по табл. 5.4.

Составим уравнение тепловоздушного баланса $\Sigma Q_{т.\,в} + Q_{с.\,р} + Q_{пр} = Q_{м.\,о} + Q_{в.\,з}$. В развернутом виде с подстановкой числовых значений получим

$$\Sigma Q_{т.\,в} + Q_{с.\,р} + 0{,}278\,(L_{м.\,о} + L_{в.\,з})\,c\rho_{пр}t_{пр} = 0{,}278L_{м.\,о}c\rho_{р.\,з}t_{р.\,з} +$$
$$+ 0{,}278L_{в.\,з}c\rho_{ух}t_{ух} \cdot 6400 + 37\,000 + 0{,}278\,(56\,300 + 2600)\ 1{,}005 \cdot 1{,}183 \times$$
$$\times 25{,}4 = 0{,}278 \cdot 56\,300 \cdot 1{,}005 \cdot 1{,}171 \cdot 28{,}4 + 0{,}278 \cdot 2600 \cdot 1{,}005 \times$$
$$\times 1{,}56 \cdot 32{,}3.$$

В результате вычислений правая часть уравнения оказалась больше левой: $537\,875 < 550\,235$. Это объясняется тем, что температура воздуха в рабочей зоне принята по максимально допустимому превышению (+ 3 °С). Обозначим

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

$t_{р.з} = t_н^А + \Delta t = 25{,}4 + \Delta t$: $t_{ух} = t_н^А + \Delta t + \beta (H - 2) = 25{,}4 + \Delta t + 0{,}3\,(15 - 2) = 29{,}3 + \Delta t$, значения $\rho_{р.з}$ и $\rho_{ух}$ ввиду их незначительности изменения сохраним прежними. Составим уравнение балансового равенства

$$6\,400 + 37\,000 + 0{,}278\,(56\,300 + 2600)\,1{,}005 \cdot 1{,}183 \cdot 25{,}4 = 0{,}278 \cdot 56\,300 \cdot 1{,}005 \cdot 1{,}171\,(25{,}4 + \Delta t) + 0{,}278 \cdot 2600 \cdot 1{,}005 \cdot 1{,}156\,(29{,}3 + \Delta t),$$

откуда $\Delta t \approx 2{,}4$ и $t_{р.з} = 25{,}4 + 2{,}4 = 27{,}8$ вместо ранее принятой температуры, равной 28,4 °С.

Пример 4. Определить расход воздуха для ассимиляции избытков теплоты и влаги, выделяющихся в цехе для сушки трикотажного полотна, при следующих условиях: количество явной теплоты $Q_я = 62\,500$ Вт, количество скрытой теплоты $Q_с = 30\,000$ Вт, влагопоступления $W = 45\,000$ г/ч. Параметры воздушной среды рабочей зоны: $t_{р.з} = 20$ °С, $\varphi_{р.з} = 65$ %, температура приточного воздуха $t_{пр} = 15$ °С.

Р е ш е н и е. Наносим на $I - d$-диаграмму точку В по $t_{р.з} = 20$ °С и $\varphi_{р.з} = 65$ %, получаем $I_{р.з} = 45{,}25$ кДж/кг, $d_{р.з} = 9{,}8$ г/кг. Вычисляем угловой коэффициент луча процесса $\varepsilon = \Sigma Q / W = (Q_я + Q_с)/W = (62\,500 + 30\,000)/45\,000 = 2$.

Через точку В параллельно найденному значению $\varepsilon = 2$ проводим прямую до пересечения с линией изотермы $t_{пр} = 15$ °С и получаем точку П, которой соответствуют $I_{пр} = 36$ кДж/кг, $d_{пр} = 8{,}55$ г/кг, $\varphi_{пр} = 80$ %. Определяем расход воздуха

$$G = (Q_я + Q_с)/(I_{р.з} - I_{пр}) = W/(d_{ух} - d_{пр}) = 3{,}6\,(62\,500 + 30\,000)/(45{,}25 - 36) = 45\,000/(9{,}8 - 8{,}55) = 36\,000 \text{ кг/ч},$$

или $G\,(273 + t_{пр})/353 = 36\,000\,(273 + 15)/353 = 29\,370$ м³/ч.

Пример 5. В мочильном отделении трикотажной фабрики, расположенной в г. Курске, в течение одного часа выделяется 15 кг влаги. Определить потребный воздухообмен для теплого периода года.

Р е ш е н и е. По СНиП [42] для г. Курска $t_н^А = 22{,}9$ °С, $I_н^А = 51$ кДж/кг. По этим данным с помощью $I - d$-диаграммы находим $d_н = d_{пр} = 11$ г/кг. Значение $d_{ух}$ примем по максимально допустимому значению относительной влажности $\varphi_{ух} = 75$ % и температуре уходящего воздуха $t_{ух} = t_н^А + 5 + 22{,}9 = 28$ °С. По $I - d$-диаграмме находим $d_{ух} = 17$ г/кг. Потребный воздухообмен

$$G = \frac{W 1000}{d_{ух} - d_{пр}} = \frac{15 \cdot 1000}{17 - 11} = 2500 \text{ кг/ч}.$$

Пример 6. В окрасочном отделении выделяются вредности, обладающие суммацией действия, кг/ч: ацетон — 3,5, бутилоцетат — 8, ксилол — 10. Определить количество воздуха для их ассимиляции. В приточном воздухе названные вредные вещества не обнаружены.

Р е ш е н и е. По табл. 5.1 находим значения ПДК: ацетон 200 мг/м³, бутилоцетат 200 мг/м³, ксилол 50 мг/м³ Расчетный воздухообмен

$$L = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \frac{C_3}{ПДК_3} = \frac{3{,}5 \cdot 10^6}{200} + \frac{8 \cdot 10^6}{200} + \frac{10 \cdot 10^6}{50} = 257 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Пример 7. Для покрытия поверхностей крупногабаритных деревянных конструкций нитроэмалью в малярном цехе применяется рассеянная окраска распылением. В краску вводится 70 % растворителя и 15 % разжижнтеля (85 % к массе эмали).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Массовый состав растворителя, %: ацетон 80, бензол 20; массовый состав разжижителя, %: ацетон 30, этиловый спирт 10, бутиловый спирт 10, бензол 50. Определить воздухообмен в цехе, если за 1 ч окрашивается $F = 100$ м^2 поверхности изделий с удельным расходом нитроэмали $g = 180$ г/м^2. Общий коэффициент, характеризующий процесс окраски, $\kappa = 0{,}1$.

Р е ш е н и е. Определяем общий расход нитроэмали $G_{н.э} = gF = 180 \cdot 100 = 18\,000$ г/ч $= 18$ кг/ч. Вычисляем содержание каждого компонента в долях к массе нитроэмали:

ацетон $m_1 = 0{,}8 \cdot 0{,}7 + 0{,}7 \cdot 0{,}15 = 0{,}605$;
этиловый спирт $m_2 = 0{,}1 \quad 0{,}15 = 0{,}015$;
бутиловый спирт $m_3 = 0{,}1 \quad 0{,}15 = 0{,}015$;
бензол $m_4 = 0{,}2 \quad 0{,}7 + 0{,}5 \quad 0{,}15 = 0{,}215$;
$\Sigma m = 0{,}85$.

Находим значение комплекса

$$B = 1 - \frac{1}{k\tau}(1 - e^{-k\tau}) = 1 - \frac{1}{0{,}1 \cdot 60}(1 - 2{,}718^{-0{,}1 \cdot 60}) = 0{,}833.$$

Определяем количество летучих:

ацетон $G_1 = G_{н.э} mB = 18 \cdot 0{,}605 \cdot 0{,}833 = 9{,}07$ кг/ч;
этиловый спирт $G_2 = 18 \cdot 0{,}015 \cdot 0{,}833 = 0{,}224$ кг/ч;
бутиловый спирт $G_3 = 18 \cdot 0{,}015 \cdot 0{,}833 = 0{,}224$ кг/ч;
бензол $G_4 = 18 \cdot 0{,}215 \cdot 0{,}833 = 3{,}21$ кг/ч.

Предельно допустимая концентрация растворителей в воздухе рабочей зоны (табл. 5.1):

ацетон $ПДН_1 = 200$ мг/м$^3 = 0{,}2$ г/м^3;
этиловый спирт $ПДК_2 = 1000$ мг/м$^3 = 1$ г/м^3;
бутиловый спирт $ПДК_3 = 10$ мг/м$^3 = 0{,}01$ г/м^3;
бензол $ПДК_4 = 5$ кг/м$^3 = 0{,}005$ г/м^3.

Требуемый объем вентиляционного воздуха

$$L = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \frac{C_3}{ПДК_3} + \frac{G_4}{ПДК_4} = \frac{9070}{0{,}2} + \frac{224}{1} + \frac{224}{0{,}01} + \frac{3210}{0{,}005} = 710\,000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

5.3. РАСЧЕТ АЭРАЦИИ

Аэрация представляет собой естественный организационный воздухообмен, происходящий вследствие разности плотностей наружного и внутреннего воздуха, действия ветра и их совокупного воздействия. Применяется в цехах со значительными тепловыделениями, если концентрация пыли и вредных газов в приточном воздухе не превышает 30 % ПДК в рабочей зоне. Аэрация недопустима в цехах с источниками выделения газов и паров вредных веществ или пыли из-за возможности загрязнения окружающей среды, а также в помещениях с искусственным климатом.

При известном воздухообмене цель расчёта аэрации — определить потребную площадь аэрационных проемов для обеспечения заданной температуры воздуха в рабочей зоне. Возможно решение и обратной задачи. Приточные проемы устраивают в наружных сте-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

нах на высоте не менее 0,3 м, но не выше 1,8 м для теплого периода года, и не менее 4 м от уровня пола или рабочей площадки до низа вентиляционного проема для переходных условий и холодного периода. Подачу неподогретого воздуха в холодный период года на более низких отметках допускается проектировать, предусматривая мероприятия, предотвращающие непосредственное воздействие холодного воздуха на работающих. Площади аэрационных проемов определяют по формулам:

$$\text{приточных } F_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{пр}}}{3\,600\sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{пр}}\rho_{\text{н}}}{\xi_{\text{пр}}}}};$$

$$\text{вытяжных } F_{\text{выт}} = \frac{G_{\text{ух}}}{3\,600\sqrt{\frac{2\Delta p_{\text{выт}}\rho_{\text{ух}}}{\xi_{\text{выт}}}}}.$$

Здесь $G_{\text{пр}}$ — количество приточного воздуха, кг/ч; $G_{\text{ух}}$ — количество воздуха, удаляемого через фонарь, кг/ч; $\Delta P_{\text{пр}}$ — потери давления на проход воздуха приточные проемы; Па; $\Delta P_{\text{выт}}$ — потери давления на проход воздуха через проемы фонаря, Па; $\rho_{\text{н}}$, $\rho_{\text{ух}}$ — плотность наружного (приточного) и удаляемого воздуха, кг/м^2; $\zeta_{\text{пр}}$ — коэффициент местного сопротивления приточных проемов, для одинарных верхнеподвесных створок с углом открытия $\alpha = 60°$, $\xi_{\text{пр}} = 3{,}5$; $\xi_{\text{выт}}$ — коэффициент местного сопротивления фонаря, для П-образного фонаря с ветрозащитными панелями и углом открытия створок $\alpha = 45$ $\xi_{\text{выт}} = 6{,}2$ (при отношении ширины фонаря к его высоте $A/h_{\text{ф}} = 3{,}3$ и высоты фонаря к расстоянию между фонарем и ветрозащитной панелью $h_{\text{ф}}/l = 2$). Значения $\xi_{\text{пр}}$, $\xi_{\text{выт}}$ при других углах открытия приведены в справочнике [19].

При расчете аэрации обычно рассматривают наиболее неблагоприятные условия, т. е. без учета ветрового давления. Для обеспечения устойчивой аэрации площадь приточных проемов должна быть несколько больше вытяжных, что обеспечит относительно невысокие скорости поступления воздуха в цех и устойчивость восходящих конвективных потоков. С этой целью значение $\Delta p_{\text{пр}}$ следует принимать в пределах $\Delta p_{\text{пр}} = np = (0{,}1 \ldots 0{,}4)p$ [19], где $p = 9{,}81h(\rho_{\text{н}} - \rho_{\text{ух}})$ — естественное (гравитационное) давление, Па; h — расстояние между центром приточных и вытяжных проемов в фонаре, м.

Рассмотрим пример расчета аэрации цеха при равенстве количества приточного и удаляемого воздуха и действии только гравитационного давления. Более подробные сведения о других возможных случаях расчета приведены в работах [16; 19].

Пример. Определить площадь приточных и вытяжных аэрационных проемов при следующих условиях: температура приточного воздуха $t_{\text{пр}} = t_{\text{п}}^{\text{А}} = +25$ °С, $\rho_{\text{н}} = 1{,}185$ кг/м^3; температура удаляемого воздуха $t_{\text{ух}} = +32$ °С, $\rho_{\text{ух}} = 1{,}157$ кг/м^3; $G_{\text{пр}} = G_{\text{ух}} = 150\,000$ кг/ч. Здание однопролетное, расстояние между центром приточных и вытяжных проемов в фонаре $h = 8$ м.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Р е ш е н и е. Определяем гравитационное давление $p = 9{,}81h\,(\rho_н - \rho_{ух}) = 9{,}81 \cdot 8\,(1{,}185 - 1{,}157) = 2{,}2$ Па. Примем долю давления, расходуемого на проход воздуха через приточные проемы, $n = 0{,}25$, тогда $\Delta p_{пр} = np = 0{,}25 \cdot 2{,}2 = 0{,}55$ Па; $\Delta p_{выт} = p - \Delta p_{пр} = 2{,}2 - 0{,}55 = 1{,}65$ Па. Находим площади аэрационных проемов:

$$F_{пр} = \frac{G_{пр}}{3600\sqrt{\dfrac{2\Delta p_{пр}\rho_н}{\zeta_{пр}}}} = \frac{150\,000}{3600\sqrt{\dfrac{2 \cdot 0{,}55 \cdot 1{,}185}{3{,}5}}} = 68 \text{ м}^2;$$

$$F_{выт} = \frac{G_{ух}}{3600\sqrt{\dfrac{2\Delta p_{выт}\rho_{ух}}{\zeta_{выт}}}} = \frac{150\,000}{3600\sqrt{\dfrac{2 \cdot 1{,}65 \cdot 1{,}157}{6{,}2}}} = 53 \text{ м}^2.$$

5.4. РАСЧЕТ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕХАХ

В задачу организации воздухообмена помещения струйными течениями различного типа (плоские, компактные, веерные, закрученные) входит обеспечение технологических или санитарно-гигие-

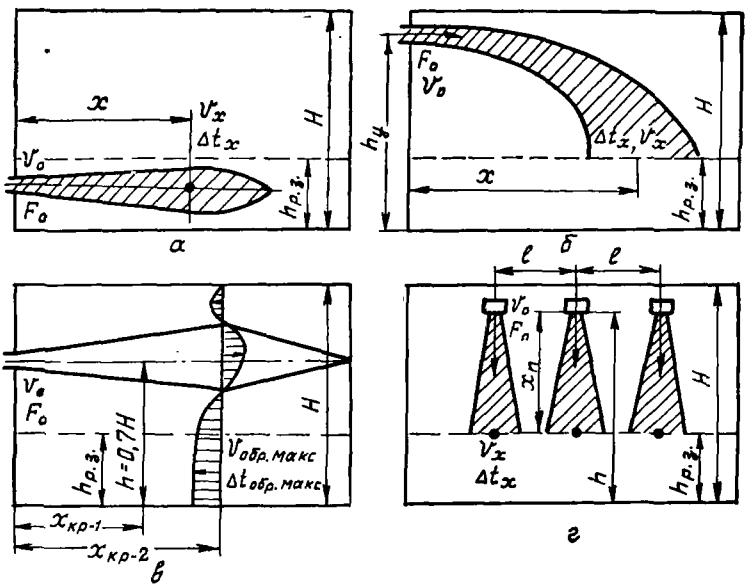


Рис. 5.1. Схемы распределения приточного воздуха в промышленных цехах: *а*—струями, выпущенными в рабочей зоне и затухающими в ней; *б*—струями, выпущенными в верхней зоне и затухающими в рабочей зоне; *в*—струями, выпущенными в верхней зоне и затухающими в ней с омыванием рабочей зоны обратным потоком; *г* — вертикальными струями из верхней зоны в направлении рабочей и затухающими в ней

нических микроклиматических условий в рабочей (обслуживаемой) зоне (рис. 5.1).

В соответствии с требованиями СНиП [42] в помещениях с избытками явной теплоты и в помещениях, в которых тепловыделения сопровождаются выделением влаги и вредных веществ, приточный

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

воздух следует подавать системами вентиляции с механическим побуждением в рабочую зону. Подачей воздуха в рабочую зону считается подача струями, направленными вертикально вниз, из воздухораспределителей, расположенных на уровне не более 6 м от пола, а также наклонными и горизонтальными струями на уровне не более 4 м и при расположении воздухораспределителей непосредственно в рабочей зоне.

Приточный воздух подается выше рабочей зоны в таких помещениях: с выделением пыли; с незначительными избытками явной теплоты, если удаление воздуха предусматривается преимущественно местными отсосами или системами вытяжной общеобменной вентиляции из нижней зоны; с незначительными выделениями влаги при незначительных избытках явной теплоты (тепловлажностное отношение 8400 кДж/кг и более) или только с незначительными выделениями влаги; вспомогательных помещениях, расположенных на площади основного производства.

В помещениях со значительными влаговыделениями, сопровождающимися тепловыделениями (тепловлажностное отношение $< 8\,400$ кДж/кг), подачу приточного воздуха следует осуществлять так:

выше рабочей зоны минимальным количеством струй в случае рассредоточенного поступления влаги в помещение, выделяющейся из жидкости температурой менее 40 °С, и при отсутствии избытков явной теплоты;

в рабочую зону при температуре приточного воздуха, близкой к температуре воздуха в рабочей зоне, и в верхнюю зону с перегревом приточного воздуха при сосредоточенном выделении влаги в помещении от аппаратов и другого оборудования, температура жидкости в которых выше 40 °С.

Для реализаций представленных на рис. 5.1 схем воздухообмена необходимо ограничить значения текущего критерия Архимеда $\mathrm{Ar}_x = \frac{n}{m^2}\mathrm{Ar}_0\left(\frac{x}{\sqrt{F_0}}\right)^2$ предельными значениями Ar_x (табл. 5.10) [8]. Характеристики воздухораспределителей, применяемых в промышленных цехах (помещениях), даны в табл. 5.11 [33].

Рассмотрим расчетные зависимости и последовательность расчета различных схем воздухораспределения [3; 7; 8; 33].

Подача воздуха непосредственно в рабочую зону (рис. 5.1, *а*) осуществляется трехсторонними пристенными воздухораспределителями типов ВП, НВ или панельными воздухораспределителями типа ВПП (рис. 5.2).

Принята следующая последовательность расчета: 1. При заданной скорости движения воздуха в рабочей зоне $v_{\text{р. з}} = v_x$ определяют скорость истечения воздуха из приточного насадка v_0, м/с:

для осесимметричных и веерных струй $v_0 = v_x \dfrac{x}{m\sqrt{F_0 k_{\text{в}}}}$;

для плоских струй $v_0 = v_x \dfrac{\sqrt{x}}{m\sqrt{b_0 k_{\text{в}}}}$,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.10

Схема подачи приточного воздуха (рис. 5.1)	Охлажденная струя	Нагретая струя
а	Схема циркуляции не зависит от Ar_x	$Ar_x \leqslant 0{,}4$ $x = (0{,}8 - 1)\,B_п$
б	То же	$Ar_x \leqslant 0{,}4$ $x = H - h_{р.з}$
в	$Ar_x \leqslant 0{,}2$ $x = x_{кр.2} = 0{,}22m\sqrt{F_п}$	
г	Схема циркуляции не зависит от Ar_x	$Ar_x \leqslant 0{,}5$ $x = H - h_{р.з}$

Примечание. Перечень цехов, в которых используются рекомендованные схемы вентиляции (рис. 5.1), приведен далее в табл. 7.12.

где v_x — скорость на оси приточной струи на расстоянии x от воздухораспределителя, м/с; x — расстояние от воздухораспределителя до рабочего места, м. Обычно принимается за пределами начального участка струи, т. е. при $x/\sqrt{F_0} > m$; m — коэффициент изменения скорости (табл. 5.11); F_0 — расчетная площадь воздухораспределителя, м²; b_0 — размер стороны воздухораспределителя, м; $k_в$ — коэффициент взаимодействия струй (табл. 5.12) [33].

В том случае, когда значения v_0, F_0 заданы, производится проверочный расчет и определяется максимальная скорость в рабочей зоне помещения $v_{р.з}$.

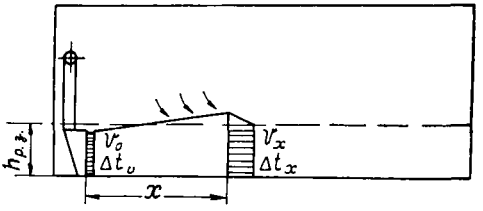


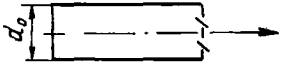
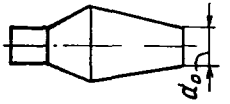
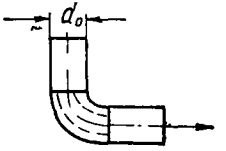
Рис. 5.2. Схема воздушных потоков в помещении при раздаче воздуха пристенными панельными и трехсторонними воздухораспределителями

2. Находят количество приточного воздуха, подаваемого одним воздухораспределителем, $L_0 = 3600 v_0 F_0$ и потребное количество воздухораспределителей, $z = L_{сум} : L_0$, где $L_{сум}$ — суммарное количество воздуха, подаваемого в помещение, м³/ч. Если полученное в результате расчета количество воздухораспределителей принятого типа и размера установить не представляется возможным, то выбирается другой тип или размер воздухораспределительного устройства.

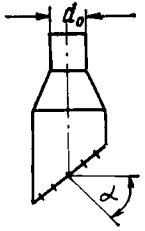
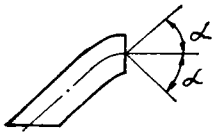
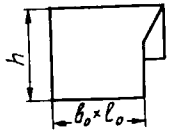
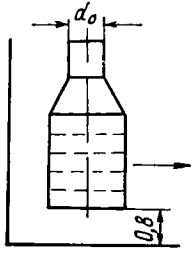
3. Рассчитывают максимальную разность температур при входе струи в рабочую зону: для осесимметричных и веерных струй $\Delta t_x = \frac{n \Delta t_0 \sqrt{F_0}}{x} k_в$; для плоских струй $\Delta t_x = \frac{n \Delta t_0 \sqrt{b_0}}{x} k_в$. Здесь n —

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.11

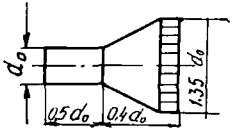
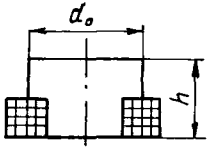
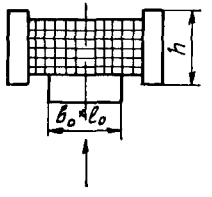
Тип воздухораспределителя	Схема воздухораспределения	Коэффициенты m	Коэффициенты n	Коэффициенты ς	Область применения
Подача осесимметричными (компактными) струями. Цилиндрическая труба		6,8	4,8	1,1	Сосредоточенная подача воздуха из верхней зоны в рабочую прямым и обратным потоками
Решетки перфорированные, сетки, решетки:					Подача воздуха из верхней зоны в рабочую с регулированием наклона лопасти в горизонтальной плоскости
$k_{ж.с} = 0{,}5...0{,}8$		6,0	4,2	1,8	
$k_{ж.с} = 0{,}5...0{,}2$		5,6	4,0	1,8	
$k_{ж.с} = 0{,}05...0{,}2$		4,6	3,6	1,8	
		6,6	4,5	1,1	
Поворотный патрубок типа ПП					Сосредоточенная подача воздуха из верхней зоны в рабочую прямым и обратным потоками
Поворотный воздухораспределитель типа ППД		6,6	4,5	1,2	То же

Электронная библиотека http://lgy.khstu.ru/

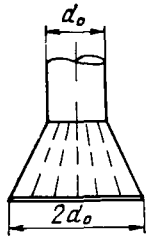
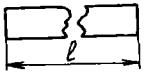
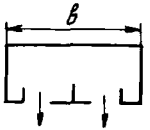
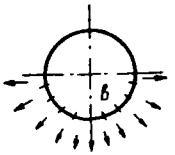
Душирующий патрубок Батурина с верхним подводом ПДв при α°:					Душирование постоянных рабочих мест с увлажнением и без увлажнения воздуха
30		5,8	4,0	5,2	
45		5,1	3,5	2,6	
60		4,0	2,8	2,0	
Душирующий патрубок Батурина с нижним подводом ПДн при $\alpha = \pm 20°$		4,5	3,2	2,8	То же
Воздухораспределитель типа ВГК		6,2	5,1	1,9	Сосредоточенная подача воздуха в верхнюю зону, а также душирование групп постоянных рабочих мест
Воздухораспределитель пристенный типа ВП:					Непосредственная подача воздуха в рабочую зону
$2 \leqslant x/\sqrt{F_0} < 7$		0,7	1,5		
$7 \leqslant x/\sqrt{F_0} < 9$		0,9	2,2	0,7	
$x/\sqrt{F_0} > 9$		1,1	2,6		

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Окончание табл. 5.11

Тип воздухораспределителя	Схема воздухораспределения	Коэффициенты			Область применения
		m	n	ς	
Подача неполными веерными струями. Воздухораспределитель с регулируемым направлением потока		1,9	1,7	1,0	Подача воздуха в промышленных и административно-общественных зданиях с регулированием угла наклона лопасти в горизонтальной плоскости
Воздухораспределитель приколонный, регулируемый типа НРВ		2,0	1,4	4,0	Подача воздуха с установкой у колонн и стен на высоте 3...5 м от пола с возможностью регулирования угла наклона лопаток в горизонтальной плоскости
Воздухораспределитель типа ВГВ		1,1	1,8	1,7	То же

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Подача веерными и осесимметричными струями. Шестидиффузорный плафон		m_1 m_0 1,2 1,0	$n_в$ n_0 1,6 1,0	1,0	Рассеянная подача воздуха в помещения с повышенными требованиями к интерьеру
Подача плоскими струями. Прямоугольное щелевое отверстие		2,5 (при $x < 6l$)	2,0		**Подача в верхнюю зону с налипанием на потолок**
Воздуховод перфорированный прямоугольный		2,1	1,7	2,4	Рассеянная подача воздуха в верхнюю зону в административно-общественных зданиях
Воздуховод перфорированный круглый ВПК		0,5	1,5	2,4	Рассеянная подача воздуха в верхнюю зону в гальванических, травильных, деревообделочных, дробильных и др. цехах

Примечания. 1. Конструктивные размеры воздухораспределителей приведены в работе [33].

2. Для подачи воздуха непосредственно в рабочую зону следует применять воздухораспределители типов НВ, ВП, ВПП, ВПЭП, ВЭП.

3. Для подачи воздуха выше рабочей зоны и кратности воздухообмена менее 10 $ч^{-1}$ рекомендуются воздухораспределители типов ВГК, ВЭС, НРВ, РР.

4. То же при 10...20 $ч^{-1}$ — ВДУМ, ВЦ, ВЭЦ, НРВ, РР, ВПВв.

5. То же при 20 $ч^{-1}$ — ВДУМ, ВПК, ВПЭП.

6. Рекомендуемая высота установки воздухораспределителей таких типов: ВП — 0,8 м от пола, ВПП — на полу; РР, ВЭЦ, ВПЭП, НРВ до 4 м от пола; НРВ, ВГК, ВДШ, ВДУМ, ВПК, ВЭПв, ВЦ — 4...6 м от пола; ВЭС, ВГК — более 6 м от пола.

Электронная библиотека http://lgv.khstu.ru/

Таблица 5.12

x/l'	Значения $k_в$ при количестве струй								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1	1 / 1
20	1,15 / 1,3	1,2 / 1,35	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4	1,2 / 1,4
30	1,3 / 1,35	1,4 / 1,55	1,45 / 1,65	1,45 / 1,7	1,45 / 1,7	1,45 / 1,7	1,45 / 1,7	1,45 / 1,7	1,45 / 1,7
40	1,35 / 1,4	1,55 / 1,65	1,65 / 1,8	1,7 / 1,9	1,7 / 1,95	1,7 / 1,95	1,7 / 1,95	1,7 / 1,95	1,7 / 1,95
50	1,35 / 1,4	1,6 / 1,65	1,75 / 1,85	1,85 / 2	1,9 / 2,1	1,9 / 2,15	1,9 / 2,2	1,9 / 2,2	1,9 / 2,2
60	1,4 / 1,4	1,65 / 1,7	1,8 / 1,9	1,25 / 2,05	2 / 2,2	2,05 / 2,25	2,1 / 2,35	2,1 / 2,35	2,1 / 2,4
80	1,4 / 1,4	1,7 / 1,7	1,9 / 1,95	2,05 / 2,15	2,15 / 2,3	2,25 / 2,4	2,3 / 2,5	2,35 / 2,6	2,4 / 2,65
100	1,4 / 1,4	1,7 / 1,7	0,95 / 1,95	2,1 / 2,15	2,25 / 2,35	2,4 / 2,5	2,45 / 2,6	2,55 / 2,7	2,6 / 2,8

Примечание. 1. x — длина струи: м; l' — половина расстояния между воздухораспределителями, м. 2. Цифры в числителе — для скорости, в знаменателе — для температуры.

коэффициент изменения температуры (см. табл. 5.11); Δt_0 — разность температур воздуха в помещении и на выходе из воздухораспределителя, °С.

Пример. Определить количество воздуха, подаваемого пристенными воздухораспределителями, и их общее количество для раздачи $L_{сум} = 18\,000$ м³/ч при расстоянии до рабочего места $x = 2{,}8$ м и допустимой скорости движения воздуха на рабочем месте $v_x = 0{,}5$ м/с. В цехе имеются избытки теплоты.

Решение. По табл 5.13, где приведена техническая характеристика пристеных воздухораспределителей, принимаем воздухораспределитель ВП-3, для которого $F_0 = 0{,}17$ м². Воздухораспределители устанавливаем по одному у колонны с шагом $l = 6$ м, при этом $x/l'' \approx 2{,}8/3 \approx 1$, $k_в = 1$.

Для нахождения значений m, n вычисляем отношение $\frac{x}{\sqrt{F_0}} = \frac{2{,}8}{\sqrt{0{,}17}} = 6{,}82$. Согласно табл. 5.11 (поз. 8) $m = 0{,}7$; $n = 1{,}5$.

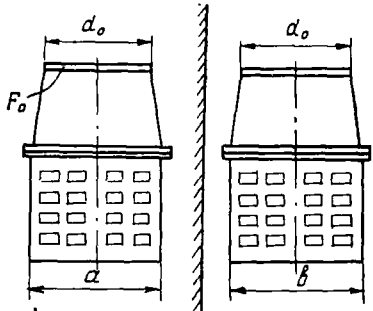
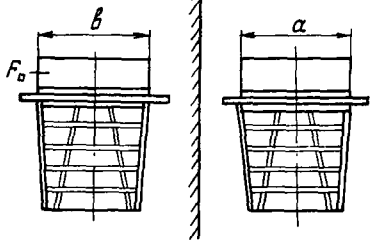
Определяем скорость истечения воздуха из воздухораспределителя

$$v_0 = \frac{v_x x}{m\sqrt{F_0}\,k_в} = \frac{0{,}5 \cdot 2{,}8}{0{,}7\sqrt{0{,}17} \cdot 1} \approx 4{,}9 \text{ м/с.}$$

и соответствующей ей расход $L_0 = 3600 F_0 v_0 = 3600 \cdot 0{,}17 \cdot 4{,}9 \approx 3000$ м³/ч. Находим общее количество воздухораспределителей $z = L_{сум}/L_0 = 18\,000/3000 = 6$ шт.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 5.13

Конструкция	Типоразмер	d_0, мм	a, мм	b, мм	Расчетная площадь воздухораспределителя F_0, м²	Длина начального участка струи $m\sqrt{F_0}$, м
	ВП-2	250	200	310	0,1	0,2
	ВП-3	315	250	460	0,17	0,25
	ВП-4	400	400	610	0,29	0,3
	ВП-5	500	500	510	0,41	0,4
	НВ-21	—	413	426	0,375	0,4
	НВ-22	—	425	450	0,582	0,45
	НВ-23	—	437	475	0,78	0,5

Максимальная разность температур на рабочем месте

$$\Delta t_x = \frac{n\Delta t_0 \sqrt{F_0}}{x} k_в = \frac{1{,}5 \cdot 8\sqrt{0{,}17}}{2{,}8} \cdot 1 \approx 2\,^\circ\text{C}.$$

Здесь $\Delta t_0 = 8\,^\circ$C принята как максимально допустимая при раздаче водуха не ближе 2 м от рабочего места. Иными словами, если температура воздуха рабочей зоны $t_{р.з} = 16\,^\circ$C, допустимая минимальная температура приточного воздуха должна быть $t_{пр} = t_{р.з} - \Delta t_0 = 16 - 8 = 8\,^\circ$C, при этом на рабочем месте, т. е. на расстоянии 2,8 м от места выпуска, температура $t_{р.м} = t_{р.з} - \Delta t_x = 16 - 2 = 14\,^\circ$C, что вполне допустимо для систем промышленной вентиляции.

Подача воздуха в рабочую зону на высоте не более 4 м от уровня пола (рис. 5.1, *б*) рассматривается на случае горизонтальной раздачи приколонными воздухораспределителями типа НРВ (рис. 5.3, табл. 5.14). Воздухораспределители рекомендуется размещать у колонн производственных зданий на высоте 3...4 м над полом так, чтобы оси приточных веерных струй направлялись по диагоналям

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

обслуживаемых квадратов или прямоугольных с соотношением сторон не более 2 : 3 участков площади по схеме на рис. 5.4. В холодный период года струю теплого воздуха следует направлять вниз с углом наклона 20...30°, ограничивая нагревание приточного воздуха значением критерия Архимеда $Ar_0 \leqslant 0{,}0055$, $(Ar_x \leqslant 0{,}4)$.

Расчет воздухораспределения ведется в следующей последовательности. Определяют удельные избытки явной теплоты $Q_{уд} = \sum Q_{т.\,в}/F$, где $\sum Q_{т.\,в}$ — суммарное количество явной теплоты

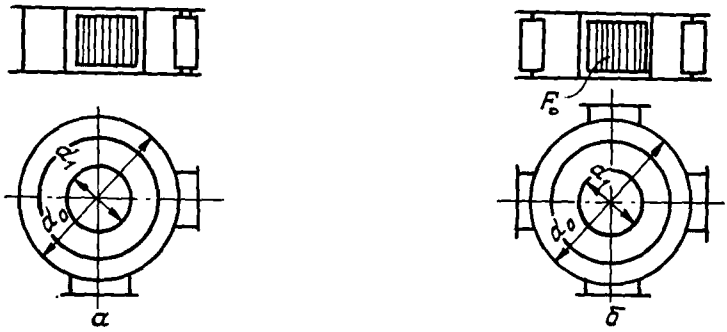


Рис. 5.3. Воздухораспределители серии НРВ:
а—двухструйные; *б*—четырехструйные

в помещении, Вт; F — площадь пола помещения, м². Затем находят удельный расход воздуха для ассимиляции теплоизбытков

$$L_{уд} = \frac{Q_{уд}}{0{,}278c\,(t_{р.\,з} - t_0)\,k_t\rho},$$

Таблица 5.14

Типоразмер		d_0, мм	F_0, м²	Номинальная объемная подача, м³/ч	Масса, кг
Присоединение сверху	Присоединение снизу				
		Две струи			
1ВД	1НД	315	0,028	2500	12
2ВД	2НД	400	0,056	5000	16
3ВД	3НД	630	0,112	10000	40
4ВД	4НД	710	0,168	15000	56
5ВД	5НД	900	0,252	22500	93
6ВД	6НД	1250	0,336	30000	130
		Четыре струи			
7ВД	7НД	400	0,028	5000	24
8ВД	8НД	500	0,056	10000	40
9ВД	9НД	710	0,112	22500	75
10ВД	10НД	1000	0,168	30000	100
11ВД	11НД	1250	0,252	45000	165
12ВД	12НД	1400	0,336	60000	220

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

где k_t — коэффициент воздухообмена (табл. 5.7). Тип приколонных воздухораспределителей и их объемную подачу принимают по табл. 5.14, а количество — после разбивки площади пола на строительные модули.

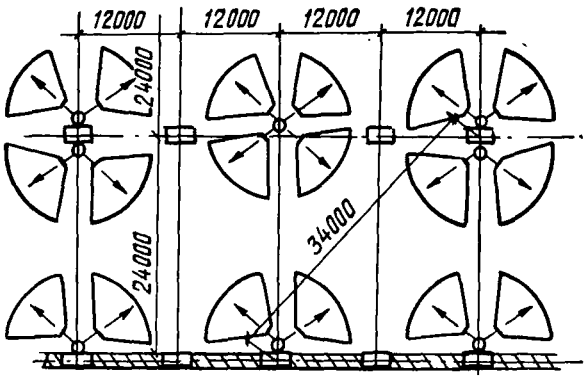


Рис. 5.4. Размещение воздухораспределителей в плане

Скорость выхода воздуха из патрубка $v_0 = L_{уд}/3600F_0n_0$, где n_0 — количество отверстий в патрубке. Критерий Архимеда

$$Ar_0 = 11{,}1\frac{(t_{р.\,з} - t_0)\sqrt{F_0}}{v_0^2(273 + t_{р.\,з})}.$$

После чего, зная высоту установки воздухораспределителя над рабочей зоной y и определяя значение правой ординаты графика рис. 5.5 по формуле $\bar{y} = y/(Ar_0\sqrt{F_0})$ с помощью штрихпунктирной кривой, по верхней абсциссе находят относительную координату $\bar{x}$, а затем координату точки входа охлажденной струи в рабочую зону $x = \bar{x}\sqrt{F_0}$.

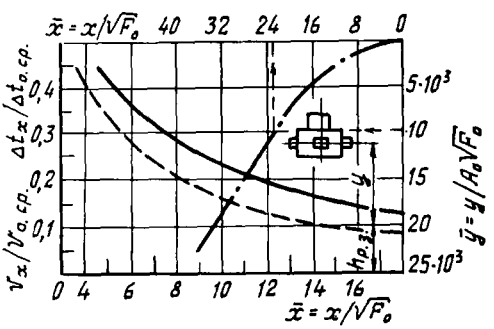


Рис. 5.5. График изменения относительных значений: максимальной скорости v_x (сплошная кривая), максимальной относительной разности температур Δt_x (пунктирная) и траектории оси горизонтально выпущеной веерной струи холодного воздуха на шкале ординат справа (штрихпунктирная) для воздухораспределителей серии НРВ

Максимальная скорость движения воздуха $v_x = v_0 m\sqrt{F_0}/x$. Температуру на оси струи при входе ее в рабочую зону Δt_x, т. е. на расстоянии x по горизонтали от выпускного патрубка, определяют по формуле $\Delta t_x = t_0\frac{n\sqrt{F_0}}{x}$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Если значения v_x, Δt_x превышают допустимые ($v_{доп}$, $\Delta t_{доп}$), следует уменьшить скорость истечения приточного воздуха v_0, приняв следующий типоразмер воздухораспределителя.

Допустимые значения $v_{доп}$, $\Delta t_{доп}$ вычисляют по зависимостям

$$v_{доп} = kv_{р.\,з}; \quad \Delta t_{доп\,1} = t_{р.\,з} + \Delta t_1; \quad \Delta t_{доп\,2} = t_{р.\,з} + \Delta t_2,$$

где k — коэффициент перехода от нормируемого значения скорости $v_{р.\,з}$ к ее максимальному значению в струе (табл. 5.15); Δt_1, Δt_2 — допустимые отклонения температуры в струе от нормируемой температуры $t_{р.\,з}$ соответственно при воздушном отоплении и ассимиляции избытков теплоты (табл. 5.15).

Таблица 5.15

Положение рабочего места относительно струи приточного воздуха	Категория работы	k		Δt_1, °С	Δt_2, °С
		Начальный участок	Основной участок		
В зоне прямого воздействия струи	I	1	1,4	5	2
	IIа, IIб, III	1	1,8		
Вне зоны прямого воздействия струи	I	1,3	1,6	6	2,5
	IIа, IIб, III	1,6	2		

Примечание. Зона прямого воздействия струи определяется поперечным сечением струи, в пределах которого скорости движения воздуха в струе могут колебаться от максимальной v_x до $0{,}5\,v_x$.

Пример [2]. Механосборочный цех габаритными размерами 24 × 72 × × 14 м расположен в центре сблокированного корпуса с сеткой колонн 24 × × 12. Цех находится в г. Воронеже, $t_н^А = 24{,}2$ °С, $I_н^А = 52{,}4$ кДж/кг, суммарные тепловыделения $\Sigma Q_{т.\,в} = 167\,600$ Вт. Ввиду того что подача наружного воздуха естественным путем невозможна, приток осуществляется механически с адиабатическим охлаждением.

Решение. По I — d-диаграмме при $P_б = 101{,}33$ кПа находим температуру охлажденного воздуха $t_{м.\,т} = 19$°С, после прохождения через вентилятор она повысится на один градус, т. е. $t_0 = 19 + 1 = 20$ °С. Удельные избытки явной теплоты

$$Q_{уд} = \Sigma Q_{т.\,в} : F = 167\,600 : (24 \cdot 72) = 97 \text{ Вт/м}^2.$$

Определяем тепловую напряженность исходя из условного объема цеха высотой 6 м: $q = Q_{уд} : 6 = 97 : 6 = 16{,}2$ Вт/м³. По табл. 1.8 при $q < 23$ и $t_н^А \leqslant$ $\leqslant 25$ °С температуру воздуха в рабочей зоне $t_{р.\,з}$ в теплый период для категории работ легкой и средней тяжести принимаем равной $t_{р.\,з} = 28$ °С.

Удельный расход воздуха, необходимый для ассимиляции изытков теплоты при $k_t = 1{,}2$ (принят по табл. 5.7 для $q_{р.\,з} = 0{,}7$ по аналогии с коэффициентом теплораспределения m для механосборочных цехов), получаем по формуле

$$L_{уд} = \frac{Q_{уд}}{0{,}278c\,(t_{р.\,з} - t_0)\,k_t\rho} = \frac{97}{0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot (28 - 20)\,1{,}2 \cdot 1{,}2} = 30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$$

Для нахождения производительности воздухораспределителей и их количества площадь пола разбиваем на модули размером (24 × 12) 6 = 1728 м²

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

(рис. 5.6). Расход воздуха на модуль площадью $f = 24 \times 12 = 288$ м² составит $L = L_{уд} f = 30 \cdot 288 = 10\,000$ м³/ч.

По табл. 5.14 принимаем шесть двухструйных воздухораспределителей типа ЗВД. Общая потребность в вентиляционном воздухе $L_{общ} = 6L = 6 \times 10\,000 = 60\,000$ м³/ч.

Скорость выхода воздуха из выпускного патрубка

$$v_0 = \frac{L}{3600 \cdot 2F_0} = \frac{10\,000}{3600 \cdot 2 \cdot 0{,}112} = 12{,}4 \text{ м/с}.$$

Критерий Архимеда

$$Ar_0 = 11{,}1 \frac{(t_{р.з} - t_0)\sqrt{F_0}}{v_0^2 (273 + t_{р.з})} = 11{,}1 \frac{(28 - 20) \cdot \sqrt{0{,}112}}{12{,}4^2 (273 + 28)} = 0{,}0006.$$

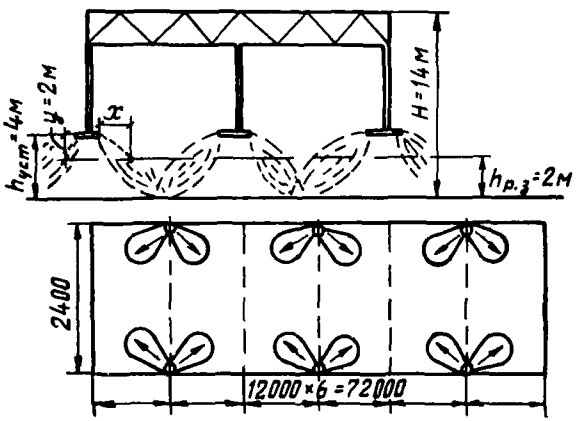


Рис.5.6. Схема установки приколонных воздухораспределителей

Вычисляем относительную ординату при $y = 2$ м

$$\bar{y} = \frac{y}{Ar_0 \sqrt{F_0}} = \frac{2}{0{,}0006 \sqrt{0{,}112}} \approx 10 \cdot 10^3$$

по графику рис. 5.6 находим относительную абсциссу $\bar{x} = \frac{x}{\sqrt{F_0}} = 23$, откуда получаем координату точки входа оси приточной струи в рабочую зону $x = \bar{x}\sqrt{F_0} = 23\sqrt{0{,}112} \approx 8$ м.

Максимальная скорость воздуха в точке входа струи в рабочую зону при $m = 2$ (табл. 5.11, поз. 10)

$$v_x = v_0 \frac{m\sqrt{F_0}}{x} = 12{,}4 \frac{2\sqrt{0{,}112}}{8} = 1 \text{ м/с},$$

что в пределах допустимой, так как $v_{доп} = kv_{р.з} = 2 \cdot 0{,}5 = 1$ м/с, где $v_{р.з} = 0{,}5$ принята по табл. 1.8.

Максимальная разность температур

$$\Delta t_x = \Delta t_0 \frac{n\sqrt{F_0}}{x} = (28 - 20) \frac{1{,}4\sqrt{0{,}112}}{8} \approx 0{,}5 \text{ °C},$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

при допустимом отклонении $\Delta t_2 = 2{,}5$ °С (табл. 5.15). В холодный период при переходе на воздушное отопление максимальный перегрев приточного воздуха определяем из равенства

$$\mathrm{Ar}_0 = 0{,}0055 = 11{,}1\,\frac{\Delta t_0 \sqrt{F_0}}{v_0^2 \mathrm{T}},$$

откуда $\Delta t_0 = 0{,}0055\,\dfrac{v_0^2 \mathrm{T}}{11{,}1\sqrt{F_0}} = 0{,}0055\,\dfrac{12{,}4^2\,(273+16)}{11{,}1\sqrt{0{,}112}} \approx 67$ °С.

Сосредоточенную подачу воздуха наклонными и горизонтальными струями [8] рассчитывают двумя способами: по прямому потоку, когда максимальная скорость и перепад температур в рабочей зоне создаются приточными струями; по обратному потоку, когда макси-

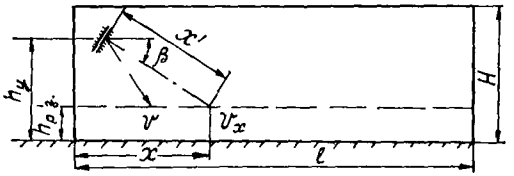


Рис. 5.7. Схема струи, направленной под углом к рабочей зоне

мальная скорость в рабочей зоне создается обратным потоком, индуцированным приточной струей.

Расчет по прямому потоку (рис. 5.7) производится при подаче воздуха под углом к рабочей зоне (см. рис. 5.1, *б*). Расстояние по горизонтали от выпускного устройства до места внедрения струи в рабочую зону x должно составлять 30...40 % длины обслуживаемого данным воздухораспределителем помещения (или части помещения), т. е. $x = (0{,}3...0{,}4)\,l_n$. Расстояние от воздухораспределителя до места внедрения струи в рабочую зону x' рекомендуется принимать в пределах (0,5...2) В, где В — ширина обслуживаемой части помещения, м. Угол наклона насадка к горизонту β не должен превышать 30°.

Допустимый перегрев приточного воздуха определяется по зависимости

$$\Delta t_{\text{доп}} = \frac{13{,}4 v_0^2 \sqrt{F_0} m^2}{(0{,}7x')^2 n},$$

справедливой при значении $\mathrm{Ar}_x \leqslant 0{,}4$, в котором за характерный размер x принят $x = 0{,}7x'$. Ограничение, накладываемое на величину Ar_x, связано с воздействием гравитационных сил: при бо́льших значениях, например при $\mathrm{Ar}_x \geqslant 0{,}5$, струя теплого воздуха не доходит до рабочей зоны и всплывает вверх, способствуя образованию застойных зон в нижней части помещения.

Если $\mathrm{Ar}_x < 0{,}1$ для осесимметричных струй и $\mathrm{Ar}_x < 0{,}15$ для плоских, доминирующее значение приобретают инерционные

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

силы, под действием которых струя распространяется прямолинейно.

Чтобы исключить возможность поступления струи в рабочую зону со скоростями v, превышающими v_x, воздухораспределители устанавливают на высоте $h_y = h_{р.з} + 0{,}12x'$.

Пример. Механический цех располагается в однопролетном зданин, длина которого $l_п = 90$ м, ширина В = 24 м, высота $H = 20$ м. Строительный объем $V = 36\,000$ м³, недостаток теплоты $NQ_{т.п} = 333\,000$ Вт.

Объем воздуха, удаляемый местнымн отсосамн, $L_{м.о} = 52\,600$ м³/ч, из верхней зоны $L_{в.з} = 36\,000$ м³/ч; объем прнточного воздуха $L_{п.у} = 86\,600$ м³/ч. Приточной вентиляции придаются функцни воздушного отопленнн. Воздух подается однпм воздухораспределителем с регулнруемым направлением потока (см. табл. 5.11, поз. 9) под углом в направленни рабочей зоны.

Р е ш е н н е. По табл. 1.7 допустимая подвнжность воздуха в рабочей зоне $v_{р.з} = v_x = 0{,}5$ м/с; допустимое отклонение ввиду возможности регулирования направлеиия струи $v_{доп} = v_x = kv_{р.з} = (1{,}8...2)\,v_{р.з} \approx 1$ м/с принимаем в качестве расчетного.

Скорость истечения струи нз приточного насадка примем $v_0 = 12$ м/с, найдем площадь его отверстия

$$F_0 = L_{п.у}/3600v_0 = 86\,600/3600 \cdot 12 = 2 \text{ м}^2$$

и диаметр $d_0 = \sqrt{F_0 4/\pi} = \sqrt{2 \cdot 4/3{,}14} = 1{,}6$ м.

Значения $m = 1{,}9$; $n = 1{,}7$; $\zeta = 1$ (по табл. 5.11), $k_в = 1$.

Определием расстояние до места внедрения струи в рабочую зону

$$x' = v_0 m \sqrt{F_0} \cdot k_в/v_x = 12 \cdot 1{,}9 \sqrt{2} \cdot 1/1 = 32 \text{ м};$$

рекомендуемые пределы $x' = (0{,}5...2)$ В $= (0{,}5...2) \cdot 24 = 12...48$.

Миннмальная высота установки воздухораспределителя $h_у = h_{р.з} + 0{,}12x' = 2 + 0{,}12 \cdot 32 \approx 6$ м.

Горизонтальное расстояние от воздухораспределителя до места внедрения струи

$$x = \sqrt{x'^2 - (h_у - h_{р.з})^2} = \sqrt{32^2 - (6-2)^2} \approx 32 \text{ м};$$

допустимые пределы $x = (0{,}3...0{,}4)\,l_п = (0{,}3...0{,}4) \cdot 90 = 27...36$ м.

Вычнсляем угол наклона воздухораспределителя к горизонту

$$\beta = \arcsin \frac{h_у - h_{р.з}}{x'} = \arcsin \frac{6-2}{32} \approx 6°.$$

Допустимый перегрев прнточного воздуха

$$\Delta t_{доп} = \frac{13{,}4 v_0^2 \sqrt{F_0}\, m^2}{(0{,}7x')^2 n} = \frac{13{,}4 \cdot 12^2 \sqrt{2} \cdot 1{,}9^2}{(0{,}7 \cdot 32)^2 \cdot 1{,}7} \approx 12\ °C,$$

действнтельный температурный перепад

$$\Delta t_0 = \frac{Q_{т.п}}{0{,}278 c \rho L_{п.у}} = \frac{333\,000}{0{,}278 \cdot 1{,}005 \cdot 1{,}2 \cdot 86\,600} \approx 11{,}5\ °C.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Следовательно, отопление цеха может быть совмещено с приточной вентиляцией. Находим избыточную температуру в месте внедрения струи

$$\Delta t_x = \Delta t_{доп} n \frac{\sqrt{F_0}}{x'} = 11{,}5 \cdot 1{,}7 \frac{\sqrt{2}}{32} \approx 0{,}9\ °C,$$

что также допустимо (см. табл. 5.15). Потери давления в воздухораспределителе

$$\Delta P = \xi \frac{v_0^2 \rho}{2} = 1 \frac{12^2 \cdot 1{,}2}{2} \approx 86\ Па.$$

Расчет по обратному потоку (рис. 5.8) производится при подаче воздуха горизонтальными струями (см. рис. 5.1, *в*). В этом случае, максимальная длина помещения $l_п$, обслуживаемая одним воздухораспределителем, должна равняться максимальной дальнобой-

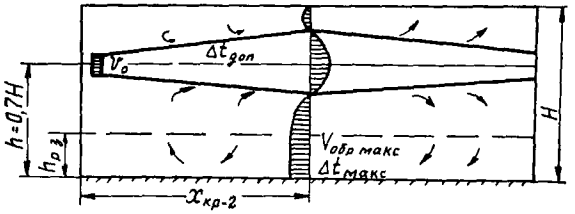


Рис. 5.8. Схема воздушного потока в помещении при сосредоточенной подаче горизонтальными струями

ности стесненной струи $x_{макс}$: для осесимметричных струй $x_{макс} = 0{,}62m\sqrt{F_п}$, для плоских струй $x_{макс} = 0{,}3m^2H$. Здесь $F_п$ — площадь поперечного сечения помещения, обслуживаемая одной струей, м²; H — высота помещения, м.

Если $l_п = (0{,}7 \ldots 1)x_{макс}$, максимальная скорость в рабочей зоне располагается во втором критическом сечении, при меньших значениях $l_п$ — в первом. Расстояние от приточного отверстия до первого $x_{кр_1}$ и второго $x_{кр_2}$ критических сечений определяется по таким зависимостям: для осесимметричных струй $x_{кр_1} = 0{,}22m\sqrt{F_п}$; $x_{кр_2} = 0{,}31m\sqrt{F_п}$; для плоских струй $x_{кр_1} = 0{,}1m^2H$; $x_{кр_2} = 0{,}15m^2H$.

Первым критическим сечением считается сечение, при котором площадь поперечного сечения струи составляет примерно 25 % площади поперечного сечения помещения, т. е. $F_{стр} \approx 0{,}25F_п$. До этого сечения стесненная струя подчиняется закономерностям развития свободных струй. Второе критическое сечение наступает при $F_{стр} \approx 0{,}4F_п$, после которого струя затухает и прекращает свое существование. Текущий критерий Архимеда $Ar_x \leqslant 0{,}2$.

Последовательность расчета следующая. В соответствии с табл. 1.8 допускаемая максимальная скорость воздуха в рабочей зоне помещения $v_{обр.\ макс} = v_{р.\ з}$. По табл. 5.11 выбирают тип воздухораспределителя, характеризуемый определенными значениями m, n, ξ.

Схему расположения воздухораспределителей в плане и по высоте цеха намечают исходя из условий заполнения рабочей зоны

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

обратным потоком. При этом ширину помещения $B_п$, приходящуюся на одну струю, выбирают с учетом отношения

$$\sqrt{F_п}/\sqrt{F_0} = 10 \ldots 5, \quad B_п \leqslant 1{,}5H;$$

$$\sqrt{F_п}/\sqrt{F_0} = 21 \ldots 11, \quad B_п \leqslant 2{,}5H;$$

$$\sqrt{F_п}/\sqrt{F_0} \geqslant 22, \quad B_п \leqslant 3{,}5H.$$

В зависимости от схемы размещения воздухораспределителей определяют их количество Z и длину участка помещения $l_п$, обслуживаемого одним воздухораспределителем. При расстановке приточных патрубков необходимо учитывать условие $l_п = (0{,}7 \ldots 1{,}0)\, x_{макс}$.

Находят объем воздуха, подаваемого одним воздухораспределителем.

Площадь воздухораспределителя

$$\sqrt{F_0} = \frac{0{,}78L_0}{v_{обр.\ макс}\sqrt{F_п}3600}.$$

Расстояние от выпускного устройства до второго критического сечения $x_{кр_2} = 0{,}31m\sqrt{F_п}$. Потери давления в воздухораспределителе $\Delta P = \xi(v_0^2\rho) : 2$.

При использовании приточной системы в качестве отопительной подсчитывают температурный перепад, обеспечивающий подачу расчетного количества теплоты,

$$\Delta t_0 = \frac{Q_{т.\ п}}{0{,}278L_{сум}c\rho}.$$

Для принятых условий выпуска воздуха определяют максимальное допустимое значение температурного перепада исходя из значения $Ar_x \leqslant 0{,}2$, исключающего всплывание нагретого воздуха в верхнюю зону помещения,

$$\Delta t_{доп} \leqslant \frac{130v_0^2\sqrt{F_0}}{nF_п}.$$

Если $\Delta t_0 > \Delta t_{доп}$, часть тепловой нагрузки снимается с приточной системы и компенсируется системой отопления.

Находят избыточную температуру на оси струи и максимальную скорость в обратном потоке, омывающем рабочую зону:

$$\Delta t_{макс} = \Delta t_0 n \frac{\sqrt{F_0}}{x_{кр_2}}; \qquad v_{обр.\ макс} = 0{,}78v_0\frac{\sqrt{F_0}}{\sqrt{F_п}}.$$

Температура воздуха, подаваемого приточной установкой $t_{пр} = t_{р.\ з} + \Delta t_{доп}$.

Пример. Сборочно-сварочный цех располагается в трехпролетном здании, длина которого $l = 175$ м, ширина $B = 81$ м, высота $H = 20$ м. Строительный объем $V = 280\,000$ м^3, теплопотери $Q_{т.\ п} = 2 \cdot 10^6$ Вт; $t_{р.\ з} = 16$ °С (рис 5.9).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Объемная подача вентиляционных систем: местной вытяжной $L_{м.о} = 146\,000$ м³/ч; общеобменной вытяжной $L_{о.о} = 350\,000$ м³/ч; приточной $L_{п.у} = L_{сум} = L_{м.о} + L_{о.о} = 496\,000$ м³/ч.

Приток подается системами механической вентиляции, которые несут также и отопительную нагрузку в верхнюю зону компактными горизонтальными струями.

Р е ш е н и е. Согласно табл. 1.8 принимаем допустимую скорость движения воздуха в рабочей зоне $v_{р.з} = v_{обр.макс} = 0{,}5$ м/с. По табл. 5.11 (поз. 3) выбираем воздухораспределитель типа ПП, для которого $m = 6{,}6$; $n = 4{,}5$; $\mu = 1{,}1$.

Раздача воздуха осуществляется в каждом пролете двумя встречными струями на высоте $h = 0{,}7H = 0{,}7 \cdot 20 = 14$ м. Площадь поперечного сечения, обслуживаемая одной струей, $F_п = 27 \cdot 20 = 540$ м²; $\sqrt{F_п} = \sqrt{540} = 23$ м. Рекомендуемая дальнобойность струи не должна превышать $x_{макс} = 0{,}62m\sqrt{F_п} = 0{,}62 \cdot 6{,}6 \cdot 23 = 94$ м.

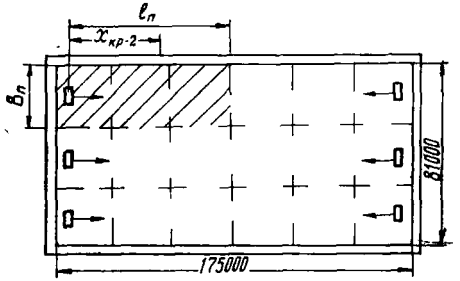


Рис. 5.9. Схема размещения воздухораспределителей в плане

Длина обслуживаемого участка одной струей $l_п = 175 : 2 = 87{,}5$ м находится в рекомендуемых пределах.

Через один воздухораспределитель подается объем воздуха $L_п = L_{сум}$; $Z = 496\,000 : 6 \approx 82\,600$ м³/ч. Находим площадь воздухораспределителя

$$\sqrt{F_0} = \frac{0{,}78L_0}{v_{обр.макс}\sqrt{F_п}\,3600} = \frac{0{,}78 \cdot 82\,600}{0{,}5 \cdot 23 \cdot 3600} = 1{,}6 \text{ м}^2.$$

Диаметр выходного отверстия воздухораспределителя d_0 связан с его площадью F_0 соотношением $d_0 = 1{,}13\sqrt{F_0} = 1{,}13 \cdot 1{,}6 = 1{,}8$ м. По d_0 выбирается ближайший типоразмер патрубка.

Вычисляем расстояние от приточного насадка до второго критического сечения, в котором скорость в рабочей зоне будет максимальной,

$$x_{кр2} = 0{,}31m\sqrt{F_п} = 0{,}31 \cdot 6{,}6 \cdot 23 = 47 \text{ м}.$$

Потери давления в воздухораспределителе

$$\Delta P = \xi\frac{v_0^2\rho}{2} = 1{,}1\frac{9^2 \cdot 1{,}2}{2} = 53 \text{ Па},$$

где v_0 найдено по формуле $v_0 = \frac{L_0}{3600F_0} = \frac{82\,600}{3600 \cdot 0{,}785 \cdot 1{,}8^2} = 9$ м/с.

Определяем температурный перепад между подаваемым воздухом и воздухом цеха при подаче необходимого для возмещения потерь количества теплоты $Q_{т.п} = 2 \cdot 10^6$ Вт:

$$\Delta t_0 = \frac{Q_{т.п}}{0{,}278L_{сум}c\rho} = \frac{2\,000\,000}{0{,}278 \cdot 496\,000 \cdot 1{,}005 \cdot 1{,}2} = 12 \text{ °C}.$$

Допустимый температурный перепад для принятых условий выпуска

$$\Delta t_{доп} = \frac{130v_0^2\sqrt{F_0}}{nF_п} = \frac{130 \cdot 9^2 \cdot 1{,}6}{4{,}5 \cdot 540} = 7.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Поскольку $\Delta t_o > \Delta t_{доп}$, часть отопительной нагрузки с приточной системы необходимо снять, т. е.

$$Q_{п.\,у} = Q_{т.\,п};\quad \frac{\Delta t_{доп}}{\Delta t_o} = 2\,000\,000\,\frac{7}{12} \approx 1\,170\,000 \text{ Вт};$$

остальное количество теплоты $\Delta Q = Q_{т.\,п} - Q_{п.\,у} = 2\,000\,000 - 1\,170\,000 = 830\,000$ Вт восполняется воздушно-отопительными агрегатами.

Во втором критическом сеченнн $x_{кр2}$ избыточная температура на оси струи составит

$$\Delta t_{x\,макс} = \Delta t_o n \frac{\sqrt{F_o}}{x_{кр2}} = 7 \cdot 4{,}5\,\frac{1{,}6}{47} \approx 1{,}1\ °C.$$

Максимальная скорость в обратном потоке, омывающем рабочую зону,

$$v_{обр.\,макс} = 0{,}78 v_o \frac{\sqrt{F_o}}{\sqrt{F_п}} = 0{,}78 \cdot 9 \cdot \frac{1{,}6}{23} \approx 0{,}4 \text{ м/с}.$$

Температура воздуха, подаваемого приточной установкой, $t_{пр} = t_{р.\,а} + \Delta t_{доп} = 16 + 7 = 23\ °C$.

Подача воздуха вертикальными струями осуществляется двумя способами: закрученными струями и плафонами. При подаче закрученными струями (см. рис. 5.1, *г*) используются центробежные воздухораспределители типа ВЦ, которые устанавливают на высоте не более 6 м от уровня пола (рис. 5.10).

Направление истечения струи зависит от способа установки и положения подвижного диска, т. е. от отношения h_o/d_o: при $h_o/d_o = 0{,}35 \ldots 0{,}7$ струя вначале отражается вверх, затем опускается вниз (*а*); при $h_0/d_o > 0{,}7$ струя направлена вниз под углом $\alpha/2 = 35 \ldots 42°$ (*б*).

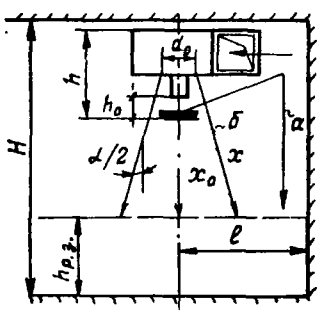


Рис. 5.10. Подача воздуха закручеиной струей в иаправлении рабочей зоны

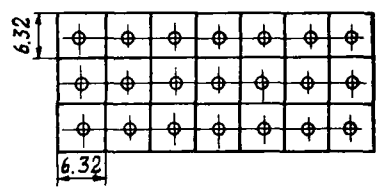


Рис. 5.11. Размещение воздухораспределителей в плане

Максимальные скорость движения воздуха v_x и разность температур при входе струи в рабочую зону определяют по формулам

$$v_x = v_o m \frac{\sqrt{F_o}}{x};\quad \Delta t_x = \Delta t_o n \frac{\sqrt{F_o}}{x},$$

где $m = 0{,}68$; $n = 0{,}6$; $x = x_п + l$ при $h_0/d_o = 0{,}35 \ldots 0{,}7$; $m = 1{,}32$; $n = 1{,}21$; $x = 1{,}25 x_п$ при $h_o/d_o > 0{,}7$. Средняя скорость

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

и температура в струе на расстоянии $x_п$: при $h_0/d_0 = 0{,}35 \ldots 0{,}7$ $v_{ср} = 0{,}8x$, $t_{ср} = 0{,}95t_x$; при $h_o/d_o > 0{,}7$ $v_{ср} = 0{,}42v_x$, $t_{ср} = 0{,}94t_x$.

Коэффициент сопротивления воздухораспределителя ζ по отношению к скоростному давлению в отверстии F_o равен 5,8 (при $h_o/d_o > 0{,}25$). Техническая характеристика воздухораспределителей типа ВЦ приведена в табл. 5.16.

Таблица 5.16

Тип воздухораспределителя	d_0	h	h_0	F_0	Подача, м³/ч при v_0, м/с и сопротивления P, Па							
					4	5	6	7	8	9	10	11
					60	90	130	170	230	290	350	430
ВЦ-3	355	740	160	0,098	1415	1770	2120	2480	2830	3180	3450	4250
ВЦ-5	500	970	225	0,195	2820	3520	4220	4920	5630	6330	7040	7750
ВЦ-7	710	1450	320	0,394	5700	7100	8520	9950	11350	12800	14200	15600
ВЦ-9	900	1600	405	0,633	9150	11450	13750	16000	18300	20600	22000	25200

Пример. В гальваническом цехе площадью $F = 48 \times 18 = 864$ м² и высотой $H = 6$ м необходимо раздать $L = 38\,000$ м³/ч воздуха, температура которого $t_{пр} = 12$ °С. Допустимая скорость движения воздуха в рабочей зоне $v_{р.з} = 0{,}5$ м/с, разность температур $\Delta t = \pm 1$ °С, $t_{р.з} = 17$ °С.

Р е ш е н и е. По табл. 5.16 предварительно принимаем воздухораспределитель типа ВЦ-3, для которого $F_o = 0{,}098$ м². Задаемся скоростью истечения $v_0 = 5$ м/с, при которой подача воздухораспределителя $L_o = 1770$ м³/ч. При удельной нагрузке на площадь $L_{уд} = L/F = 38\,000/864 = 44$ м³/(ч · м²) одним воздухораспределителем можно обслужить площадь, не более $F_п = L_o/L_{уд} = 1770/44 = 40$ м². Следовательно, получаем необходимое количество воздухораспределителей $z = F/F_п = 864/40 = 21$ шт. и размещаем их в центре каждого строительного модуля размером $6{,}32 \times 6{,}32$ м (рис. 5.11). Дальнейшие вычисления производим при условии $h_o/d_o > 0{,}7$. Находим $x_п$ — расстояние от нижнего диска до рабочей зоны, $x_п = H = h_{р.з} - h = 6 - 2 - 0{,}74 \approx 3{,}3$ м. Определяем скорость на оси струи в месте внедрения в рабочую зону

$$v_x = v_0 m \frac{\sqrt{F_o}}{1{,}25x_п} = \frac{5 \cdot 1{,}32\sqrt{0{,}098}}{1{,}25 \cdot 3{,}3} = 0{,}5 \text{ м/с},$$

разность температур $\Delta t_x = \Delta t_o n \frac{\sqrt{F_o}}{1{,}25x_п} = (17 - 12) \cdot 1{,}21 \frac{\sqrt{0{,}098}}{1{,}25 \cdot 3{,}3} \approx 0{,}5$ °С, что соответствует допустимым условиям.

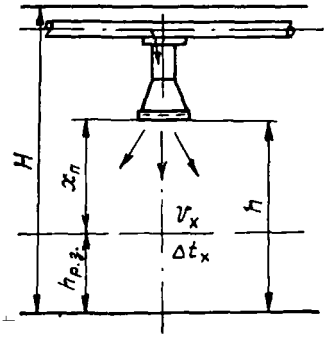
Подача воздуха плафонами типа ВДУМ (рис. 5.12) осуществляется по схеме воздухоподачи, показанной на рис. 5.1, *г*. Плафоны устанавливают на высоте не более 6 м от уровня пола. Расчет ведется в следующей последовательности.

Для нахождения необходимого количества воздухораспределителей z площадь пола обслуживаемого помещения F делится на площади строительных модулей $F_п$ (квадратов) $z = F : F_п$. Затем

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

определяют количество воздуха, приходящееся на один воздухораспределитель, $L_o = L_{сум} : z$, где $L_{сум}$ — общее количество приточного воздуха, подаваемого через плафоны.

На основании полученной подачи L_o по табл. 5.17 выбирают типоразмер воздухораспределителя и находят скорость в его горловине $v_o = L_o/3600F_o$. Найденное количество воздухораспределителей сопоставляют с рекомендуемым $z_р = L_{сум}/2820v_o d_o^2$.



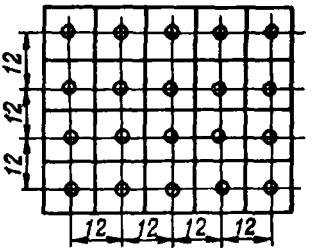


Рис. 5.12. Расчетная схема воздухораспределения

Рис. 5.13. Размещение плафонов в плане цеха

Затем определяют расстояние $x_п$ от нижнего края плафона до уровня рабочей зоны $x_п = h - h_{р.з}$ и вычисляют отношение $x_п/\sqrt{F_o}$ для нахождения коэффициентов m, n, ξ в табл. 5.18, где даны их предельные значения для осесимметричной вертикальной коноидальной струи. Проверив соответствие принятого решения расстановки плафонов условию равномерности движения воздуха в рабочей зоне

$$F_п \leqslant F_{п.\,макс} = 8(x_п/m)^2,$$

Таблица 5.17

Типоразмер	2	3	4	5	6	8	10
d_o, мм	250	315	400	500	630	800	1000
F_o, м²	0,05	0,08	0,13	0,2	0,31	0,5	0,785
L_o, м³/ч	720... 2160	1150... 3450	1870... 5650	2880... 8650	4460... 13400	7200... 21600	11300... 33900

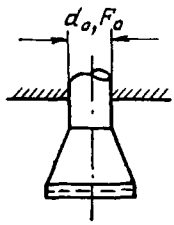
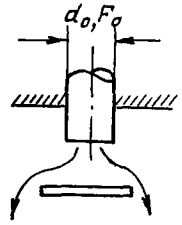
находят скорость v_x и разность температур Δt_x на оси струи в месте внедрения ее в рабочую зону:

$$v_x = v_o \frac{mk_c k_в k_н \sqrt{F_o}}{x_п}; \quad \Delta t_x = \Delta t_o \frac{nk_в \sqrt{F_o}}{x_п k_н k_ф},$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

19.6.

Таблица 5.18

Вариант установки	Вариант установки	$\bar{f} = f_0/f_{d_0}$	$x_п/\sqrt{F_0}$						c
			5,5	8,5	11,5	14	17	20	
I		0...0,3	1...0,6 / 1,4..0,8	1,5...0,75 / 1,7—0,9	1,9...1 / 2,2...1,3	2,3...1,2 / 2,5—1,6	2,6...1,4 / 2,6—1,8	2,9...1,6 / 2,8—2,1	2...1,3
II		0,3	0,6— / 0,8	0,85 / 1,0	1 / 1,3	1,2 / 1,6	1,3 / 1,8	1,5 / 2	1,3

Примечания. 1. В числителе коэффициент m, в знаменателе — n. 2. Вариант I — установка с диффузором, II — без него.

Таблица 5.19

Вариант установки	$\bar{f} = f_0/f_{d_0}$	Значения k_c при $x_п/\sqrt{F_п}$											
		0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	3	3,5
I	0 и 0,1 и 0,2	1	0,95	0,95	0,9	0,9	0,9	0,85	0,8	0,75	0,65	0,45	0 25
		0,9	0,9	0,9	0,85	0,85	0,8	0,7	0,65	0,6	0,35	—	—
	0,3	0,95	0,95	0,95	0,9	0,9	0,85	0,8	0,8	0,7	0,55	0,35	—
II	0,3	0,9	0,9	0,9	0,85	0,85	0,8	0,7	0,65	0,6	0,35	—	—

Примечание. Приведенные в табл. 5.17—5.19 данные справедливы только для круглых воздухораспределителей типа ВДУМ, устанавливаемых по схемам вариантов I, II.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

где $k_с$ — коэффициент стеснения струи, определяемый по табл. 5.19; $k_в$ — коэффициент взаимодействия струй (см. табл. 5.12); $k_н$ — коэффициент неизотермичности, для компактных струй $k_н = \sqrt[3]{1 \pm 2{,}5\mathrm{Ar}_{x_1}}$ (знак + в подкоренном выражении принимают при выпуске струй холодного воздуха, знак — соответствует для струй теплого).

Для компактных и веерных струй текущий критерий Архимеда

$$\mathrm{Ar}_{x_1} = \frac{n}{m^2} 11{,}1 \frac{\Delta t_о \sqrt{F_о}}{v_о^2 T_п} \left(\frac{x_п}{1{,}13\sqrt{F_о}}\right)^2,$$

где $\Delta t_о$ — разность температур воздуха в помещении и на выходе из воздухораспределителя; $T_п = 273 + t_п$ — абсолютная температура воздуха помещения. Критерий Ar_{x_1} для струй холодного воздуха, направленных вертикально вниз, не нормируют, для струй теплого воздуха принимают не более 0,5. Если найденные значения v_x, Δt_x превышают допустимые (см. табл. 1.8), выбирают следующий тип плафона, и расчет повторяется до полного удовлетворения оговоренного условия.

Пример. В окрасочном цехе площадью $F = 60 \times 48 = 2880$ м² и высотой 7 м необходимо раздать $L_{сум} = 110\,000$ м³/ч воздуха с температурой $t_{пр} = 11$ °С. Температура воздуха в рабочей зоне $t_{р.з} = 16$ °С, допустимая подвижность $v_{р.з} = 0{,}7$ м/с, перепад температур $\Delta t_{р.з} = \pm 2$ °С.

Р е ш е н и е. Раздача воздуха осуществляется плафонами типа ВДУМ. Высота установки от уровня пола $h = 6$ м. Делим площадь пола на строительные модули $F_п = 12 \times 12 = 144$ м², в центре каждого из них располагаем воздухораспределитель (рис. 5.13). Всего воздухораспределителей $z = F/F_п = 2880/144 = 20$. Количество воздуха, приходящееся на один воздухораспределитель, $L_о = L_{сум}/z = 110\,000/20 = 5500$ м³/ч. По табл. 5.17 принимаем воздухораспределитель типа 6, имеющий диаметр горловины $d_о = 630$ мм и площадь поперечного сечения $F_о = 0{,}31$ м². Находим скорость движения воздуха в горловине $v_0 = L_о/3600F_о = 5500/3600 \cdot 0{,}31 = 4{,}9$ м/с.

Рекомендуемое количество воздухораспределителей $z_р = L_{сум}/2820 \times v_о d_о^2 = 110\,000/2820 \cdot 4{,}9 \cdot 0{,}63^2 = 20{,}1$ шт., т. е. близко к ранее найденному.

Определяем расстояние $x_п$ от нижней плоскости плафона до верхней границы рабочей зоны $x_п = h - h_{р.з} = 6 - 2 = 4$ м. Вычисляем значение $x_п/\sqrt{F_о} = 4/\sqrt{0{,}31} = 7{,}1$ и по табл. 5.18 находим значения коэффициентов: $m = 0{,}96$; $n = 1{,}2$; $\xi = 1{,}65$ (средние по интерполяции). Проверяем соответствие принятого решения расстановки плафонов условию равномерности движения воздуха в рабочей зоне $F_п \leqslant F_{п.макс} = 8\left(\frac{x_п}{m}\right)^2 = 8\left(\frac{4}{0{,}96}\right)^2 = 138$ м² и получаем $144 < 138$, т. е. условие выдержано.

Скорость на оси струи в месте внедрения ее в рабочую зону

$$v_x = v_о \frac{m k_с k_в k_н \sqrt{F_о}}{x_п}.$$

Эта формула справедлива при $x_п/\sqrt{F_п} \leqslant 1{,}5$. В нашем случае $x_п/\sqrt{F_п} = 4/\sqrt{144} = 0{,}33 < 1{,}5$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Находим значения коэффициентов k_c, $k_в$, $k_н$: при $x_п/\sqrt{F_п} = 0{,}33$ по табл 5.19 $k_c = 0{,}95$, при $x = x_п = 4$, $l' = 0{,}5 \cdot 12 = 6$, $\frac{x}{l'} = \frac{4}{6} = 0{,}66$ и числе струй большем 12, по табл. 5.12 $k_в = 1$, $k_н = \sqrt[3]{1 \pm 2{,}5 Ar_{xl}}$.

Текущий критерий Архимеда

$$Ar_{xl} = \frac{n}{m^2} Ar_o \left(\frac{x_п}{1{,}13\sqrt{F_o}}\right)^2 = \frac{n}{m^2} 11{,}1 \frac{\Delta t_o \sqrt{F_o}}{v_0^2 T_п} \left(\frac{x_п}{1{,}13\sqrt{F_o}}\right)^3 =$$

$$= \frac{0{,}96}{1{,}2^2} 11{,}1 \frac{(16-11)\sqrt{0{,}31}}{4{,}9^2(273+16)} \cdot \left(\frac{4}{1{,}13\sqrt{0{,}31}}\right)^2 = 0{,}13.$$

Подставив найденное значение Ar_{xl} в формулу, находим

$$k_н = \sqrt[3]{1 + 2{,}5 \quad 0{,}13} = 1{,}1; \; v_x = 4{,}9 \frac{0{,}96 \cdot 0{,}95 \cdot 1 \cdot 1{,}1 \sqrt{0{,}31}}{4} \approx 0{,}7 \text{ м/с},$$

что соответствует допустимым значениям.

Перепад температур на оси струи при входе в рабочую зону

$$\Delta t_x = \Delta t_o \frac{n k_в \sqrt{F_o}}{x_п k_и k_c} = (16-11) \frac{1{,}2 \cdot 1 \cdot \sqrt{0{,}31}}{4 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}95} = 0{,}79 \,^\circ\text{C},$$

что также находится в допустимых пределах. Потери давления в воздухораспределителе

$$\Delta P = \xi \frac{v_0^2 \rho}{2} = 1{,}65 \frac{4{,}9^2 \cdot 1{,}2}{2} = 24 \text{ Па}.$$

Для подачи воздуха перфорированными воздуховодами используется несколько их видов (рис. 5.14). Техническая характеристика воздуховодов круглого сечения дана в табл. 5.20. Расчет ведется в такой последовательности. Задаются скоростью выхода

Таблица 5.20

Типоразмер	F_o, м²		b_o, м		m		n		$\zeta_п$	
	ВК-1	ВК-2	ВК-1	ВК-2	ВК-1	ВК-2	ВК-1	ВК-2	ВК-1	ВК-2
4	0,1	0,16	0,45	0,52	0,24	0,3	0,22	0,27	1,7	1,7
6	0,16	0,26	0,51	0,58	0,22	0,28	0,2	0,25	1,7	1,7
8	0,21	0,36	0,54	0,63	0,22	0,27	0,2	0,25	1,7	1,7
10	0,26	0,47	0,57	0,71	0,21	0,26	0,19	0,23	1,7	1,7
12	0,31	0,57	0,6	0,75	0,21	0,25	0,19	0,23	1,7	2
14	0,36	0,68	0,62	0,81	0,2	0,24	0,18	0,22	1,7	2
16	0,42	0,78	0,64	0,86	0,2	0,23	0,18	0,21	1,7	2
18	0,47	—	0,68	—	0,19	—	0,18	—	2	—
20	0,52	—	0,71	—	0,19	—	0,17	—	2	—
22	0,57	—	0,74	—	0,18	—	0,17	—	2	—
24	0,63	—	0,76	—	0,18	—	0,17	—	2	—
26	0,68	—	0,79	—	0,18	—	0,16	—	2	—
28	0,73	—	0,81	—	0,18	—	0,16	—	2	—
30	0,78	—	0,84	—	0,17	—	0,16	—	2	—
32	0,83	—	0,87	—	0,17	—	0,16	—	2	—

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

воздуха из отверстий v_o и определяют их суммарную площадь $F_o = L/3600v_o$, по которой, пользуясь данными табл. 5.20, выбирают типоразмер воздухораспределителя и вычисляют допустимую скорость выхода воздуха из отверстий при принятой подвижности воздуха в рабочей зоне $v_{р.з}$ (см. табл. 1.8):

$$v_{доп} = v_{р.з}\frac{1}{mk_в k_н}\sqrt{\frac{x_п}{b_0}},$$

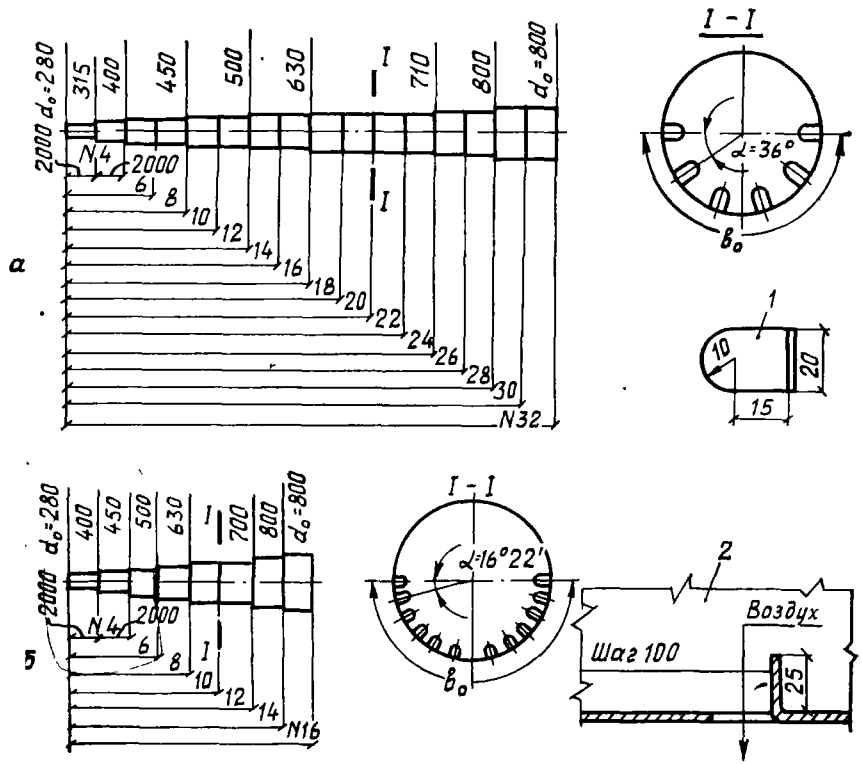


Рис. 5.14. Перфорированные круглые воздуховоды:

а—воздуховоды ВК—1 с 6-ю рядами отверстий; *б*—воздуховоды ВК-2 с 12-ю рядами отверстий (1—отверстие с указанием размеров, 2—схема расположения отгибов по длине воздуховода, № 4... № 32 — типоразмеры воздуховодов)

где b_0 — расчетная ширина воздухораспределителя, м (табл. 5.20). Затем находят потери давления

$$\Delta P = \frac{\lambda}{d_{ср}} l \frac{v_н^2 \rho}{2} + \xi_п \frac{v_o^2 \rho}{2},$$

где $v_н = L/3600F_н$ — скорость движения воздуха в начале воздухораспределителя, м/с; $\xi_п$ — КМС воздухораспределителя, отнесенный к площади присоединительного патрубка $0{,}785d^2$, причем d принимается по рис. 5.14.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример. В швейном цехе необходимо раздать $L = 8950$ м³/ч воздуха перфорированным воздуховодом, расположенным над пошивочным конвейером на высоте $h = 4$ м; $t_{р.з} = 18$ °С, $t_{пр} = 17$ °С. Определить размеры воздухораспределителя исходя из максимально допустимой подвижности воздуха $v_{р.з} = 0{,}5$ м/с и перепада температур $\Delta t_0 = t_{р.з} - t_{пр} = 18 - 17 = 1$ °С, исключающих неприятное воздействие на самочувствие рабочего персонала.

Р е ш е н и е. Задаемся скоростью выхода воздуха из отверстий $v_0 = 3$ м/с и определяем их суммарную площадь $F_0 = L\,3600\,v_0 = 8950/3600 \times 3 = 0{,}83$ м². Пользуясь табл. 5.20 и рис. 5.14, принимаем воздухораспределитель ВК-1 № 32, для которого $b_0 = 0{,}87$ м, коэффициент затухания скорости $m = 0{,}17$; затухания температур $n = 0{,}16$; $\xi_п = 2$; $d_н = 800$ мм, $d_{ср} = 0{,}5\,(850 + 280) = 540$ мм.

Находим допустимую скорость выхода воздуха из отверстий воздухораспределителя $v_{доп}$, предварительно вычислив значение Ar_x и коэффициент неизотермичности $k_н$:

$$Ar_x = \frac{n}{m^2}\,19{,}62\,\frac{\Delta t_0 b_0}{v_0^2 T_{р.з}}\left(\frac{x_п}{b_0}\right)^{1{,}5} =$$

$$= \frac{0{,}16}{0{,}17^2}\cdot 19{,}62\cdot\frac{1\cdot 0{,}87}{3^2\cdot(273+18)}\cdot\left(\frac{4-2}{0{,}87}\right)^{1{,}5} = 0{,}016,$$

где $x_п = h - h_{р.з} = 4 - 2$; $k_н = \sqrt[3]{1 + 1{,}8\,Ar_x} = \sqrt[3]{1 + 1{,}8\cdot 0{,}016} \approx 1$;

$$v_{доп} = v_{р.з}\,\frac{1}{mk_в k_н}\sqrt{\frac{x_п}{b_0}} = 0{,}5\,\frac{1}{0{,}17\cdot 1\cdot 1}\sqrt{\frac{2}{0{,}87}} = 4{,}45 \text{ м/с},$$

что больше принятого значения ($3 < 4{,}45$). Определяем потери давления в воздухораспределителе

$$P = \frac{\lambda}{d_{ср}}\,l\,\frac{v_н^2\rho}{2} + \xi_п\,\frac{v_0^2\rho}{2} = \frac{0{,}03}{0{,}54}\cdot 32\cdot\frac{5^2\cdot 1{,}2}{2} + 2\,\frac{3^2\cdot 1{,}2}{2} \approx 38 \text{ Па},$$

где $v_н = \dfrac{8950}{3600\cdot(0{,}785\cdot 0{,}8^2)} \approx 5$ м/с.

Подача воздуха перфорированными панелями осуществляется двумя способами (рис. 5.15) [3]. Основной характеристикой панели является коэффициент живого сечения

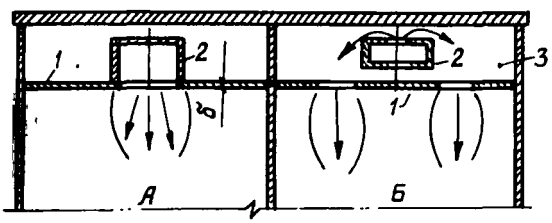
$$K_{ж.с} = F_{ж.с}/F_{пан} = 0{,}785(d_0/l_0)^2,$$

где $F_{ж.с}$ — площадь живого сечения, м²; $F_{пан}$ — площадь панели, м²; d_0 — диаметр отверстия, м; l_0 — шаг отверстия, м. Отверстия в панелях выполняются диаметром $d_0 = 2 \ldots 10$ мм (для высоких помещений при $H = 4{,}2 \ldots 20$ м) с шагом расположения $l_0 = 4d_0$. Толщину стенки панели, в которой расположены воздуховыпускные отверстия, определяем из соотношения $\delta/d_0 \geqslant 1{-}2$. Максимальная скорость истечения v_0 по акустическим соображениям и условиям допустимой подвижности воздуха в рабочей зоне не должна превышать 4 м/с.

Рабочая разность температур при подаче холодного воздуха допускается $\Delta t_0 = t_{р.з} - t_0 \leqslant 15$ °С при условии обеспечения заданной температуры воздуха в рабочей зоне (см. табл. 1.8); t_0 — температура воздуха, выходящего из отверстий панели.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Перфорированные панели размещают на потолке помещения в виде полос, квадратных или круглых участков, общая площадь которых $\Sigma F_{пан}$, как правило, не должна превышать 50 % общей площади потолка $\Sigma F_{пот}$. Для обеспечения максимального выравнивания температуры воздуха рабочей зоны и выходящего из панели необходимо чередовать неперфорированные поверхности с перфорированными. Подвод воздуха к перфорированным участкам осуществляется воздуховодами равномерной подачи, как показано на рис. 5.15 (схема Б применяется в помещениях с повышенными требованиями). Расчет перфорированных панелей производится по аналитическим зависимостям и графикам, предложенным М. И. Гримитлиным. Изотермическая струя (рис. 5.16) имеет три участка, м: формирования x_1, начальный $x_2 - x_1$ и основной $x_x - x_2$. Длина участка формирования $x_1 = 5l_0$, м, расстояние от



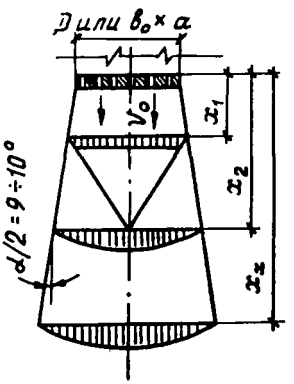


Рис. 5.15. Способы подачи воздуха через перфорированные панели:
А—непосредственно связанные с воздуховодами, *Б*—связанные через камеру давления (1—перфорированная панель; 2—воздуховод равномерной раздачи воздуха; 3—камера давления

Рис. 5.16. Схема изотермической струи, выходящей из перфорированной панели

панели до основного участка струи, выходящей из круглых, квадратных и прямоугольных вытянутых панелей, $x_2 = 4b_0$ (b_0 — ширина панели, м, для круглых панелей $b_0 = 0{,}89D_{пан}$, где $D_{пан}$ — диаметр панели). Средняя из максимальных скоростей воздуха v_x и средняя из максимальных температур его Δt_x, сопоставимые с нормируемыми, на заданном расстоянии x от панели определяют по уравнениям в зависимости от соотношения площади панели (площадь перфорации) $\sum F_{пан}$ и площади потолка $F_{пот}$.

1. Если $\sum F_{пан} \leqslant 0{,}5F_{пот}$ и верхняя граница рабочей зоны помещения находится в пределах начального участка струи $x_2 = H - h_{р.з} \leqslant 4b_0$ (здесь H — высота помещения, $h_{р.з}$ — высота рабочей зоны), получаем

$$v_{x1} = v_0 k_c k_н k_в \sqrt{\frac{k_{ж.с}}{\mu}};$$

$$\Delta t_{x1} = \Delta t_0 \frac{k_в}{k_c k_н} \sqrt{\frac{k_{ж.с}}{\mu}}.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Здесь v_0 — скорость воздуха при выходе из отверстия, м/с; k_c —, коэффициент, учитывающий стеснение струй (рис. 5.17, где $F_{пот}$; B_1 — площадь и ширина потолка, приходящиеся на одну панель) $k_в$ — коэффициент, учитывающий взаимодействие струй, выходящих из панелей, расположенных рядом; принимается как для ком-

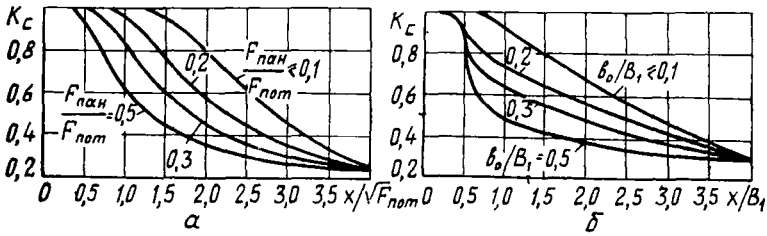


Рис. 5.17. Определение коэффициента стеснения струи воздуха k_c:
а—выходящих из квадратных и круглых панелей; *б*—выходящих из вытянутых прямоугольных панелей



Рис. 5.18. Поправочный коэффициент $k_в$ для учета взаимодействия N параллельных компактных, плоских и неполных веерных струй одинаковой мощности, расположенных на расстоянии l одна от другой

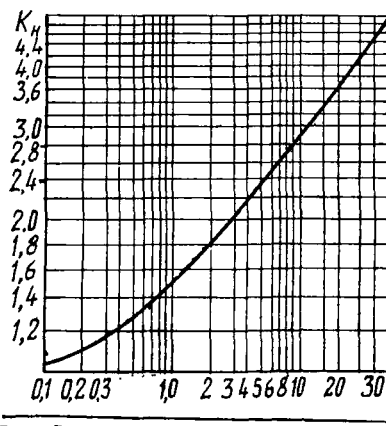


Рис. 5.19. Определение коэффициента нензотермичности $k_н = F(A)$

пактных и плоских струй по рис. 5.18; $k_н$ — коэффициент, учитывающий неизотермичность струй при выпуске холодного воздуха, определяется по рис. 5.19, причем на абсциссе графика для панелей квадратных и круглых

$$A = 0{,}009 \frac{\Delta t_0}{v_0^2 k_c^3} \frac{x^2}{\sqrt{F_{пан} k_{ж.с}}},$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

для вытянутых прямоугольных

$$A = 0{,}01 \frac{\Delta t_o}{v_o^2 k_c^3} \sqrt{\frac{x^3}{b_o k_{ж.с}}},$$

$k_{ж.с}$ — коэффициент живого сечения панели в долях единиц; μ — коэффициент расхода: при подводе воздуха к панели из камеры давления (см. рис. 5.16) $\mu = 0{,}75$, если толщина панели $\delta \leqslant 0{,}5 d_o$, при $\delta > d_o$ $\mu = 1$. При выпуске воздуха через панели, присоединенные к воздуховодам равномерной раздачи (см. рис. 5.15, *А*), $\mu = 0{,}5$; Δt_o — рабочая разность температур, °С.

2. Если $\sum F_{пан} \leqslant 0{,}5 F_{пот}$, но граница рабочей зоны находится в пределах основного участка струи, т. е. $x = H - h_{р.з} > 4 b_o$: для вытянутых прямоугольных панелей

$$v_{x\,2} = v_{x\,1} m \sqrt{\frac{b_o}{x}},$$

$$\Delta t_{x\,2} = \Delta t_{x\,1} n \sqrt{\frac{b_o}{x}};$$

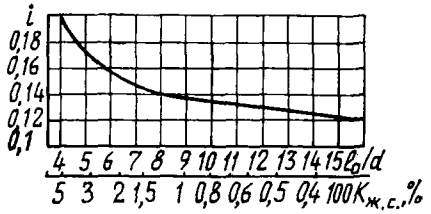


Рис. 5.20. Определение коэффициента i при $\Sigma F_{пан} = \Sigma F_{пот}$

для квадратных и круглых панелей

$$v_{x\,3} = 1{,}13 v_{x\,1} m \frac{\sqrt{F_{пан}}}{x}, \quad \Delta t_{x\,3} = 1{,}13 \Delta t_{x\,1} n \frac{\sqrt{F_{пан}}}{x}.$$

Здесь m — коэффициент, характеризующий падение осевых скоростей в струе: для квадратных и круглых панелей при нормальном подводе воздуха $m = 4$, для прямоугольных вытянутых панелей $m = 2$; для всех панелей при касательном подводе воздуха из воздухораспределителей равномерной раздачи $m = 1{,}8$; n — коэффициент, характеризующий уменьшение максимальной разности температур по оси струи, $n \approx 0{,}82m$.

3. Если $\sum F_{пан} = F_{пот}$, т. е. воздух выпускается через перфорированные панели, занимающие всю площадь потолка, и когда $x \geqslant 5 l_o$

$$v_x = 1{,}2 v_o k_н \sqrt{\frac{k_{ж.с} l}{\mu}}; \quad \Delta t_x = \frac{\Delta t_o}{k_н} \sqrt{\frac{k_{ж.с}}{i\mu}},$$

где l — коэффициент, характеризующий падение количества движения на участке формирования струи, определяемый по рис. 5.20; $k_н = f(A)$ — коэффициент, учитывающий неизотермичность струи на участке ее формирования (рис. 5.19) при

$$A = 0{,}1 \frac{\Delta t_o}{v_o^2} \frac{d}{k_{ж.с} \sqrt{i^3}}.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Пример. Определить среднюю из максимальных скоростей движения воздуха v_x и разность температур Δt_x при выпуске воздуха $L = 5200$ м³/ч через пять перфорированных панелей длиной 5,5 м, шириной $b_0 = 0,44$ м. Коэффициент живого сечения каждой панели $k_{ж.\,с} = 0,04$. Площадь помещения $6 \times 6 = 36$ м², высота $H = 4,2$ м. Расстояние от панели до границы обслуживаемой зоны $x_п = H - h_{р.\,з} = 4,2 - 2,0 = 2,2$ м, расстояние между панелями $l = (6 : 5) - 0,44 = 0,76$ м. Воздух подается к панелям из камеры 3 (см. рис. 5.15, *Б*), поэтому коэффициент, характеризующий падение осевых скоростей в струе, $m = 2$ и коэффициент, характеризующий уменьшение разности температур по оси струи, $n = 0,82m$. Тепловыделения в помещении $Q_{изб} = 15\,700$ Вт.

Р е ш е н и е. Определяем скорость истечения воздуха из отверстий. Суммарная площадь панелей $\Sigma F_{пан} = (5,5 \times 0,44) \cdot 5 = 12,1$ м², их живое сечение $\Sigma F_{ж.\,с} = k_{ж.\,с}\Sigma F_{пан} = 0,04 \cdot 12,1 = 0,484$ м², скорость истечения $v_0 = L/3600\,\Sigma F_{ж.\,с} = 5200/3600 \cdot 0,484 = 3$ м/с.

Находим рабочую разность температур воздуха $\Delta t_0 = Q_{изб}/0,278c\rho L = 15\,700/0,278 \cdot 1,005 \cdot 1,2 \cdot 5200 = 9$ °С.

Длина начального участка струи воздуха $x_2 = 4b_0 = 4 \cdot 0,44 = 1,76$.

Следовательно, начальный участок кончается выше границы рабочей зоны, расстояние до которой $x = 2,2$ м. Обслуживаемая зона находится в пределах основного участка струи. Общая площадь панели $\Sigma F_{пан} = (5,5 \times 0,44) \cdot 5 = 12,1$ м² составляет $\Delta F_{пан}100/F_{пот} = 12,1 \cdot 100/36 = 34$ % площади потолка, поэтому скорость воздуха v_x и разность температур Δt_x рассчитывают по формулам для вытянутых прямоугольных панелей.

Для вычисления v_x вначале определяем значения $k_с$, $k_н$, $k_в$.

Ширина потолка, приходящаяся на одну панель, $B_1 = 6 : 5 = 1,2$, тогда $x/B_1 = 2,2/1,2 = 1,84$ и $b_0/B_1 = 0,44/1,2 = 0,37$. С помощью рис. 5.17 находим коэффициент стеснения струи $k_с = 0,46$. Чтобы получить коэффициент неизотермичности струи воздуха, вычислим

$$A = 0,01\frac{\Delta t_0}{v_0^2 k_с^3}\sqrt{\frac{x^3}{b_0 k_{ж.\,с}}} = 0,01 \cdot \frac{9}{3^2 \cdot 0,46^3}\sqrt{\frac{2,2^3}{0.44 \cdot 0,04}} \approx 2,52,$$

затем по рис. 5.19 определяем $k_н = 1,96$.

Отношение расстояния между панелями $l = 0,76$ м к длине струи от выхода панели до рабочей зоны $x = 2,2$ м составляет $l/x_п = 0,76/2,2 = 0,345 > 0,14$, поэтому по рис. 5.18 коэффициент учета взаимодействия струй, выходящих из расположенных рядом панелей, равен $k_в = 1$.

Скорость воздуха на расстоянии $x_п = 2,2$ от панели

$$v_{x2} = v_{x1}m\sqrt{\frac{b_0}{x}} = v_0 k_с k_н k_в\sqrt{\frac{k_{ж.\,с}}{\mu}}\,m\sqrt{\frac{b_0}{x}} =$$

$$= 3 \cdot 0,46 \cdot 1,96 \cdot 1\sqrt{\frac{0,04}{0,75}}\,2\sqrt{\frac{0,44}{2,2}} = 0,56 \text{ м/с.}$$

Находим

$$\Delta t_{x2} = \Delta t_{x1}n\sqrt{\frac{b_0}{x}} = \Delta t_0\frac{k_в}{k_с k_н}\sqrt{\frac{k_{ж.\,с}}{\mu}}\;0,82m\sqrt{\frac{b_0}{x}} =$$

$$= 9\frac{1}{0,46 \cdot 1,96}\sqrt{\frac{0,04}{0,75}} \cdot 0,82 \cdot 2\sqrt{\frac{0,44}{2,2}} = 1,7\ °\text{С.}$$

Таким образом, в результате расчета получаем $v_{x2} = 0,56$ м/с, $\Delta t_{x2} = 1,7$ °С. Если эти значения превышают регламентированные [26], следует уменьшить скорость истечения воздуха из панели, т. е. v_0.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Конструктивное решение. Количество воздуха, приходящееся на одну панель $L_{уд} = 5200 : 5 = 1040$ м³/ч, площадь живого сечения $f_{ж.с} = 0{,}484 : 5 = 0{,}097$ м². Диаметр отверстий примем равным $d_0 = 0{,}008$ м, тогда площадь одного отверстия $f_0 = 3{,}14 \cdot 0{,}008^2/4 = 0{,}00005$ м². Количество отверстий в панели $n_0 = 0{,}097 : 0{,}00005 \approx 1940$ шт. При шаге отверстия $l_0 = 4d_0 = 4 \cdot 0{,}008 = 0{,}032$ м количество отверстий в ряду $n_0^p = b_0/l_0 = 0{,}44/0{,}032 = 14$ шт., количество рядов $n^p = 1940/14 = 138$.

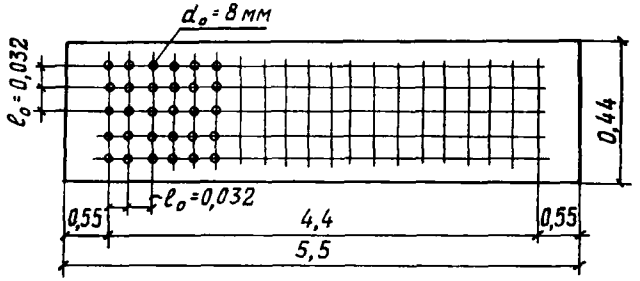


Рис. 5.21. Расположение отверстий в панеле

Отверстия располагают от краев панели на расстоянии $l' = (5{,}5 - 138 \times 0{,}032)/2 \approx 0{,}55$ м, как показано на рис. 5.21. Толщина панели из условия $\delta = 2d_0 = 2 \cdot 0{,}008 = 0{,}016$ м = 16 мм. Подвод воздуха к панелям осуществляется двумя конусными воздуховодами равномерной раздачи прямоугольного сечения с выпуском воздуха вверх от панелей.

Потери давления $P = \dfrac{v_0^2 \rho}{2\mu^2} = \dfrac{3^2 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 0{,}75^2} = 10$ Па.

Глава 6

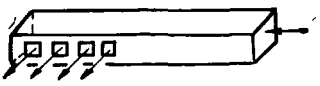
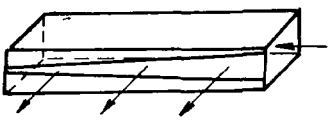
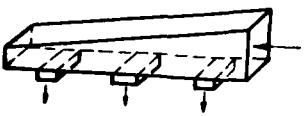
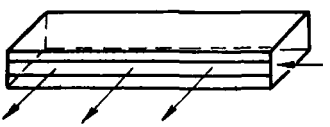
РАСЧЕТ ВОЗДУХОВОДОВ РАВНОМЕРНОЙ РАЗДАЧИ И РАВНОМЕРНОГО ВСАСЫВАНИЯ

6.1. ВОЗДУХОВОДЫ РАВНОМЕРНОЙ РАЗДАЧИ [20; 49]

Равномерная раздача воздуха по длине воздуховода через щель, одно или несколько отверстий на его боковой стороне может быть обеспечена тремя способами: 1) изменением высоты продольной щели или площади отверстий при постоянном поперечном сечении воздуховода; 2) изменением площади поперечного сечения воздуховода при неизменной высоте щели или площади отверстий; 3) изменением отношения площади продольной щели или площади отверстий к площади поперечного сечения воздуховода (практически в пределах $f_{отв} = (0{,}25...0{,}3)\ F_в$).

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 6.1

Характеристика воздуховода	Область преимущественного применения
Прямоугольный постоянного сечения со щелью переменной высоты 	В общественных зданиях в связи с архитектурными требованиями и при допустимости разной скорости истечения воздуха по длине щели, например при осуществлении притока на значительной (более 4 м) высоте
Прямоугольный постоянного сечения с односторонней подачей воздуха, с приточными отверстиями переменной площади 	*То же*
Конусный прямоугольный для активной подачи воздуха в рабочую зону 	В промышленных цехах при подаче воздуха в рабочую зону в проходах между технологическим оборудованием; в гражданских зданиях при подаче воздуха в коридоры с устройством подшивного потолка
Прямоугольный постоянного поперечного сечения с продольной щелью постоянной высоты 	В помещениях гражданского и промышленного назначения небольшой протяженности с пониженными требованиями к равномерной раздаче воздуха

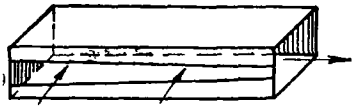
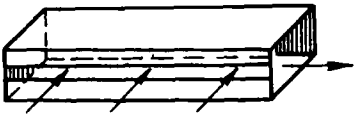
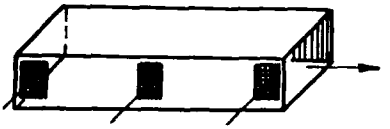
В первом случае равномерная раздача воздуха происходит с разными, а во втором — с одинаковыми скоростями истечения по длине продольной щели и по всем отверстиям, в третьем — достигается лишь приближенная равномерная раздача воздуха.

В табл. 6.1 и 6.2 [49] приведены характеристика и область преимущественного применения воздуховодов и воздухоприемников равномерной раздачи и всасывания соответственно.

Прямоугольный воздуховод постоянного сечения со щелью переменной высоты (рис. 6.1) рассчитывают, соблюдая условие $l < 3P_д/R_н$. Вычисления выполняются в следующей последовательности. Определяют конечную высоту продольной щели $\delta_к = L_н/lv_р$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 6.2

Характеристика воздуховода	Область преимущественного применения
Прямоугольный постоянного поперечного сечения с продольной щелью постоянной ширины 	При допустимой неравномерности всасывания (по расходу и скорости), ограниченной заданными пределами; в помещениях, где предъявляются специальные требования к архитектурному оформлению
Прямоугольный постоянного поперечного сечения с продольной щелью переменной высоты 	При допустимой неравномерности всасывания (по расходу и скорости); в помещениях в связи с архитектурными требованиями
Прямоугольный постоянного поперечного сечения с отсасывающими отверстиями переменной площади 	В зданиях для удаления воздуха из верхней зоны общеобменной вентиляцией

Находят высоту щели в любом другом сечении на расстоянии x от заглушенного конца воздуховода

$$\delta_x = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\delta_к^2} - \left(\frac{\mu x}{F}\right)^2 \left(1 - \frac{R_н x}{3P_д}\right)}}.$$

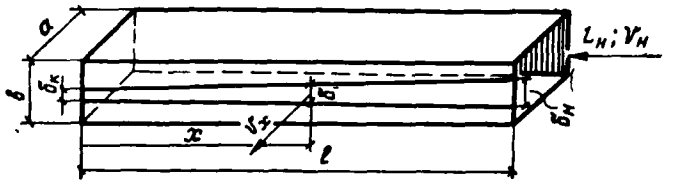
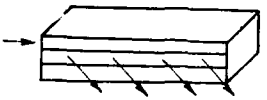
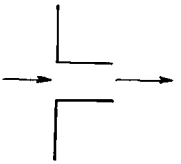
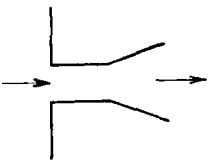
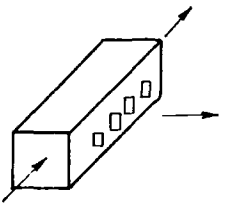
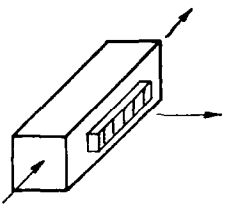
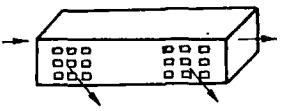


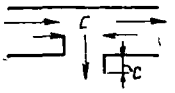
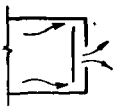
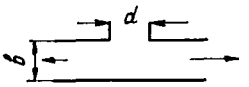
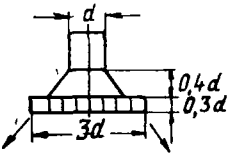
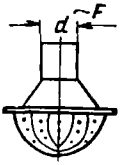
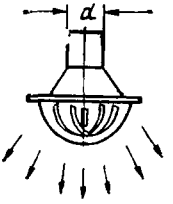
Рис. 6.1. Прямоугольный воздуховод постоянного сечения со щелью переменной высоты

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 6.3

Характеристика устройства для подачи воздуха	Эскиз	Коэффициент μ
Поперечная щель или отверстие с острыми краями		0,65
Продольная щель с острыми краями		0,62
Щель или отверстие с отбортованными краями		0,81
Щель или отверстие с отбортованными и закругленными краями		0,95
Щель или отверстие с острыми краями и поперечными направляющими пластинами		0,56
Щель или отверстие с отбортованными краями и поперечными направляющими пластинами		0,70
Мелкие круглые или прямоугольные отверстия (перфорация)		0,625

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Характеристика устройства для подачи воздуха	Эскиз	Коэффициент μ
Поперечная щель с козырьком		0,69
Щель или отверстие с острыми краями и внутренним экраном		0,48
Насадок со щитом, поставленным поперек потока		*b/d* / μ 0,1 / 0,30 0,25 / 0,52 0,50 / 0,67 0,75 / 0,71 1,0 / 0,71
Насадок со щитом, имеющим радиально направляющие пластины		0,61
Полусферический плафон с отверстиями		$\frac{\sum f_{отв}}{F}$ / μ 0,56 / 0,29 3,90 / 0,71
Полусферический плафон со щелями		$\frac{\sum f_{отв}}{F}$ / μ 1,40 / 0,5

Вычисляют скорость истечения на расстоянии x $v_x = L_н/l\delta_x$. Определяют полное давление в начале воздуховода $P_н = \frac{v_р\rho}{2\mu^2} + \frac{1}{3} R_н l$.

Пример. Требуется раздать $L_н = 1{,}2$ м³/с воздуха через воздуховод при скорости истечения $v_р = 4$ м/с. Размеры воздуховода: длина $l = 5$ м, ширина $a = 0{,}5$ м, высота $b = 0{,}4$ м, $F = a \times b = 0{,}2$ м²

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Р е ш е н и е. Находим скорость в начале воздуховода $v_н = L_н/F = 1{,}2/0{,}2 = 6$ м/с, затем эквивалентный диаметр $d_э^н = 2ab/(a+b) = 2 \times 0{,}5 \cdot 0{,}4/(0{,}5+0{,}4) = 0{,}445$ м. В соответствии с полученными значениями $v_н$, $d_э^н$ по табл. 12.17 [19] для расчета воздуховодов находим динамическое давление $P_д = 22$ Па и удельную потерю давления на трение $R_н = 0{,}84$ Па. Высота щели воздуховода $\delta_к = L_н/lv_р = 1{,}2/5 \cdot 4 = 0{,}06$ м. По табл. 6.3 принимаем коэффициент расхода $\mu = 0{,}56$. Делим воздухораспределитель на пять равных частей и в каждом сечении (через один метр от заглушенного конца) находим значения δ_x, v_x. Для первого сечения

$$\delta_1 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{0{,}06^2} - \left(\frac{0{,}56 \cdot 1}{0{,}2}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{0{,}84 \cdot 1}{3 \cdot 22}\right)}} = 0{,}061 \text{ м};$$

$$v_1 = 1{,}2/5 \cdot 0{,}061 = 3{,}9 \text{ м/с}.$$

Аналогичные вычисления производим для остальных сечений, результаты сводим в табл. 6.4.

Таблица 6.4

x	0	1	2	3	4	5
δ_x	0,06	0,061	0,064	0,069	0,079	0,103
v_x	—	3,9	3,74	3,5	2,6	2,33

Находим полное давление в начале воздуховода

$$P_н = \frac{4^2 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 0{,}56^2} + \frac{1}{3} \cdot 0{,}84 \cdot 5 = 32 \text{ Па}.$$

Пример. Необходимо подать воздух в количестве $L_н = 1{,}2$ м^3/с через воздуховод постоянного поперечного сечения с шестью приточными отверстиями в боковой стенке и с максимально допустимой скоростью истечения $v_р = 4$ м/с. Длина воздуховода $l = 5$ м, ширина $a = 0{,}5$ м, высота $b = 0{,}4$ м, расстояние между отверстиями $l' = 1$ м. Требуется определить площади отверстий f и полное давление $P_н$ в начале воздуховода.

Р е ш е н и е. Находим скорость движения воздуха в начале воздуховода $v_в = L_н/F = 1{,}2/(0{,}5 \cdot 0{,}4) = 6$ м/с. Эквивалентный диаметр $d_э^н = 2ab/(a+b) = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}4/(0{,}5+0{,}4) = 0{,}445$ м С помощью таблиц для расчета воздуховодов по $v_н$ и $d_э^н$ находим $P_д = 22$ Па, $R_н = 0.84$ Па. При полученных значениях условие $n_{макс} = 2P_д/R_н l = 2 \cdot 22/0{,}84 \cdot 5 = 10 > 6$ выдержано. Находим площадь первого приточного отверстия при скорости выхода воздуха из него $v_р = 4$ м/с: $f_1 = L_н/v_р n = 1{,}2/4 \cdot 6 = 0{,}05$ м^2. Вычисляем f_2, v_2 во втором отверстии при $\mu = 0{,}65$:

$$f_2 = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{0{,}05^2} - \left(\frac{0{,}65}{0{,}2}\right)^2 \left[(1+1)^2 - 1^2 - \frac{0{,}84 \cdot 1}{22} \cdot 1^2\right]}} = 0{,}052 \text{ м}^2;$$

$$v_2 = 1{,}2/0{,}052 \cdot 6 = 3{,}85 \text{ м/с}$$

Результаты аналогичных расчетов по остальным отверстиям приведены в табл. 6.5.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 6.5

i	1	2	3	4	5	6
f_i	0,05	0,052	0,056	0,063	0,079	0,13
v_i	4,0	3,85	3,57	3,17	2,54	1,5

Полное давление в начале воздуховода

$$P_н = \frac{4^2 \cdot 1{,}2}{2 \cdot 0{,}65^2} + \frac{1}{3} \cdot 0{,}84 \cdot 5 \approx 24 \text{ Па}.$$

Размеры отверстий определяются как $c_i = f_i/b_i$, где c_i — искомая ширина отверстия, b_i — принятая высота его, постоянная для всех отверстий.

Расчет воздуховода постоянного сечения с приточными отверстиями переменной площади (рис. 6.2) выполняется в такой последовательности. Количество отверстий в боковой стенке воздуховода не не должно превышать $n_{макс} = 2P_д / R_н l$.

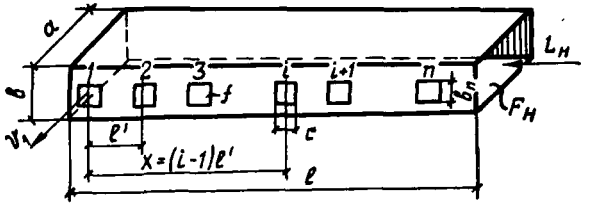


Рис. 6.2. Общий вид воздуховода

Конструктивные размеры воздуховода и требуемое давление в начальном его сечении определяют по следующим формулам: площадь первого приточного отверстия при заданной скорости истечения v_1 $f_1 = L_н/v_1 n$; площади последующих отверстий

$$f_{i+1} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{f_i^2} - \left(\frac{\mu}{F}\right)^2 \left[(i+1)^2 - i^2 - \frac{R_н l'}{P_д} i^2\right]}}.$$

Наименьшую площадь имеет первое отверстие, наибольшую — отверстие $i_x = 2P_д/R_н l'$, $i_x \gg n$. Скорость истечения воздуха из отверстий воздуховода $v_i = L_н/f_i n$. Полное давление в начале воздуховода $P_н = \frac{v_1^2 \rho}{2\mu^2} + \frac{1}{3} R_н l$.

Конусный прямоугольный воздуховод предназначен для активной подачи воздуха в рабочую зону (рис. 6.3) через щели шириной 30...80 мм, снабженные направляющими лопатками и экранами на выходе. Щели могут располагаться в нижней и боковых стенках воздуховода. Поступление приточного воздуха в рабочую зону осуществляется с заданной скоростью, обеспечивающей требуемые сани-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тарно-гигиенические условия. Высота установки воздуховода 3,6...3,8 м от уровня пола в проходах между технологическим оборудованием. Расчет активной подачи воздуха производится на основании зависимостей для плоской струи.

Назначается допустимая подвижность воздуха в рабочей зоне $v_{р.з}$ (табл. 1.8). Находят скорость истечения воздуха из щелевых отверстий

$$v_{щ} = v_{р.з}\sqrt{\frac{(ax/b_{щ}) + 0{,}205}{0{,}866}}.$$

Принимают скорость воздуха в начале воздуховода в пределах $v_н = (1{,}5 \ldots 2)\, v_{щ}$. Определяют начальное сечение воздуховода и его размеры: $F_н = L_н/3600\ v_н$; $F_н = a \times b_н$.

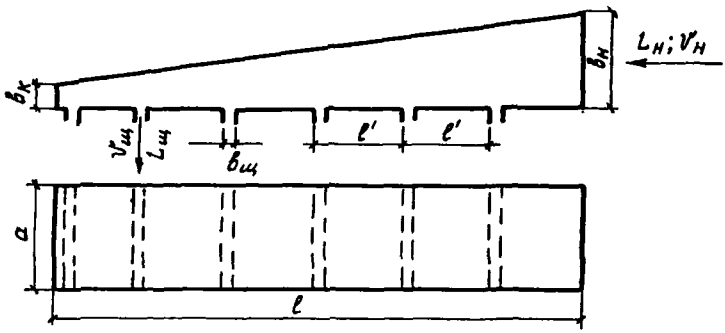


Рис. 6.3. Коиусный воздуховод для активной подачи воздуха

Устанавливают высоту воздуховода в его конце $в_к = 0{,}65\, в_н$. Вычисляют количество воздуха, выходящего из щели, при заданной ее ширине $L_{щ} = 3600 f_{щ} v_{щ}$. Скорость воздуха в конце воздуховода $v_к = L_{щ}/F_к$. Определяют количество щелей и расстояние между ними: $n = L_н/L_{щ}$; $l' = l/n$.

Расчетное (полное) давление в начале воздуховода

$$P_н = \sum (Rl + Z) = \frac{\lambda}{d_{ср}} l \frac{v_н^2 \rho}{l2} + 0{,}122 v_н^2 \left[1 + \left(\frac{v_{щ}}{v_н}\right)^2\right].$$

Пример. Необходимо подать воздух в количестве $L_ц = 5000$ м³/ч в рабочую зону цеха высотой $H = 4{,}2$ м, длиной Б = 36 м, шириной В = 15 м. Температура воздуха в рабочей зоне $t_{р.з} = 24$ °С, допускаемая скорость движения $v_{р.з} = 0{,}5$ м/с.

Решение. Длину воздуховода примем $l =$ Б $= 36$ м, высоту в начале $b_н = 400$ мм, ширину щели $b_{щ} = 50$ мм. Выпуск воздуха осуществляется на уровне $h_в = H - b_н = 4{,}2 - 0{,}4 = 3{,}8$ м от поверхности пола, тогда расстояние до рабочей зоны $x = h_в - h_{р.з} = 3{,}8 - 2 = 1{,}8$ м. Необходимая скорость истечения воздуха из щелевых отверстий при принятых значениях $v_{р.з}$, $b_{щ}$, x и коэффициенте турбулентной структуры $a_т = 0{,}5$ (по справочным данным для щелевых отверстий, снабженных вертикальными направляющими лопатками с отражательным экраном) составит $v_{щ} = 0{,}5\sqrt{[(0{,}5 \cdot 1{,}8) : 0{,}05 + 0{,}205]/0{,}866} = 2{,}78$.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Скорость движения воздуха в начале воздуховода $v_н = v_щ 1{,}5 = 2{,}78 \cdot 1{,}5 = 4{,}17$ м/с, сечение $F_н = 5000/3600 \cdot 4{,}17 = 0{,}33$ м², ширина $a = F_н : b_н = 0{,}33 : 0{,}4 = 0{,}825$ м. Высота воздуховода в его конце $b_к = 0{,}65 b_н = 0{,}65 \cdot 0{,}4 = 0{,}260$ м, площадь сечения $F_к = a b_к = 0{,}825 \cdot 0{,}260 = 0{,}215$ м². Воздуховыпускные отверстия устраиваем в нижней стенке. Количество воздуха, выходящего из одной щели размером $0{,}05 \times 0{,}825$, $L_щ = 3600\ 0{,}05\ 0{,}825 \cdot 2{,}78 = 410$ м³/ч. Необходимое количество щелей в воздуховоде $n = 5000 : 410 = 12$ шт., расстояние между ними $l' = 36 : 12 = 3$ м.

Для определения потерь давления на трение вычислим средний эквивалентный диаметр воздуховода $d_э^н = 2 \cdot 0{,}825 \cdot 0{,}4/(0{,}825 + 0{,}4) = 0{,}540$ м, $d_э^к = 2 \times 0{,}825 \cdot 0{,}260/(0{,}825 + 0{,}260) = 0{,}395$ м, $d_э^{ср} = 0{,}5\,(0{,}540 + 0{,}395) = 0{,}468$ м. Значение коэффициента трения λ примем примерно в 1,5 раза большим по сравнению с определенным для гладких воздуховодов, т. е. $\lambda = 1{,}5 \cdot 0{,}02 = 0{,}03$. Тогда полное давление в начале воздуховода

$$P_н = \frac{0{,}03}{0{,}395} 36 \cdot \frac{4{,}17^2}{2} 1{,}2 + 0{,}122 \cdot 4{,}17^2 \left[1 + \left(\frac{2{,}78}{4{,}17}\right)^2\right] \approx 32 \text{ Па}.$$

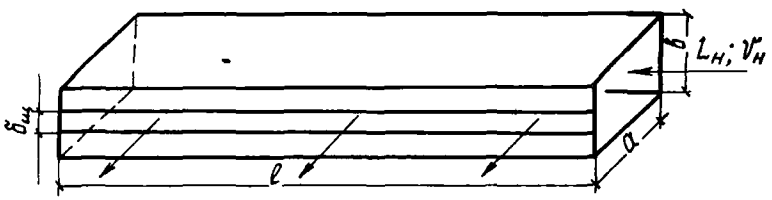


Рис. 6.4. Прямоугольный воздуховод со щелью постоянной высоты

Расчет прямоугольного воздуховода постоянного поперечного сечения с продольной щелью постоянной высоты (рис. 6.4) выполняется в такой последовательности. По максимально допустимому отклонению $r_{макс}$ согласно рис. 6.5 находят значение параметра щели $\mu\bar{f}$, расчетное отклонение $r_{расч}$ и коэффициент сопротивления воздуховода ζ. Находят ширину продольной щели

$$\delta_щ = \frac{(1 + 0{,}01 r_{расч})\, L_н}{l v_{макс}}.$$

Вычисляют площадь поперечного сечения воздуховода $F = \mu \delta_щ l/(\mu\bar{f})$. Определяют скорость воздуха в начале воздуховода $v_н = L_н/F$. Находят полное давление в начале воздуховода $P = \zeta \frac{v_н^2 \rho}{2}$.

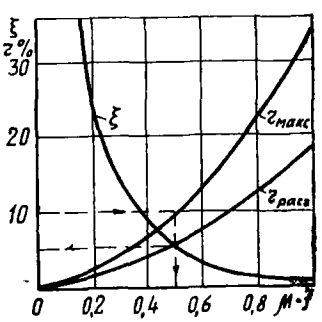


Рис. 6 5. Зависимость отклонения неравномерной раздачи воздуха от равномерной и коэффициента сопротивления воздухораспределителя

Пример. Необходимо равномерно раздать $L_н = 1{,}28$ м³/с воздуха из воздуховода длиной $l = 2$ м со скоростью истечения не более $v_{макс} = 10$ м/с. Возможное отклонение фактической раздачи воздуха от равномерной не должно оставить более $r_{макс} = 10$ %.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Решение. По рис 6.5 для максимально допустимого отклонения $r_{макс} = 10\ \%$ находим параметры щели $\mu\bar{f} = 0{,}52$, расчетное отклонение для нее $r_{расч} = 4\ \%$ и коэффициент сопротивления $\zeta = 4$.

Вычисляем ширину продольной щели $\delta_{щ} = (1 + 0{,}01 \cdot 4) \cdot 1{,}28/2 \cdot 10 = 0{,}0665$ м. Определяем площадь поперечного сечения воздуховода $F = 0{,}62 \cdot 0{,}0665 \cdot 2/0{,}52 = 0{,}159$ м^2, где $\mu = 0{,}62$ принят по табл. 6.1 (поз 2). Приняв высоту воздуховода $a = 200$ мм, найдем его ширину $b = 0{,}159 : 0{,}2 \approx 0{,}80$ м ≈ 800 мм. Скорость воздуха в начале воздуховода $v_{н} = 1{,}28 : (0{,}2 \times 0{,}8) = 8{,}0$ м/с, полное давление $P = 4\,(8^2 \cdot 1{,}2)/2 = 154$ Па

6.2. ВОЗДУХОВОДЫ РАВНОМЕРНОГО ВСАСЫВАНИЯ

Расчет прямоугольного воздуховода постоянного поперечного сечения с продольной щелью постоянной ширины (рис. 6.6) выполняется в последовательности, аналогичной для воздуховода равномерной раздачи постоянного поперечного сечения, с заменой термина «давление» на «разрежение» и введением поправочного коэффициента $k = 2{,}34$ на значение P, учитывающего дополнительное сопротивление при всасывании воздуха через боковую щель.

Расчет можно выполнить и другим способом. Как упоминалось раньше, относительно равномерное всасывание обеспечивается отношением площади продольной щели $f_{щ}$ к площади поперечного сечения воздуховода F $f_{щ}/F = 0{,}25 \ldots 0{,}3$. Для получения столь малого по значению отношения необходимо создавать большие

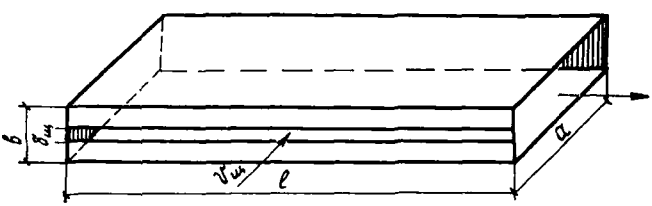


Рис. 6.6. Прямоугольный воздуховод постоянного поперечного сечения

скорости прохода воздуха через всасывающую щель $v_{щ}$ и малые в воздуховоде $v_{в}$.

Последовательность расчета следующая. Задаются скоростью воздуха в конце воздуховода (в месте подключения к отсасывающему воздуховоду) $v_{в}$ и находят площадь поперечного сечения $F = L_{уд}/v_{в}$, м^2. Вычисляют скорость всасывания воздуха через щель и динамическое давление (разрежение):

$$v_{щ} = L_{уд}/f_{щ} = L_{уд}/0{,}25F; \quad P_{д.щ} = v_{щ}^2\rho/2.$$

Определяют ширину щели $\delta_{щ} = f_{щ}/l$. Находят разрежение в конце воздуховода $P = 2{,}34P_{д.щ}$.

Пример. Рассчитать прямоугольный воздуховод постоянного поперечного сечения с равномерным всасыванием воздуха через продольную щель одинаковой высоты. Длина воздуховода $l = 10$ м, количество удаляемого воздуха $L_{уд} = 3$ м^3/с.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Решение. Приняв скорость в конце воздуховода $v_в = 3{,}5$ м/с, получим площадь его сечения $F = 3/3{,}5 = 0{,}86$ м². Скорость всасывания через щель $v_щ = 3/0{,}25 \cdot 0{,}86 = 14$ м/с, разрежение $P_{д.щ} = 14^2 \cdot 1{,}2/2 = 118$ Па. Ширина щели $\delta_щ = 0{,}25 \cdot 0{,}86/10 \approx 0{,}022$ м ≈ 22 мм, разрежение в конце воздуховода $P = 2{,}34 \cdot 118 = 276$ Па.

Расчет прямоугольного воздуховода постоянного поперечного сечения с продольной щелью переменной высоты (рис. 6.7) выполняется в такой последовательности. Задаются скоростью в конце воздуховода $v_в$, затем находят площадь его поперечного сечения $F = L_{уд}/v_в$, м², размер $a \times b = F$ и эквивалентный диаметр $d_э = 2ab/(a + b)$. Делят воздуховод на n равных частей и в каждом сечении определяют перепад скорости $\Delta v_в$, расход $\Delta L_{уд}$, расход

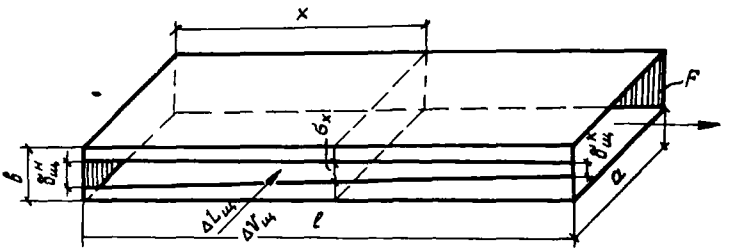


Рис. 6.7. Воздуховод постоянного поперечного сечения с продольной щелью переменной высоты

в щели $\Delta L_щ$ и диаметрическое давление (разрежение или вакуум $\Delta P_д$. Определяют ширину щели

$$\delta_щ = \frac{\Delta L_щ}{4{,}04\mu \sqrt{[\Delta P_д + \sum_n^0 (Rl)_{ср}]\, 0{,}1}},$$

где μ — коэффициент расхода, $\mu = 1$ (по данным В. И. Талиева [20]); $\sum_n^0 (Rl)_{ср}$ — сумма средних потерь давления на всех участках между первым и n сечениями. Подсчитывают разрежение в конце воздуховода

$$P = 2{,}34 \frac{v^2_{ср.щ}\rho}{2} + \sum_n^0 (Rl).$$

Поскольку второе слагаемое ничтожно в сравнении с первым, в практических расчетах им можно пренебречь.

Пример. Рассчитать прямоугольный воздуховод постоянного поперечного сечения с продольной щелью переменной высоты. Длина воздуховода $l = 10$ м, количество удаляемого воздуха $L_{уд} = 3$ м/с.

Решение. Скорость воздуха в конце воздуховода принимаем $v_в = 8$ м/с, тогда площадь его поперечного сечения $F = 3/8 = 0{,}375$ м². Задаем-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ся высотой воздуховода $b = 0{,}5$ м, находим ширину $a = F : b = 0{,}375 : 0{,}5 = 0{,}75$ м и эквивалентный диаметр $d_э = 2 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}75/(0{,}5 + 0{,}75) = 600$ мм. Разбиваем воздуховод на $n = 10$ равных частей, длина каждой $l' = 1$ м.

Перепад скорости в сечениях $\Delta v_в = v_в \cdot 10 = 8 : 10 = 0{,}8$ м/с; перепад расхода воздуха $\Delta L_{уд} = L_{уд} : 10 = 3 : 10 = 0{,}3$ м³/с. Расход воздуха через щель в каждом сечении $\Delta L_щ = L_{уд} : 10 = 3 : 10 = 0{,}3$ м³/с. Определим ширину щели.

Для первого сечения: так как $\Delta v_1 = 0$, $\Delta L_щ = 0$, чтобы найти ширину щели δ_1, отступим от этого сечения на 1/10 длины участка. Тогда $\Delta v_щ = 0{,}08$ м/с, $\Delta L_щ = 0{,}03$ м³/с и разрежение (вакуум) $\Delta P'_1 = 0{,}08^2 \ 1{,}2 : 2 = 0{,}004$ Па. Ширина щели $\delta'_1 = 0{,}03/4{,}04 \ 1 \sqrt{(0{,}004) \ 0{,}1} = 371$ мм.

Для второго сечения $\Delta v_2 = 0{,}8$ м/с, $\Delta L_{щ_2} = 0{,}3$ м/с. По таблицам для расчета воздуховодов по $\Delta v_2 = 0{,}8$ м/с и $d_э = 600$ мм находим $\Delta P_2 = 0{,}4$ Па, $R_2 = 0{,}01$ Па. Ширина щели

$$\delta_2 = \frac{0{,}3}{4{,}04 \cdot 1 \ \sqrt{(0{,}4 + 0{,}01 \ 1) \ 0{,}1}} \approx 371 \text{ мм}.$$

В аналогичной последовательности определяем ширину щели в остальных сечениях, мм: $\delta_3 = 190$, $\delta_4 = 123$, $\delta_5 = 92$, $\delta_6 = 73$, $\delta_7 = 61$; $\delta_8 = 52$; $\delta_9 = 45$, $\delta_{10} = 40$, $\sum_0^n (Rl) = 3{,}25$ Па. Средняя скорость всасывания воздуха через щель

$$v_щ^{ср} = L_{уд} : 0{,}5 (\delta_1 + \delta_{10}) = 3 : 0{,}5 (0{,}371 + 0{,}04) = 14{,}6 \text{ м/с}.$$

Разрежение в конце воздуховода $P = 2{,}34 \dfrac{14{,}6^2 \ 1{,}2}{2} \approx 300$ Па.

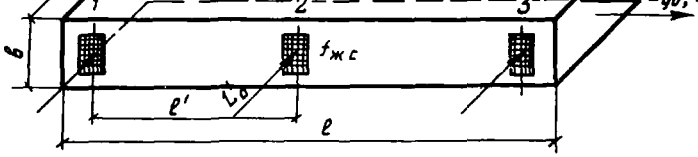


Рис. 6.8. Воздуховод с отсасывающими отверстиями переменной площади

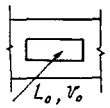
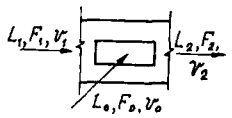
Расчет воздуховода постоянного поперечного сечения с отсасывающими отверстиями переменной площади (рис. 6.8) осуществляется в такой последовательности. Задаются конечной скоростью $v_к$ в воздуховоде по ходу движения воздуха и определяют его площадь $F = L_{уд}/v_к$, размеры $F = a \times b$, эквивалентный диаметр $d = 2ab/(a + b)$. Делят воздуховод на участки и на каждом из них находят расход воздуха L_i, скорость v_i, динамическое давление $P_{дi}$ и удельную потерю на трение R_i.

Задаются процентным отношением площади живого сечения всасывающего отверстия $f_{ж.с}$ к площади поперечного сечения воздуховода F, т. е. $\beta = f_{ж.с} : F$, и находят $f_{ж.с} = \beta F$. По известному значению $f_{ж.с}$ определяют площадь всасывающего отверстия $f_{в.о} = f_{ж.с} : \eta$, где η — доля живого сечения в общей площади

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru

всасывающего отверстия. Затем вычисляют размеры $f_{в.о}$ как $c = f_{в.о} : b'$, где b' — принятая высота отверстия, c — искомая ширина. Проверяют правильность предварительно принятого значения β и найденной площади $f_{ж.с}$, для чего устанавливают вакуум (разрежение) в рассматриваемом сечении $P_{в_i} = \sum (Rl + Z)_{i-1} + P_{д_i}$ и получают $f_{ж.с} = L_i \sqrt{\sum \xi_в} / 4{,}04 \sqrt{P_в\ 0{,}1}$, где $\sum \xi$ — сумма КМС всасывающего отверстия, принимаемая по табл. 6.6.

Таблица 6.6

Боковой вход через первое отверстие		$\beta = \frac{f_{ж.с}}{F}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
		$\xi_в$	—	57	23	12	6,9	4,6	3,2	2,5	2	1,7
То же через среднее отверстие		$\beta = \frac{f_{ж.с}}{F}$	L_{oi}/L_i									
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
			Вход $\xi_в$					Проход $\xi_п$				
		0,1	0,8	1,3	1,4	1,4	1,4	0,1	0,1	0,8	2,6	—5,6
		0,2	1,4	0,9	1,3	1,4	1,4	0,1	0,2	0,1	0,6	—2,1
		0,4	9,5	0,2	0,9	1,2	1,3	0,2	0,3	0,3	0,2	—0,2
		0,6	21,2	2,5	0,9	1,0	1,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3

Пример. Рассчитать вытяжной канал постоянного поперечного сечения (рис. 6.9) длиной $l = 10$ м с тремя отверстиями, перекрываемыми сетками. Количество удаляемого воздуха $L_{уд} = 3600$ м³/ч, расстояние между отверстиями $l' = 5$ м.

Решение. Скорость движения воздуха в конце канала примем $v_к = 5$ м/с. Поперечное сечение канала $F = L_{уд} : 3600 \cdot v_к = 3600 : 3600 \cdot 5 = 0{,}2$ м², что соответствует размерам $b \times a = 400 \times 500$ мм. Эквивалентный по скорости диаметр $d_э = 2ba/(b + a) = 2 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}5 : (0{,}4 + 0{,}5) = 0{,}45$ м.

Делим канал тремя сечениями по центрам отсасывающих отверстий и в каждом сечении определяем расход, м³/ч: $L_1 = 1200$, $L_2 = 2400$, $L_3 = 3600$; скорость, м/с: $v_i = L_i/F3600$, $v_1 = 1{,}67$; $v_2 = 3{,}34$; $v_3 = 5$. Динамическое давление и удельную потерю на трение находим по таблицам для расчета круглых воздуховодов: $P_{д.1} = 1{,}7$; $P_{д.2} = 6{,}7$; $P_{д.3} = 15{,}3$, $R_1 = 0{,}1$; $R_2 = 0{,}28$; $R_3 = 0{,}54$. Определяем размеры отсасывающих отверстий.

Для первого сечения: принимая площадь живого сечения входного отверстия $f_{ж.с}$ равной 50 % площади сечения канала, получаем $f_{ж.с} = 0{,}5$ $F = 0{,}5 \cdot 0{,}2 = 0{,}1$ м². Живое сечение отверстия, перекрываемого металлической сеткой, составляет около 80 % площади этого отверстия. Следовательно, пло-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

щадь входного отверстия $f_{в.\,о} = f_{ж.\,с} : 0{,}8 = 0{,}1 : 0{,}8 = 0{,}125$ м², а его размеры $c \times b' = 355 \times 355$ мм.

Коэффициент местного сопротивления сетки $\xi_с = 0{,}26$, коэффициент местного сопротивления входа $\xi_в$, отнесенный к скорости воздуха в первом сечении, при относительной площади живого сечения отверстия $\beta = 0{,}5$ равен 6,9, всего $\Sigma\xi_{вх} = \xi_с + \xi_в = 0{,}26 + 6{,}9 = 7{,}16$. Потери давления на трение на участке между первым и вторым сечениями $R_1 l' = 0{,}1 \quad 5 = 0{,}5$ Па. Местные потери, т. е. потери на входе воздуха через отверстие, $Z = \Sigma\xi_{вх} P_{д.\,1} = 7{,}16 \times 1{,}7 = 12{,}2$ Па, суммарные $\Sigma(Rl' + Z)_{1-2} = 0{,}5 + 12{,}2 = 12{,}7$ Па. Эта величина потребуется в дальнейшем для проверочного расчета найденной площади последующих отверстий.

Для второго сечения ориентировочно принимаем $\beta = f_{ж.\,с_2} : F = 0{,}35$, откуда $f_{ж.\,с_2} = 0{,}35 \cdot F = 0{,}35 \quad 0{,}2 = 0{,}07$ м². Площадь входного отверстия $f_{в.\,о_2} = 0{,}07 : 0{,}8 = 0{,}088$ м², ширина его, при неизменной высоте $b' = 0{,}355$

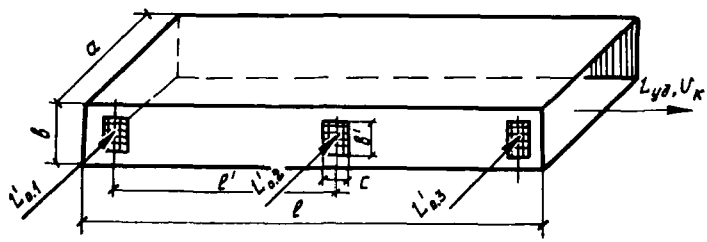


Рис. 6.9. Расчетная схема воздуховода

составит $c = f_{в.\,о_2} : b' = 0{,}088 : 0{,}355 = 0{,}248$ м. Проверим правильность принятого отношения β, т. е. найденной площади отверстия $f_{ж.\,с_2}$. Вакуум (разрежение) в сечении 2 $P_2 = P_1 + P_{д2} = 12{,}7 + 6{,}7 = 19{,}4$ Па при $L_{о2} : L_2 = 1200 : 2400 = 0{,}5$ и $\beta = 0{,}4$. КМС входа, отнесенный к скорости воздуха во втором сечении, $\xi_в = 1{,}3$; с учетом сопротивления сетки $\xi_{вх_2} = 1{,}3 + 0{,}26 = 1{,}56$; $\xi_п = -0{,}2$; с учетом запаса примем $\xi_п = 0$.

Секундный расход через отверстие $L'_{02} = 1200 : 3600 = 0{,}33$ м³/с. Площадь живого сечения входного отверстия

$$f_{ж.\,с_2} = \frac{L'_{о2}\sqrt{\Sigma\xi_{вх}}}{4{,}04 \cdot \sqrt{(P_2)\,0{,}1}} = \frac{0{,}33 \cdot \sqrt{1{,}56}}{4{,}04 \cdot \sqrt{19{,}5 \cdot 0{,}1}} = 0{,}074 \text{ м}^2.$$

Отношение площадей $\beta = f_{ж.\,с_2} : F = 0{,}074 : 0{,}2 = 0{,}37$. Расхождение с ориентировочно принятым незначительно, пересчет не делаем.

Для третьего сечения: аналогично предыдущему принимаем $f_{ж.\,с_3} : F = 0{,}25$, получаем $f_{ж.\,с_3} = 0{,}25 \cdot 0{,}2 = 0{,}05$ м². Площадь входного отверстия $f_{в.\,о_3} = 0{,}05 : 0{,}8 = 0{,}0625$ м², его ширина $c = 0{,}0625 : 0{,}353 = 0{,}176$ м.

Проверка. Вакуум в третьем сечении $P_3 = P_2 + \Sigma(Rl + Z)_{2-3} + P_{д.3}$. Потери давления на трение на участке между вторым и третьим сечениями $R_2 \cdot l'_2 = 0{,}28 \cdot 5 = 1{,}4$ Па.

Местные потери: при $\beta = 0{,}25$ и $L_{о.3} = 1200 : 3600 = 0{,}33$ находим $\xi_п = 0{,}2$ (по интерполяции), $Z_п = \xi_п \cdot P_{д.2} = 0{,}2 \cdot 6{,}7 = 1{,}3$; $\xi_в = 1{,}1$, включая КМС сетки $\Sigma\xi_в = 1{,}1 + 0{,}26 = 1{,}36$. Следовательно, $P_3 = 19{,}5 + (1{,}4 + 1{,}3) + 15{,}3 = 37{,}5$ Па;

$$f_{ж.\,с_3} = \frac{0{,}33\sqrt{1{,}36}}{4{,}0{,}4\sqrt{(37{,}5) \cdot 0{,}1}} = 0{,}049 \approx 0{,}05 \text{ м}^2.$$

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Отношение площадей $F_{ж.с2}/F = 0,05 : 0,2 = 0,25$, что равно предварительно принятому. В такой же последовательности рассчитываются воздуховоды круглого сечения.

Глава 7

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРОЙСТВУ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ЦЕХАХ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

7.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ЦЕХИ

Работа оборудования механических цехов — токарных, фрезерных, сверлильных, заточных, шлифовальных и других типов станков — сопровождается выделением теплоты, влаги и пыли. Источниками теплопоступлений являются также люди, искусственное освещение, солнечная радиация. Для ассимиляции теплоты используются механическая или естественная приточно-вытяжная вентиляция с подачей воздуха через оконные фрамуги и удалением через вытяжные фонари, шахты или крышные вентиляторы в одноэтажных и низких зданиях.

Удаление пыли осуществляется местными отсосами в виде кожухов и отсасывающих воронок. Отдельно стоящие заточные станки при периодической работе оборудуются индивидуальными обеспыливающими агрегатами ЗИЛ-900, ПА2-12, ПАЗ-12, А32-12. При групповом расположении станков очистка воздуха от пыли перед выбросом в атмосферу должна быть централизованной.

Механическую приточную вентиляцию в сочетании с местными отсосами устраивают в цехах, где при работе станков применяют эмульсии, а также в случаях, когда объем помещения, приходящийся на одного рабочего, меньше 40 м³. Если кратность воздухообмена не превышает единицы, допускается неорганизованный приток в холодный период года. Если объем помещения на одного работающего меньше 20 м³, необходимо обеспечить воздухообмен не менее 30 м³/ч, при объеме помещения 20...40 м³ — не менее 20 м³/ч

В цехах небольшой высоты (до 6 м) целесообразно устраивать рассредоточенную подачу воздуха в верхнюю зону воздуховодами равномерной раздачи или плафонами. В цехах большой высоты и с широкими пролетами воздухораспределительные устройства следует устанавливать на высоте не более 4 м от пола с подачей воздуха горизонтальными струями или на высоте не более 6 м, тогда струи направляют вертикально вниз. Рекомендуется также приколонный воздухораспределитель типа ПРВ.

В станочных и слесарно-сварочных отделениях с постоянным режимом работы приточный воздух необходимо подавать в рабочую зону рассредоточенно расположенными пристенными или панельны-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ми воздухораспределителями, в заточных отделениях — в верхнюю зону воздуховодами равномерной раздачи или плафонами с небольшими скоростями истечения.

При объеме помещения, превышающем 3000 м³, как правило, рекомендуется проектировать воздушное отопление, совмещенное с вентиляцией. Размещение нагревательных приборов, рассчитанных на дежурное отопление, следует предусматривать в том случае, когда постоянные рабочие места находятся на расстоянии 2 м и менее от окон в наружных стенах.

Дежурное отопление (в нерабочее время) устраивается также переключением приточной установки на рециркуляционный режим или используются отопительно-рециркуляционные агрегаты типа АО2, АОД2, АОУ2, за исключением помещений, в которых выделяются вредные вещества первого и второго класса опасности.

Выбор способа отопления определяется технико-экономическим расчетом. Воздухообмен, создаваемый агрегатами, должен быть не менее чем 1...1,2-кратным, минимальное количество агрегатов — два.

7.2. СВАРОЧНЫЕ ЦЕХИ (ОТДЕЛЕНИЯ)

К наиболее распространенным видам работ в сварочных отделениях при ремонтно-механических цехах относятся электродуговая и точечная сварка, газовая сварка и резка. Они сопровождаются значительным выделением пыли и вредных газов, например окиси углерода, окиси азота, фтористых соединений. Наиболее распространенными марками электродов являются АНО-3,6,7, УОНИ, ЦМ-7, МР-3,4. В крупных цехах широко используется полуавтоматическая сварка под слоем флюса, порошковой проволоки, в среде инертных газов. Основной принцип вентиляции сварочных цехов и отделений — местная вытяжка от сварочных постов при сварке и резке небольших деталей и общеобменная приточно-вытяжная, предназначенная для разбавления неуловленной местными вытяжными устройствами части вредных веществ и ассимиляции теплопоступлений в помещение.

Воздухообмен рассчитывают на разбавление до ПДК всех основных компонентов, входящих в состав сварочных вредностей сварочных материалов, и за расчетный принимают больший из них. Воздухообмен при сварке и резке на нефиксированных рабочих местах, а также части неуловленных местными отсосами газов и аэрозолей, составляющих примерно 25 % их общего количества, следует принимать по табл. 7.1, 7.2 [39].

Газы и аэрозоли, образующиеся при сварочных работах на нефиксированных рабочих местах и неуловленные местными отсосами, накапливаются в верхней зоне помещения и в зависимости от силы сварочного тока и диаметра электрода зависают на определенной высоте, называемой оптимальной, откуда и следует их удалять (табл. 7.3 [17]). Не рекомендуется располагать вытяжные воздухо-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

воды (отверстия) на расстоянии более 1...2 м от оптимальной высоты.

При проектировании общеобменной вентиляции применяется одна из следующих схем.

1. Для помещений высотой, близкой к оптимальной или выше ее на 1...2 м: рассеянная подача приточного воздуха в рабочую зону пристенными или панельными воздухораспределителями в полном объеме вытяжки; вытяжка с механическим побуждением на оптимальной высоте, при этом расстояние в плане от всасывающих отверстий до мест сварки должно быть не более 5 м.

2. Для помещений, превышающих оптимальную высоту в 1,7 раза, и где невозможно расположить воздуховоды на оптимальной высоте: приток с сосредоточенным выпуском на высоте 5...7 м; механическая вытяжка через шахты или крышные вентиляторы в перекрытии.

3. Для помещений с большой высотой при воздухообмене более 360 м^3/ч на 1 м^2 площади: приток в рабочую зону, как и в схеме 1; механическая вытяжка через шахты или крышные вентиляторы в перекрытии.

Сосредоточенная подача воздуха может осуществляться компактными прямоточными струями через воздухораспределители типа

Таблица 7.1

Сварочный материал	Количество воздуха, м^3 на 1 кг расходуемого сварочного материала для разбавления вредных веществ		
	сварочного аэрозоля	марганца и его окислов	фтористого водорода
Ручная сварка			
Электроды *: УОНИ 13/45	3400	1700	2000
УОНИ 13/55	4500	3600	4600
АНО-3	1500	2800	—
АНО-4	1500	2000	—
АНО-6	4100	6600	—
МР-3	2500	4400	760
Полуавтоматическая сварка в углекислом газе			
Проволока СВ-08 Г2С	2000	1700	—
Сварка порошковой проволокой			
Проволока: ПП-АН-3	3400	4500	5400
ПП-АН-4	1900	2500	3900
ПП-АН-8	3600	7300	1900
Автоматическая и полуавтоматическая сварка под слоем флюса			
Флюс АН-348А	—	80	60
АН-26	—	—	60

* Расход электродов на один сварочный пост составляет примерно 5 кг/ч

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 7.2

Технологический процесс	Определяющие воздухообмен вредные вещества			Количество воздуха, м³
	Наименование	Измеритель	Количество	
Контактная электросварка стали:				
стыковая	Окись железа с примесью до 3 % окислов марганца	г/ч на 75 кВа номинальной мощности машины	25	4000
точечная	То же	То же, на 50 кВа	2,5	400
Газовая резка высокомарганцовистых сталей	Марганец	г на 1 м длины реза толщиной 1 мм	1,12	400
То же углеродистых и низколегированных сталей	Окись железа с примесью до 3 % окислов марганца	То же	0,45	75
Газовая сварка сталей ацетилено-кислородным пламенем	Окись азота	г на 1 кг ацетилена	22	4400

Примечание. При газосварочных работах на нефиксированных рабочих местах в случае отсутствия данных о характере обрабатываемого материала на 1 литр расходуемого ацетилена (см. табл. 7.4) необходимо подавать не менее 5 м³ воздуха; при наличии фиксированных мест на каждый сварочный пост — 1200 м³/ч при ручной резке, 3000 м³/ч при ручной сварке, 2000 м³/ч при резке на автоматах и полуавтоматах.

Таблица 7.3

Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Оптимальная высота для вытяжки, м, на которой концентрация пыли максимальная
120	4	4,0
140	4	4,7
180	4...5	6,0
200	5	6,6
280	5...6	9,3
300	6	10,0
350	6...8	11,6
400	8	13,5

Таблица 7.4

Толщина свариваемого металла, мм	Расход ацетилена на один сварочный пост, л/ч при таких работах			
	сварка ручная	резка ручная	резка на полуавтоматах	резка на автоматах
0,2...0,5	26	—	—	—
0,5...1	65	—	—	—
1..2	100	—	—	—
2...4	260	—	290	—
4...6	430	—	340	360
6...9	650	230	400	400
9...14	1000	250	430	450
14...20	1700	280	470	510
20...30	2100	320	550	570
50	—	410	810	750
100	—	650	1200	1200

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ПП, ВКГ. При этом рабочая зона будет омываться обратным потоком, скорость которого не должна превышать 0,2....0,5 м/с.

Для теплого периода года необходимо производить расчет воздухообмена по теплоизбыткам, основная часть которых поступает за счет солнечной радиации. Этот воздухообмен обычно выше полученного расчетом на разбавление вредных выделений. Поступление дополнительного количества воздуха достигается естественным проветриванием.

Для сварочных цехов площадью более 500 м^2 следует проектировать воздушное отопление, совмещенное с приточной вентиляцией, для цехов площадью менее 500 м^2 достаточны нагревательные приборы, рассчитанные, как правило, только на дежурное отопление.

7.3. КУЗНЕЧНЫЕ И ТЕРМИЧЕСКИЕ ЦЕХИ

Оборудование кузнечных цехов: молоты (паровые, воздушные, механические, приводные), прессы, ковочные машины, нагревательные печи различных типов, горны. Производственный процесс в них сводится к резке и правке металла и слитков для заготовок, нагреву заготовок в нагревательных печах до 1100....1250 °С и горнах, ковке и штамповке деталей.

Оборудование термических цехов: нагревательные печи и закалочные ванны. Здесь осуществляется обработка деталей для придания им определенных химических, механических и металлографических свойств, цементацией, закалкой, азотированием, цианированием, отжигом, отпуском и нормализацией.

При термической обработке изделия покрываются слоем окалины, снятие которой производится в дробеметных и дробеструйных камерах.

К основным вредностям в кузнечных и термических цехах относятся конвективная и лучистая теплота, выделяющаяся от горячих поверхностей печей и металла, окись углерода, сернистый газ при работе печей на твердом и жидком топливе. В процессе ковки и штамповки изделий в воздух помещения поступает пыль окалины, сдуваемая сжатым воздухом с поверхности матриц, штампов и поковок. В термических цехах загрязнения дополняются цианистым водородом, аммиаком, парами масла и воды.

Для локализации вредностей используются местные отсосы — зонты, зонты-козырьки, укрытия и бортовые отсосы. Зонты устанавливают над горнами, зонты-козырьки — над загрузочными отверстиями печей и камерных электропечей сопротивления. Закалочные ванны (кроме масляных) помещаются в укрытия с рабочими проемами, реже снабжаются кольцевыми щелевыми отсосами. Масляные закалочные ванны оборудуют бортовыми отсосами и объединяют в самостоятельные вытяжные системы, так как при закалке возможно возгорание масла. Поэтому их не следует объединять с местными

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

отсосами от нагревательных печей. Местные отсосы от водяных закалочных ванн не предусматриваются.

Выброс воздуха системами местной вытяжной вентиляции следует принимать факельным. Местная вытяжка производится естественным и механическим способами. Общеобменная вентиляция рассчитывается из условия ассимиляции теплоизбытков с последующей проверкой на разбавление выделяющихся окиси углерода, сернистого газа и цианистого водорода до ПДК. Воздухообмен в помещениях следует определять для двух периодов года и переходных условий, так как тепловой баланс для них различен.

Для ассимиляции избыточной теплоты широко используется аэрация. Аэрационный воздух подается через проемы, расположенные в нижней зоне цеха на высоте 0,3....1,8 м, с направлением потока на рабочие места; в холодный период года и в переходных условиях — через проемы на высоте не ниже 4...6 м. Из верхней зоны воздух удаляется через фонари, шахты или крышными вентиляторами в бесфонарных зданиях.

Механическая приточная вентиляция, как правило, включается в работу в переходных условиях и холодный период года. С целью экономии электроэнергии в теплый период она отключается, кроме цехов, условия расположения и высота которых не позволяют осуществить аэрацию. Приточный воздух подается в рабочую зону рассеянно пристенными патрубками или панелями не ближе 2 м от рабочих мест со скоростью 1...2 м/с и температурой, определяемой по тепловоздушному балансу, но не ниже 10...12 °С.

Подача воздуха приточными установками, обеспечивающая компенсацию воздуха, удаляемого местной вытяжной вентиляцией и из верхней зоны в количестве не менее одного объема, чаще всего определяется с учетом холодного периода года. Принятую подачу необходимо проверять на растворение газовых вредностей.

Для борьбы с воздействием лучистой теплоты применяется воздушное душирование рабочих мест. Согласно рекомендациям [42] при поверхностной плотности лучистого теплового потока 350 Вт/м^2 и более душирование должно осуществляться наружным воздухом, при меньшем значении — используются душирующие агрегаты переносного, стационарного или передвижного типов. Душирующие установки, работающие с использованием наружного воздуха, следует учитывать при составлении тепловоздушных балансов. Летом для понижения температуры подаваемого воздуха применяется адиабатическое охлаждение.

Среди передвижных душирующих установок наиболее широко распространен поворотный аэратор ПАМ-24, конструкция которого позволяет производить распыл воды. Рекомендации по устройству вентиляции во вспомогательных помещениях термических цехов приведены в табл. 7.6 [47].

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 76

Помещение	Вентиляция		
	Вытяжная		Приточная
	местная	общеобменная	
Отделение цианирования	Механическая от агрегатов цианирования	Механическая из верхней зоны. Воздухообмен из расчета ассимиляции теплоты и растворения выделений до ПДК	Механическая: в рабочую зону — 85 %, в смежные — 15 % вытяжки
Кладовая цианистых солей	Механическая от шкафа для развески	Механическая из нижней зоны в пятикратном объеме помещения	То же
Отделение очистки и гидрополировки	Аспирация от дробометных и гидрополировальных камер	Не требуется	Механическая рассеянная
Помещение установок ТВЧ	Механическая от закалочных станков и агрегатов ТВЧ	Механическая или естественная из верхней зоны из расчета ассимиляции теплопоступлений	Механическая в рабочую зону
Помещение хранения баллонов для азотирования	Зонт над стендами аммиачных баллонов	Механическая из верхней зоны. Воздухообмен из условия растворения аммиака до ПДК	Механическая: в рабочую зону — 80 %, в смежные помещения — 20 % вытяжки
Помещение испарительного азотирования	Не требуется	То же	То же
Отделение приготовления твердых карбюлизаторов	Местные отсосы от мельниц, бункеров, транспортеров	Не требуется	Механическая в верхнюю зону
Отделение установок для приготовления контролируемых атмосфер	Местные отсосы от генераторов для приготовления контролируемой газовой среды и от стендов аммиачных баллонов	Механическая из верхней зоны в трехкратном объеме помещения	То же

7.4. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ И ТРАВИЛЬНЫЕ ЦЕХИ

Технологический процесс в гальванических цехах связан с нанесением на поверхность изделий антикоррозийных и декоративных покрытий электролитическим способом. Перед нанесением защитных покрытий изделия подвергают сухой или мокрой очистке. Сухая

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

очистка от ржавчины, окалины и загрязнений производится в дробеметных камерах, на обдирочно-шлифовальных станках, во вращающихся галтовочных барабанах, заполненных песком или наждаком. Мокрая очистка заключается в травлении деталей в водных растворах солей, кислот, щелочей и обезжиривании в органических растворителях, например в бензине, керосине. После травления и покрытия изделия промывают в ваннах холодной и горячей промывки, затем сушат непосредственно в цехе или в специальных шкафах.

В зависимости от химического состава растворителя все процессы, протекающие в гальванических ваннах, делятся на три группы: кислые, щелочные и цианистые. К кислым процессам относятся декапирование и ряд гальванических покрытий: никелирование, меднение, лужение, хромирование, свинцевание; к щелочным — обезжиривание, щелочное лужение, воронение; к цианистым — цианирование, кадмирование, серебрение.

В помещениях гальванических цехов выделяются все известные вредности — теплота, влага, пары, газы, полые капли, жидкие аэрозоли и пыль. Особой токсичностью отличаются растворы цианистых солей, хромовой и азотной кислот.

Наиболее распространенными устройствами для локализации вредных выделений являются бортовые отсосы, которые располагают по длинной стороне ванны; в отдельных случаях, если позволяет технологический процесс,— зонты и ширмы, отделяющие участок с оборудованием. При выборе бортовых отсосов предпочтение следует отдавать «опрокинутым» как наиболее эффективным. Для уменьшения интенсивности испарения вредных веществ зеркало ванн рекомендуется покрывать пластмассовыми шариками. Столы для обезжиривания крупных деталей должны иметь наклонные панели равномерного всасывания с нижним или верхним присоединением к воздуховоду.

Местные отсосы от ванн для обезжиривания деталей органическими растворителями, от ванн для цианистых процессов, процессов хромирования и никелирования следует объединять в самостоятельные вентиляционные установки. При остальных гальванических процессах объединение местных отсосов в общую вытяжную установку допускается с учетом указаний СНиП [38, п. 4.30]. От ванн холодной и горячей промывки вытяжку не устанавливают, кроме ванн промывки после травления в азотной кислоте. Самостоятельные вытяжные системы должны проектироваться также для дробеметных камер, обдирочно-шлифовальных и полировальных станков, от укрытий над местами обезжиривания бензином. Баки, сборники, мерники для растворения кислот, щелочей и солей необходимо снабжать крышками. Количество воздуха, удаляемого через местные отсосы от них, определяется скоростью всасывания через неплотности — 0,7 м/с при холодных и 1 м/с при нагретых растворах.

Системы местных отсосов от ванн с цианистыми растворами,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

азотной и соляной кислотами должны иметь резервные вентиляторы с автоматическим включением их при остановке основного.

Приточная вентиляция во всех основных отделениях гальванических и травильных цехов предусматривается механической и рассчитывается на полную компенсацию воздуха, удаляемого местной и общеобменной вытяжными системами. Из общего объема притока часть его, примерно 5 %, подается в смежные помещения, не имеющие токсических выделений и пыли для создания подпора в них. Основной объем подают в верхнюю зону рассеянно воздуховодами равномерной раздачи, плафонами, потолочными панелями, перфорированными воздуховодами. Применение последних обеспечивает быстрое затухание скорости истечения, не вызывая повышенной подвижности воздуха в рабочей зоне, нарушающей нормальную работу бортовых отсосов. По этой же причине аэрацию в гальванических и травильных цехах, как правило, не применяют.

При рекомендуемой схеме вентиляции, т. е. сверху — вниз, и расчетной кратности более 5 $ч^{-1}$ принудительное проветривание верхней зоны не требуется [38]. Если кратность воздухообмена меньше указанной, следует предусмотреть дополнительную механическую вытяжку из верхней зоны из расчета на 1 $ч^{-1}$. При эксплуатации полностью укрытого технологического оборудования и высоте подачи воздуха более 6 м допускается сосредоточенный выпуск его с обеспечением нормируемой скорости движения воздуха в рабочей зоне (не более 0,3 м/с)

В отделениях приготовления растворов, складах хранения и развески цианистых солей с учетом количества воздуха, удаляемого местными отсосами, необходимо обеспечить не менее чем трехкратный воздухообмен.

Прокладка магистральных воздуховодов местных вытяжных систем может быть подпольная (кроме воздуховодов от ванн с органическими растворителями) и верхняя. При подпольной каналы устраиваются из кислотоупорного бетона или кирпича, оштукатуриваются кислотоупорным цементом снаружи и изнутри, покрываются каменноугольной смолой. Бортовые отсосы и воздуховоды вытяжных систем следует покрывать с обеих сторон асфальтовым или перхлорвиниловым лаком. Приточные воздуховоды снаружи покрываются асфальтовым лаком или масляной краской, а изнутри — олифой.

Горизонтальные участки каналов выполняются с уклоном i = = 0,005....0,01 в сторону вентилятора с устройством перед ним приямка для стока конденсата. При верхней прокладке уклон воздуховодов делается в сторону ванн, а в нижней части вентилятора предусматривается врезка вентиля для спуска накопившегося в нем в процессе эксплуатации конденсата. Трассу воздуховодов надо намечать так, чтобы ванны с более токсичными вредностями располагались ближе к вентилятору.

Удаляемый воздух, загрязненный пылью, необходимо подвергать очистке в циклонах или матерчатых фильтрах. Воздух от вредных

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

паров и газов очищается чаще всего пропусканием его через слой сорбента жидкого или твердого, способного поглощать вредности. Однако такие установки из-за высокой стоимости применяют только в особых случаях, когда концентрация пара или газа в отсасываемом воздухе доходит до 1 гр на 1 кг воздуха.

Очистка воздуха от цианистых соединений и травильных растворов осуществляется в пенных фильтрах ПГИ-П, которые требуют устройства реагентного хозяйства и специальной канализации. Воздух, удаляемый от ванн хромирования, следует очищать в волокнистых фильтрах ФВГ-Т. При малых концентрациях вредностей в отсасываемом воздухе его выбрасывают без очистки в верхние слои атмосферы, используя для этого факельный выброс.

При выборе вентиляционного оборудования необходимо соблюдать правила пожаро- и взрывобезопасности: для вытяжных систем, удаляющих пары растворителей или газов от электролитических ванн, вентиляторы и электродвигатели выполняют искрозащищенными, воздуховоды заземляют.

Отопление гальванических и травильных цехов — обычно воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией. Нагревательные приборы устанавливаются преимущественно под световыми проемами в соответствии со СНиП [42, п. 3.52] с учетом использования их для дежурного отопления.

В отделениях — машинном, приготовления растворов, хранения химикатов и развеса цианистых солей для отопления используются местные нагревательные приборы (радиаторы, ребристые трубы). Рециркуляция воздуха в цехах и отделениях, кроме машинного, не допускается.

7.5. ЛИТЕЙНЫЕ ЦЕХИ

В зависимости от объема цеха в его состав могут входить: склад формовочных материалов, землеприготовительное отделение, отделения размола угля и глины, плавки и заливки металла, формовки и сушки форм и стержней, выбивки форм и стержней, очистки, обрубки, термообработки и отжига литья, грунтовки отливок, колошниковые площадки вагранок.

Каждое из этих помещений имеет собственный производственный процесс, увязанный с общей технологией цеха, и характерные вредные выделения, которые и определяют выбор решений по устройству вентиляции [5; 35].

В складах формовочных материалов, металла, кокса, флюса и углекислоты основной вредностью является пыль, выделяющаяся от сушильных барабанов, дробилок, мельниц и другого оборудования. Для ее локализации устанавливают местные отсосы. Воздуховоды, транспортирующие пылевоздушную смесь, снабжаются герметически закрывающимися лючками для очистки от осевшей пыли. Перед выбросом в атмосферу воздух подвергается очистке. Количество приточного воздуха должно соответствовать объему вытяжки. Подача

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

его производится в верхнюю зону минимальным числом сосредоточенных струй. Для отопления используют перегретый приточный воздух или воздушно-отопительные агрегаты.

В помещениях для хранения баллонов с углекислотой должна быть общеобменная приточно-вытяжная вентиляция, рассчитанная на разбавление CO_2 до ПДК, не менее чем с пятикратным воздухообменом [35]. Удаление загрязненного воздуха производится из нижней зоны помещения расположенными у пола вытяжными отверстиями или решетками. Приток, равный объему вытяжки, подается в верхнюю зону.

В землеприготовительных отделениях производственный процесс сопровождается выделением пыли и влаги от шаровых мельниц, бегунов, сит, транспортеров, мест пересыпок сухих формовочных материалов. Дополнительно к местной вытяжной вентиляции от пылящего оборудования предусматривается вытяжка из верхней зоны с кратностью воздухообмена, равной пяти. Принятый объем проверяется на разбавление выделяющейся влаги.

Раздачу приточного воздуха следует осуществлять рассредоточенно на высоте 5....6 м с небольшими скоростями, исключающими взмучивание пыли. Из общего объема около 80 % притока необходимо подавать непосредственно в землеприготовительное отделение, остальные 20 % — в смежные.

Для постоянных рабочих мест (у бегунов, смесителей, сушил и других машин) необходима подача приточного воздуха в виде воздушных душей с направлением потока сверху вниз или сверху под углом в сторону машины.

В теплый период года поступление наружного воздуха происходит естественным путем через проемы окон и ворот вследствие разрежения, создаваемого вытяжной вентиляцией. Применяется воздушное отопление, совмещенное с приточной вентиляцией, в нерабочие дни установка переключается на рециркуляционный режим работы.

В плавильно-заливочных отделениях основной вредностью, помимо указанных в табл. 7.7, является избыточная теплота. Поэтому организацию воздухообмена следует производить по схеме снизу вверх с удалением воздуха из верхней зоны естественным путем через фонарь или шахты с дефлектором. В холодный период года приточный воздух подается механически в рабочую зону одним из трех способов: расположением воздухораспределителей на высоте не более 2 м, горизонтальными и наклоненными струями с высоты не более 4 м и вертикальными струями с высоты не более 6 м от уровня пола. Часть объема механического притока подается в виде воздушных душей на постоянные рабочие места у плавильного оборудования и у разливки металла (табл. 7.8). В заливочное отделение рекомендуется подавать 80 % приточного воздуха, в смежные — 20 %.

В переходных условиях и в теплый период года следует предусматривать аэрацию. Отопление отделения (в нерабочее время) осу-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 7.7

Оборудование	Тип местного отсоса	Количество удаляемого воздуха, м³/ч	Выделяющиеся вредности
Вагранки	Зонты над желобом для выпуска чугуна, шлака и загрузочным окном при ручной загрузке	По расчету при $v = 1...1,5$ м/с во всасывающем отверстии зонта	Теплота, газы, пыль
Электродуговые печи, вместимостью т:	Зонт над печью		Окись углерода, пыль
1		4000	
3		5000	
6		6000	
10		10000	
Индукционные плавильные печи	Поворотный зонт	1400 или по расчету при $v = 1,5$ м/с	Окись углерода
Участок заливки металла в формы	Панель равномерного всасывания	По расчету при $v = 5$ м/с	То же
Участок охлаждения форм	Укрытие с отсосами по торцам	$v = 4$ м/с	» »
Стенд для сушки и разогрева ковшей вместимостью 0,25...0,5 т	Укрытия с отсосом в верхней части	$v = 0,5$ м/с	» »

ществляется переключением приточной вентиляции на рециркуляцию.

В отделениях формовки и сушки форм и стержней станки для зачистки стержней, камеры для окраски стержней, сушильные камеры, а также станки для изготовления полуформ на оболочковом литье необходимо оборудовать местной механической вытяжной вентиляцией. Очистке перед выбросом подлежит воздух, удаляемый от станков для зачистки стержней.

Механическая приточная вентиляция выполняется в расчете на полную компенсацию массы воздуха, удаляемого вытяжными установками, и на создание подпора избытком притока над вытяжкой, предотвращающим проникновение пыли и газов из отделений заливки и выбивки. При отсутствии местных отсосов минимальный объем механического притока должен соответствовать трехкратному воздухообмену. Приток осуществляется рассеянно патрубками, установленными непосредственно в рабочей зоне. В теплый период года предусматривается дополнительное поступление приточного воздуха через открываемые створные переплеты окон. Кабины крановщиков необходимо оборудовать крановыми кондиционерами.

Отопление обычно совмещается с приточной вентиляцией. Для рабочих мест непосредственно у наружных стен следует устраивать

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Таблица 7.8

Рабочее место работающего	Температура на рабочем месте, °С		Скорость воздуха на рабочем месте, м/с	Объем воздуха на 1 насадок, м³/ч	Направление подачи воздуха	Количество и тип приточных насадков
	В холодный период года	В теплый период года				
Крановщик — на колошниковой площадке	—	20...25	2...3	1500	Спереди и сверху	Один стационарный, закрепленный на кране
Загрузчик вагранки вручную (работа средней тяжести)	—	20...25	3...5	2500	Сбоку и сверху	Один поворотный на две смежные вагранки
Вагранщик — на рабочей площадке у летки вагранки	—	20...25	2...4	2000	Сбоку и сверху в сторону летки вагранки	Один неподвижный
Заливщик — у миксера вагранки	—	20...25	2...3	1500	Сбоку и сверху	Один неподвижный
Заливщик — на конвейере (работа выше средней тяжести)	12...15	—	3...4	2000	Сбоку и сверху	Насадки вдоль рабочей площади на расстоянии 2...2,5 м друг от друга или воздуховод для равномерной направленной подачи притока по длине всей рабочей площадки
	—	28...30	5...7	4000		
Шлаковщик — на конвейере (работа средней тяжести)	12...15	—	2...3	1550	Сбоку и сверху вдоль конвейера	Один-два на конвейере
	—	28...30	—	3000		
Рабочие места у электропечей, загрузочных отверстий обжигательных печей, у топок вертикальных печей	12...15	—	2...4	1500	Сбоку и сверху или сверху и спереди, но не со стороны печи	Один на рабочее место
Рабочее место при наращивании электродов	12...15	—	4...6	4000	Сбоку в сторону электродов печи	Один на рабочее место
	—	28...30	5...7	4000		
Рабочее место у высокочастотных печей и печей-ванн	—	20...25	2...3	1500	Сбоку и сверху	Один неподвижный

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

центральное отопление с нагревательными приборами, рассчитанными на температуру $t_в = 5$ °С.

В отделениях выбивки форм и стержней местная механическая вытяжная вентиляция устраивается от выбивных решеток, вибрационных столов, мест пересыпок горелой земли. Отсасываемый воздух перед выбросом в атмосферу подвергается очистке от пыли.

В конвейерных литейных отделениях местными отсосами оборудуются также охладительные подвесные конвейеры для выбитого литья. Объем общеобменной вытяжки из верхней зоны определяется по избыткам теплоты.

Удаляемый из отделения воздух должен полностью компенсироваться механическим притоком в холодный период года и по возможности естественным путем в теплый. Часть притока в виде воздушных душей подается на рабочие места у выбивных решеток и станков для выбивки стержней (табл. 7.9 [46]).

Таблица 7.9

Рабочее место выбивщика	Температура на рабочем месте, °С		Скорость воздуха на рабочем месте, м/с	Объем воздуха на насадок, м³/ч	Направление подачи воздуха	Количество и тип приточных насадков на одно рабочее место
	В холодный период года	В теплый период года				
У выбивных решеток на конвейерах (работа средней тяжести)	12...15	20...25	2...3 4...5	1500 3000	Сзади и сверху в сторону выбивной решетки	Один насадок
У крупных выбивных решеток периодического действия	12...15	20...25	1...1,5	1000	Сзади и сверху в сторону выбивной решетки	Один поворотный
На вибраторах для выбивки стержней	12...15	20...25	0,7...1 1,5...2	750 1500	Сверху в сторону вибратора	Один подвижный

Отопление выбивных отделений обычно не предусматривается, так как они имеют положительный тепловой баланс. В нерабочее время внутренняя температура $t_в = 5$ °С поддерживается переключением работы приточной системы на рециркуляцию, при односменной работе целесообразна установка воздушно-отопительных агрегатов

В отделениях обрубки и очистки литья местными отсосами оборудуются все типы очистного оборудования: обрубные столы, очистные барабаны, дробометные и дробеструйные камеры, точильно-обдирочные, наждачные и электроконтактные станки. Удаляемый воздух подвергается очистке от пыли.

Приточная вентиляция рассчитывается на полное возмещение воздуха, удаляемого вытяжными установками с подачей в верхнюю

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

зону с небольшими скоростями; в теплый период года приток может быть естественным.

Отопление обычно совмещается с приточной вентиляцией и осуществляется перегревом подаваемого воздуха, в нерабочие дни — воздушно-отопительными агрегатами.

В отделениях термообработки и отжига литья возникают большие избытки теплоты. Отжиговые печи оборудуются местными отсосами с естественной вытяжкой, если вытяжные воздуховоды можно проложить вертикально или под углом не более 45° к горизонту. В противном случае рекомендуется механическая вытяжка[1]. Ассимиляция избытков теплоты осуществляется аэрацией.

На рабочих местах, подверженных воздействию лучистой теплоты, следует устраивать воздушные души в соответствии с данными, приведенными в табл. 7.9.

Отопление помещения обычно не предусматривается, так как выделение теплоты, аккумулированное печным оборудованием, достаточно для возмещения ее потерь в выходные дни. В рабочие дни печи работают круглосуточно.

7.6. ОКРАСОЧНЫЕ ЦЕХИ

В окрасочных цехах устройство вентиляции зависит главным образом от способов нанесения лакокрасочных материалов на различные по размеру изделия: кистями, валиками, окунанием, обливанием, распылением ручными краскораспылителями, распылением в электрическом поле высокого напряжения. Способ окраски и оборудование выбирают технологи.

В качестве растворителей наиболее часто применяют ароматические углеводороды: толуол, ксилол, сольвент, спирты (бутиловый и этиловый), эфиры (бутил- и этилацетаты), углеводороды (бензины и уайт-спирит). Окраску мелких изделий осуществляют в шкафах, крупных — в камерах или на решетках, заделанных в полу с нижним отсосом. Окраску окунанием, струйным обливом, пульверизаторами и в электростатическом поле производят в специальных камерах, оборудованных местными отсосами.

При ручной кистевой окраске вне укрытий общеобменная приточно-вытяжная вентиляция рассчитывается на разбавление до ПДК выделяющихся паров растворителей и разбавителей [8; 21]. При окраске в шкафах и других укрытиях объем воздуха определяется с учетом количества вредностей, не уловленных местными отсосами (примерно 30 %). Плотность большинства паров растворителей обычно выше плотности воздуха, поэтому вытяжные системы общеобменной вентиляции должны обеспечивать удаление из нижней зоны 2/3 количества воздуха, рассчитанного на ассимиляцию паров растворителей, включая количество воздуха, поступающего в системы местных отсосов, и 1/3 воздуха — из верхней. Если же плотность вредностей меньше плотности воздуха, из нижней зоны удаляется

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

1/3 упомянутого количества воздуха, включая количество воздуха, поступающего в системы местных отсосов, и 2/3 — из верхней.

Когда крупные изделия окрашиваются кистью на непостоянных рабочих местах, допускается общеобменная вытяжка воздуха только из нижней зоны на высоте 0,3...0,5 м от пола.

При наличии местной вытяжной вентиляции в помещениях высотой более 6 м следует предусматривать удаление воздуха из верхней зоны помещения из расчета 6 м³/ч на 1 м² площади пола, для помещений высотой менее 6 м вытяжка из верхней зоны должна равняться однократному обмену за 1 ч. Удалять воздух необходимо на расстоянии 0,4 м от перекрытия отдельной системой.

Если в помещении кроме окраски проводятся также работы по шпатлевке и зачистке шпатлеванной поверхности, необходимо устраивать местную пылеотсасывающую вентиляцию независимо от системы, предназначенной для удаления паров растворителей.

Приточный воздух подается рассеянно в верхнюю зону с небольшой скоростью (перфорированные воздуховоды или потолки, плафоны). Подача приточных систем должна быть примерно на 5 % меньше количества воздуха, удаляемого системами вытяжной вентиляции. Устройство естественного притока не допускается, так как пыль в поступающем воздухе может привести к браку продукции.

Вентиляционные системы окрасочных отделений и участков, а также краскозаготовительных отделений нельзя объединять с вентиляционными системами других производств. Не разрешается объединять в одну систему местные отсосы от окрасочных камер, ванн окунания и другого окрасочного оборудования. Системы местных отсосов и системы общеобменной вытяжной вентиляции проектируются отдельными.

При осуществлении вытяжной вентиляции одной постоянно действующей местной системой или общеобменной установкой предусматривают резервный вентиляторный агрегат, автоматически включающийся при остановке основного. Аварийная вентиляция окрасочных цехов и участков не предусматривается, не допускается также рециркуляция воздуха. Вентиляторы вытяжных систем от окрасочного и сушильного оборудования должны быть в искрозащищенном исполнении.

Сушка изделий, окрашенных масляными красками, обычно производится в сушилах — камерных, рециркуляционных с электроподогревом и встроенным вентилятором, пуск и остановка которого сблокированы с дверцами. Нитрокраски сушатся при нормальной температуре на открытых стеллажах, оборудованных местными отсосами — щелевыми или панелями. Скорость во всасывающем отверстии щелевых отсосов принимают равной 3...4 м/с при выделении ксилола, толуола и бензола, и 2...3 м/с при выделении уайт-спирита, скипидара и других растворителей. При выделении бензола, ксилола и толуола скорость в живом сечении панелей принимается равной 3,5...4,5 м/с. При пульверизационной или электростатической

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

окраске на конвейере сушка окрашенных изделий производится в проходных туннельных сушилах.

Помещения для окраски относятся к категории взрывопожароопасных (А, Б) и пожароопасных (В), поэтому входные двери в них должны оборудоваться тамбурами, в которые необходимо предусматривать подачу не менее 5 объемов воздуха в час, но не менее 250 м³/ч, а в тамбуры-шлюзы объемом более 100 м³—500 м³/ч. Расход воздуха, подаваемого в тамбуры-шлюзы, должен обеспечивать в них избыточное давление 20 Па (при закрытых дверях) по отношению к давлению в защищаемом помещении [42]. Воздух следует подавать над дверью помещения со взрывоопасным производством, направляя поток вниз. В тамбуры-шлюзы, имеющие более двух дверей, на каждую дополнительную дверь необходимо увеличивать подачу приточного воздуха на 250 м³/ч. Для подачи воздуха необходима отдельная система с резервным вентилятором, автоматически включающимся при остановке основного. В тамбур-шлюз к помещению площадью не более 50 м² допускается подача воздуха от системы только этого помещения при наличии резервного вентилятора и автоматическом отключении воздуховодов при возникновении пожара в помещении.

Помещения краскозаготовительных отделений и лабораторий оборудуются приточно-вытяжной вентиляцией с кратностью воздухообмена не менее 10^{-1} ч [37].

Отопление окрасочных цехов и участков обеспечивается одним из двух вариантов: в небольших по объему — центральное водяное, в крупных — воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией без рециркуляции воздуха. Температура поверхности нагревательных приборов не должна превышать 95 °С, в помещении нитрокраски — не более 60 °С.

7.7. ПРЕДПРИЯТИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА

Деревообрабатывающие цехи в соответствии с технологией и организацией производства включают в себя такие отделения: станочно-заготовительное, столярно-сборочное, окрасочное, остывочное с лесосушильными камерами, клее- и краскоприготовительные участки, участок заточки ножей и пил, склады сырых и сухих пиломатериалов.

Основные вредности в отделениях следующие: в станочно-заготовительном — опилки, стружка и древесная пыль, образующиеся при обработке древесины на станках различных типов; в столярно-сборочном — конвективная теплота от горячих прессов, пары растворителей и разбавителей клеев; в окрасочном — пары растворителей и разбавителей красок, эмалей и лаков, теплота от сушильных камер; в сушильном и остывочном — водяные пары, прорывающиеся через щели ворот при работе и проемы ворот при разгрузке камер, избыточная теплота; на участке заточки пил и ножей — наждачная и металлическая пыль.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Технологические процессы, связанные с хранением пиломатериалов, сушкой, механической обработкой и сборкой узлов и деталей, относятся по пожарной опасности к категории В, процессы шлифовки и полировки — Б, процессы окраски — А.

В станочно-заготовительных отделениях расчетный воздухообмен определяется количеством воздуха, удаляемого системами пневмотранспорта стружек и опилок. Приточный воздух подается в верхнюю зону механически с малыми скоростями перфорированными воздуховодами, плафонами или воздухораспределителями других конструкций. В теплый период года допустимо поступление наружного воздуха через фрамуги окон.

При составлении теплового баланса, количество теплоты, выделяемое станочным оборудованием, принимается равным 210 Вт на 1 кВт установочной мощности

В низких и небольших по объему помещениях с числом станков, не превышающих 10...12, устраиваются кустовые системы пневмотранспорта с вертикальными и горизонтальными коллекторами, в более крупных — универсальные с магистральным горизонтальным коллектором постоянного сечения.

Расчет сетей пневмотранспорта должен производиться с тщательной увязкой потерь давления, так как на воздуховодах не допускается установка регулирующей арматуры. Невязка в потерях давления не должна превышать 10 %. Если при минимальном диаметре невязка больше 10 %, при расчете допускается увеличивать количество воздуха на участке. Сеть воздуховодов рассчитывается с учетом одновременной работы всех отсосов, включая напольные.

Очистку воздуха от древесных отходов следует производить в циклонах «Гидродревпрома» разных типов (УЦ-38, К). Циклоны, как правило, устанавливают на линии нагнетания (после вентилятора) на расстоянии 10....15 м от здания. Циклон типа К может работать под давлением и под разряжением. Выбор типа и размеров циклонов обусловлен характером транспортируемого материала и необходимой производительностью.

Для столярно-сборочных отделений подача общеобменной приточно-вытяжной вентиляции определяется с учетом разбавления вредных веществ, выделяющихся при клеевых работах, до предельно допустимой концентрации. Загрязненный воздух удаляется через местные отсосы от технологического оборудования и напольные, а также из нижней зоны через пристенные вытяжные устройства, расположенные на высоте 0,3 м от пола. Приточная вентиляция осуществляется аналогично станочно-заготовительному отделению.

Требования к устройству отопления и вентиляции в *окрасочных отделениях* аналогичны рассмотренным для окрасочных цехов.

В остывочных отделениях для улавливания пара, выделяющегося через рабочие проемы сушильных камер, на расстоянии 2...2,5 м от их фронта устраиваются ширмы высотой от верхней кромки проема до перекрытия помещения или в ряде случаев — вытяжные зонты.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Ширмы разделяются на отсеки по числу сушильных камер. Объем воздуха, отсасываемого от ширмы, определяется по скорости в живом ее сечении, равной 0,1...0,15 м/с, от зонтов — по скорости в плоскости всасывания — не менее 0,8 м/с. Удаление воздуха целесообразно осуществлять радиальными или осевыми вентиляторами поскольку естественная тяга недостаточно эффективна.

Дополнительно к местным вытяжным системам необходимо предусматривать проветривание верхней зоны в минимально однократном объеме через дефлекторы и вытяжные шахты. Приточный воздух подается в верхнюю зону в объеме вытяжки с учетом коэффициента одновременности работы сушильных камер.

Отопление отделений центральное, рассчитанное на температуру 5 °С, и воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией, осуществляемое за счет перегрева подаваемого воздуха. Дежурное воздушное отопление, как правило, не устраивается, поскольку сосредоточенная подача воздуха отопительными агрегатами может способствовать взмучиванию осевшей пыли. В качестве нагревательных приборов используются регистры из гладких труб и радиаторы.

Цехи производства фанеры [11]. Фанера изготавливается по следующей технологии: поступающая извне древесина подвергается разделке и тепловой обработке, затем производится лущение и резка шпона, сушка шпона и фанеры, переработка неполномерного шпона, склеивание и сушка фанеры, обработка клееной фанеры.

В состав производства входят следующие отделения и цехи: отделения гидротермальной обработки древесины, лущильный цех, сушильное отделение фанеры и шпона, клеильно-сушильный цех, отделение обработки фанеры, цех пластиков, клееприготовительная, а также производственно-вспомогательные отделения (ножеточильное, механическое, аккумуляторное, утильцех и др.), не являющиеся характерными относительно специфики проектирования отопления и вентиляции цехов фанерного производства.

Технологический процесс изготовления фанеры сопровождается выделением паров воды, фенола и формальдегида, конвективной теплоты и древесной пыли. Интенсивное влаговыделение происходит при гидротермальной обработке древесины в варочных бассейнах, парильных камерах и ямах, выделение паров фенола — при склеивании синтетическими смоляными клеями и сушке. Древесная пыль выделяется при работе обрезных и шлифовальных станков. Источниками выделения конвективной теплоты являются нагретые наружные поверхности сушильных и пропиточных камер, горячие прессы, материал, остывающий после сушки в камерах, и теплота от работающих электродвигателей.

В гидротермальных отделениях обработка древесины осуществляется в варочных бассейнах, фанеры — в пропарочных камерах и ямах. Варочные бассейны снабжаются укрытиями — шторами и отсасывающим вентилятором в верхней части. Удаление воздуха от камеры осуществляется в двух местах — непосредственно из рабочего пространства камеры при загрузке и выгрузке ее и от зонта

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

над рабочим проемом при пропаривании. Периодичность работы отсосов регулируется перекидкой клапанов на соответствующих воздуховодах, подключенных к вентилятору. Дополнительно к местной вытяжке предусматривается вентиляция верхней зоны помещения. Объем приточного воздуха должен соответствовать удаляемому с проверкой на ассимиляцию влаги, выделяющейся со смоченной поверхности пола (0,05 кг/м^2 · ч) и остывающих чураков на тележках (0,91 кг/ч от одной тележки).

Объем вентиляции помещения варочных бассейнов также определяется количеством влаги, испаряющейся с поверхности чураков и пола, или же скоростью движения воздуха в живом сечении загрузочных и разгрузочных проемов укрытия бассейна, равной 0,5 м/с. В отделении пропарочных камер приток подается в рабочую зону, в отделении варочных бассейнов — с перегревом в верхнюю и рабочую зоны.

В обрезных отделениях опилки при обрезке и пыль при шлифовке фанеры удаляются системой пневмотранспорта с компенсацией отсасываемого воздуха притоком, подаваемым в верхнюю зону.

В клеильно-прессовых отделениях склеивание фанеры производится на холодных и горячих прессах, температура поверхности которых колеблется в пределах 140...145 °С. Испарение паров формальдегида происходит при нанесении пленки клея и при прессовании на горячих прессах. Помимо этого выделяется значительное количество конвективной теплоты.

Горячие прессы оборудуются вытяжными глухими укрытиями или шторами, которые подвешиваются к перекрытию или укрепляются на стойках. Укрытия и шторы должны перекрывать пресс с зазорами не более 300 мм между выступающими частями пресса и внутренней стеной укрытия.

В вертикальных плоскостях укрытия предусматриваются ремонтные отверстия. Если по условиям технологии рабочий должен находиться внутри укрытия, размер которого в таких случаях довольно большой (6 × 12 м; 12 × 18 м; 12 × 24 м), необходимо обеспечить подачу чистого воздуха от самостоятельной приточной установки под укрытие в рабочую зону. Складирование фанеры должно производиться в кабинах с механической вытяжкой паров формальдегида и теплоты.

Объем приточного воздуха определяется по объему вытяжки с проверкой на растворение паров формальдегида до ПДК. Из общего объема притока 85 % подается непосредственно в отделение, остальные 15 % — в смежные условно чистые помещения. В помещения шириной до 12 м приточный воздух подается через приточные насадки, установленные в рабочей зоне, при большей ширине — в верхнюю зону перфорированными воздуховодами.

В лущильных отделениях производится лущение чураков для получения непрерывной ленты шпона. Основной вредностью является влага, испаряющаяся с поверхности ленты шпона и чураков,

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

поступающих из варочного отделения. Для снижения влажности часто лущильное отделение объединяется с сушильно-прессовым.

В отделении должна быть предусмотрена механическая приточно-вытяжная общеобменная вентиляция с подачей приточного воздуха в верхнюю и частично в рабочую зоны. Вытяжка осуществляется из верхней зоны крышными вентиляторами или шахтами, которые размещают в местах максимальных влаговыделений, а также через местные отсосы деревообрабатывающих станков.

При объединении лущильного отделения с сушильно-прессовым расчетный воздухообмен определяется из условия одновременного выделения теплоты и влаги с учетом компенсации воздуха, удаляемого системой пневмотранспорта. Приточный воздух подается сосредоточенно в верхнюю зону с перегревом. Температура перегрева определяется в зависимости от количества выделяющейся влаги.

В сушильных отделениях доминирующей вредностью является теплота от электродвигателей, технологического оборудования, высушенного материала и вытяжных устройств (зонтов, укрытий и т. п.). Основной способ сушки шпона и фанеры — контактный, при котором высушиваемые листы непосредственно соприкасаются с плоскостью плит, нагретых до 130...160 °С. Конвекционно-контактная сушка осуществляется рециркуляционным воздухом в ленточных роликовых сушилках непрерывного действия. Охлаждение шпона после сушки до температуры воздуха цеха происходит естественным путем в стопах или искусственным способом в камерах охлаждения.

Местными отсосами в виде зонтов или штор оборудуются загрузочно-разгрузочные ворота сушил и пресса. Над местом остывания высушенной фанеры предусматривается естественная вытяжка из верхней зоны.

Подаваемый в помещение приточный воздух должен ассимилировать избыточные выделения теплоты с учетом в воздушном балансе воздуха, удаляемого местными отсосами, из верхней зоны и части воздуха, забираемого вентиляторами сушилок и камер охлаждения. Приток подается сосредоточенными струями в верхнюю зону, а в небольших отделениях — перфорированными воздуховодами.

В цехах пластиков из шпона и древесной крошки изготавливают пластиковые втулки, подшипники и прессованные плиты. Материалы вначале пропитывают, затем сушат, прессуют, после чего изделия остывают. Пропитка шпона производится в контейнерах и ваннах, закрываемых крышками. Перед загрузкой контейнер выдерживают над ванной для стекания раствора. В это время наблюдается интенсивное выделение вредностей — паров этилового спирта и трикрезола, для улавливания которых участок расположения пропиточных ванн ограждается в плане помещения шторой, недоходящей до пола на 2...2,2 м. Вытяжной воздуховод решается в виде горизонтального короба с нижней перфорацией.

Объем приточной вентиляции определяется из условия растворения выделяющихся паров трикрезола и этилового спирта до ПДК.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

Приточный воздух в объеме вытяжки подается в рабочую зону через приточные насадки. Во всех отделениях, в которых выделяются вредные вещества, объем вытяжки должен превышать объем притока на 15...20 %. Недостаток притока компенсируется подпором из соседних помещений, в которых нет вредных выделений.

Рекомендуемые системы отопления в цехах деревообрабатывающего производства приведены в работе [11].

7.8. ЦЕХИ ПЕРЕРАБОТКИ И ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МАТЕРИАЛОВ ЗАВОДОВ ОГНЕУПОРОВ

Основные указания по устройству отопления и вентиляции в цехах различных производств огнеупорной промышленности приведены в работе [48]. Для борьбы с выделениями пыли в производственных помещениях предусматривается устройство аспирации от укрытий технологического оборудования (питателей, дробилок, грохотов и пр.), мест перегрузки пылящих материалов и бункеров. Воздух, удаляемый аспирационными установками, перед выбросом в атмосферу необходимо очищать от пыли. В местах интенсивного пыления следует широко применять системы гидрообеспыливания материалов.

Форсунки должны располагаться таким образом, чтобы исключался унос капельной влаги в аспирационные воздуховоды. Если такое размещение невозможно, необходимо установить отбойные щитки или фартуки.

Аспирационные установки рекомендуется проектировать децентрализованными, раздельными для каждой технологической цепочки с минимальной протяженностью воздуховодов. Количество местных отсосов, объединенных одной децентрализованной установкой, следует принимать наименьшим исходя из необходимости вертикальной прокладки воздуховодов или наклонной под углом, не меньшим угла естественного откоса осевшей пыли (45...60° к горизонтали).

В исключительных случаях допускается прокладка участков воздуховодов под меньшими углами к горизонтали при протяженности их не более 5 м, с быстроразъемными соединениями и при условии поддержания на этих участках скорости движения воздуха не менее 19 м/с.

Если местные условия не позволяют использовать децентрализованные аспирационные установки с вертикально-наклонной трассировкой воздуховодов, рекомендуется применять централизованные установки с коллекторами. Вентиляторы аспирационных систем располагают после пылеуловителей. Электродвигатели должны быть в закрытом исполнении. Подача установок принимается с учетом объема отсасываемого от укрытий воздуха с 10 %-ной надбавкой на подсосы через неплотности. Надбавка на подсосы в пылеуловителях зависит от их характеристики (примерно 15 %).

Объединение в одну установку местных отсосов, удаляющих воз-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

дух с различными видами пыли и неодинаковой влажностью, не допускается. Скорость движения воздуха в воздуховодах аспирационных систем исходя из условия предотвращения их засорения должна быть не менее 19 м/с — в вертикальных и наклонных участках и не менее 23 м/с — в горизонтальных. На воздуховодах в местах изменения направления движения необходимо предусматривать лючки для прочистки.

Объем приточного воздуха определяется суммарной вытяжкой аспирационных установок с учетом одновременности работы их и создания в помещении разрежения или подпора. В помещение с выделением пыли воздуха подается, как правило, в верхнюю зону с малыми скоростями (перфорированные воздуховоды), в остальных помещениях — в соответствии с санитарными нормами. Воздухораспределительные устройства должны исключать возможность взмучивания осевшей пыли с оборудования и строительных конструкций. Если рабочие места в цехах постоянны и полы влажные, часть приточного воздуха целесообразно подавать в рабочую зону на высоте не более 2 м от пола со скоростью, не превышающей 1 м/с. Подаваемый воздух следует очищать от пыли в масляных фильтрах. В теплый период года допустим естественный приток через окна. Их высота от уровня пола принимается следующей: при транспортировании тонкоизмельченных, неувлажненных материалов на открытых конвейерах — не менее 3 м; то же на закрытых конвейерах или транспортировании увлажненных материалов — не менее 1,5 м, если же при этом постоянно влажные полы — не менее 0,7 м.

В галереях, предназначенных для транспортирования нагретых или влажных материалов на неукрытых конвейерах, предусматривается общеобменная вытяжная вентиляция через шахты с дефлекторами.

В производственных помещениях с комбинированными системами отопления нагревательные приборы должны обеспечить покрытие расхода теплоты на дежурное отопление. Рециркуляция воздуха в воздушных системах отопления не допускается. В качестве нагревательных приборов надлежит применять гладкие трубы.

В цехах дробления и помола следует предусматривать мокрую уборку пыли с полов, стен и оборудования и влажную уборку помещений, при недопустимости мокрой уборки проектируется пневматическая система пылеуборки.

7.9. ПРЕДПРИЯТИЯ ТРИКОТАЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА [22]

В пошивочных цехах основной производственной вредностью является теплота, выделяющаяся от швейных машин, паровых и электрических прессов, электроутюгов, нагретых изделий, поступающая от людей, искусственного освещения и вносимая солнечной радиацией. Необходимо также учитывать выделение влаги от паровых и электрических прессов, электроутюгов и людей. Санитарная нормализация воздушной среды цеха обеспечивается устройством

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

приточно-вытяжной общеобменной вентиляции. Минимальное количество наружного воздуха, подаваемого в производственные помещения, принимается в зависимости от объема помещения, приходящегося на одного человека [42, прил. 17]. Найденное количество воздуха необходимо проверить на ассимиляцию теплоты и влаги и в расчетах принять большее из них. Ввиду ограничений, накладываемых на подвижность воздуха в рабочей зоне (рабочие полную смену находятся на постоянных рабочих местах), приточный воздух следует подавать в верхнюю зону рассеянно по всей площади помещения каналами с боковыми щелевыми отверстиями, снабженными регулирующими лопатками или воздуховодами с перфорацией. Скорость выпуска воздуха из щелевых отверстий не должна превышать 4 м/с, из перфорированных — 3,5 м/с. При этом подвижность воздуха в рабочей зоне принимается не больше допустимых значений, указанных в табл. 1.7, 1.8. В помещениях высотой 3,5 м и менее выполнить это требование удается не всегда, поэтому выпускные отверстия приходится располагать обращенными вверх или снабжать экранами при обращении вниз. Электрические и паровые прессы следует оборудовать местными отсосами.

Подача приточных установок обычно определяется из расчета для холодного периода года. В теплый период при недостаточном количестве воздуха, подаваемого механическим путем, используется естественное проветривание.

Для удаления воздуха из одноэтажных цехов или расположенных на верхнем этаже используются вытяжные шахты или крышные вентиляторы, при расположении цехов на нижних этажах воздух удаляется из верхней зоны вытяжными воздуховодами.

В закройных цехах какие-либо вредности в значительных количествах не выделяются. Принцип устройства общеобменной приточно-вытяжной вентиляции аналогичен пошивочным цехам.

Ватные цехи характеризуются значительным выделением волокнистой пыли в процессе настилки ваты. Выделения теплоты людьми и искусственным освещением незначительны. Подача приточной вентиляции определяется объемом местных отсосов от столов для настилки ваты. Удаляемый воздух необходимо подвергать очистке на тканевых или сетчатых фильтрах. Схема раздачи приточного воздуха та же, что и в пошивочных цехах.

В трикотажные цехи входят такие отделения: вязальное, мотальное, закройное, швейное, мастерская по заливке игл. Основная производственная вредность —теплота, выделяемая машинами различных марок, искусственным освещением, людьми, вносимая солнечной радиацией. Кроме того, в вязальных отделениях содержится волокнистая пыль, сдуваемая пневматикой с вязальных машин. Исследования показывают, что удаление запыленного воздуха даже через разветвленную сеть вытяжных каналов с большим количеством отверстий не позволяет заметно снизить содержание пыли в рабочей зоне, поэтому наряду с общеобменной вытяжкой следует

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

широко применять местные рециркуляционные установки с очисткой и увлажнением отсасываемого воздуха.

Подача приточно-вытяжной вентиляции в отделениях в основном определяется исходя из холодного периода года. Схема воздухоподачи и воздухоудаления аналогична пошивочным цехам.

Мастерская по заливке игл сплавом свинца и баббита относится к вспомогательным помещениям трикотажного производства. Расплавляют и подогревают сплав в открытых круглых электрических печах, устанавливаемых верхней частью заподлицо с поверхностью стола. Для улавливания паров свинца над каждой печью располагают опирающийся на плоскость стола цилиндрический вытяжной шкафчик диаметром 200 мм и высотой 300 мм. Шкафчики присоединяют к системе местной вытяжной вентиляции. В стенках шкафчика с двух сторон сделаны отверстия, через которые рабочие специальными черпачками забирают поршни сплава. От каждого шкафчика удаляется около 300 м^3/ч воздуха при скорости всасывания в отверстиях равной 2 м/с.

Отсасываемый воздух возмещается естественным путем подсосом из смежных помещений, что создает препятствия распространению вредностей в другие помещения.

Красильные цехи объединяют красильное, сушильное, каландровое, ворсовальное отделения, склад красок и готовой продукции, а также ряд вспомогательных помещений.

К основным вредностям относятся теплота и, главным образом, влага, прорывающаяся в виде пара через открытые проемы и неплотности в укрытиях красильных барок и машин, паропроводов, незакрытой арматуры, испаряющаяся с поверхности влажного материала после отжатия в центрифугах и смоченной поверхности пола.

Помимо теплоты и влаги, в зависимости от состава красильного раствора в воздух помещения могут поступать сероводород, сернистый газ, окислы азота, аммиак. Однако эти газы выделяются в незначительных количествах, и объем воздуха, определенный из условия ассимиляции теплоты и влаги, вполне достаточен для растворения вредных паров.

Местную вытяжную вентиляцию с естественным или механическим побуждением обязательно устраивают над укрытиями красильного оборудования.

Для уменьшения туманообразования приточный воздух подается в две зоны: рассредоточенно в рабочую при температуре притока, близкой к температуре воздуха рабочей зоны; в верхнюю с перегревом сосредоточенными струями, направленными в проходы между оборудованием. Воздух удаляется из верхней зоны через фонари, отепленные высокие вытяжные шахты, осевыми или крышными вентиляторами. В летнее время приточный воздух может подаваться естественным путем через открытые окна.

В сушильном отделении в коротконетлевой машине «Текстима», машинах СБП-150-ТК, СПЭ-120-ТК производится высушивание материала после крашения. Сушила снабжаются отсасывающими вен-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

тиляторами, и удаляемый ими воздух необходимо учитывать в воздушном балансе помещения.

Основные вредности — теплота, выделяющаяся с поверхности сушил, и влага, испаряющаяся с поверхности влажного материала, который поступает на тележках из красильного отделения. В период пересмены в отделении скапливается таких тележек 20...25. Поэтому воздухообмен, определенный по теплоте, следует проверить и на влагосодержание и больший из них принять за расчетный. Приточный воздух подается в верхнюю зону минимальным числом сосредоточенных струй.

В каландровом отделении высушенный материал проглаживается на валковых каландрах. Для улавливания прорывающегося мимо зоны глажения пара сверху каландров устанавливают зонты, объединяемые в механическую вытяжную систему. Схема воздухоподачи аналогична схеме сушильного отделения. Объем притока определяется из расчета компенсации местной вытяжки и ассимиляции теплоты и влаги.

В ворсовальном отделении ворсовальные машины расчесывают и разрыхляют поверхность ткани с помощью быстровращающегося барабана и ворсовальных валиков, покрытых игольчатой лентой, а также щетками, расположенными в нижней части машины. Работа машин сопровождается значительным образованием пыли, для удаления которой используются местные отсосы в виде двух бункеров, расположенных под машинами и присоединяемых к сборному воздуховоду местной вытяжной вентиляции. В зависимости от расположения машин воздуховоды прокладывают либо под потолком нижележащего этажа, либо в подпольных каналах. Запыленный воздух перед выбросом в атмосферу очищают в пылеосадочных бункерах с сеткой, а затем на тканевых рукавных фильтрах.

Компенсация местной вытяжки в теплый период года осуществляется естественным путем, в холодный — механическим, с подачей наружного воздуха в смеси с рециркуляционным перфорированными воздуховодами, расположенными в верхней зоне.

В складе красок предусматривают местную вытяжную вентиляцию от чанов для приготовления красильных растворов и общеобменную в трехкратном объеме. Приточный воздух подается рассеянно в рабочую зону. Конструктивно допустимо объединение в одну систему местной и общеобменной вытяжек.

В складе готовой продукции вредности отсутствуют, поэтому вентиляция помещения сводится к естественному проветриванию через форточки или фрамуги.

В текстильных лабораториях предприятий для создания необходимых условий при испытаниях физико-химических свойств волокон, пряжи и ткани необходимо в течение года поддерживать соответствующий температурно-влажностный режим: $t_в = 20\ (\pm 2)$ °С, $\varphi_в = 65\ (\pm 5)$ %. Чтобы создать такие условия, в лабораториях устанавливают автономные кондиционеры типа КТА1, работающие на наружном воздухе, для охлаждения, нагрева, частичного осуше-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ния и очистки воздуха от пыли. Кондиционеры устанавливают внутри обслуживаемого помещения или за его пределами.

Расчетная подача определяется с учетом теплого периода года. Зона подачи воздуха устанавливается технологами.

Отопление отделений и цехов трикотажного производства может быть центральным, воздушным, совмещенным с приточной вентиляцией и с использованием отопительных агрегатов.

7.10. ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ОБСЛУЖИВАНИЮ АВТОМОБИЛЕЙ

В отделениях для обслуживания и ремонта во время работы двигателей при перемещении автомобилей своим ходом и регулировке на постах технического обслуживания выделяются выхлопные газы. Для их отвода в атмосферу посты обслуживания оборудуются местным отсосом с гибким шлангом диаметром $d = 100$ мм, соединяющим выхлопную трубу автомобиля с стальной вытяжной трубой. Для карбюраторных двигателей диаметр вытяжных труб 100 мм, для дизельных — 200 мм. При этом объем газов, прорывающихся в помещение, принимается в размере 10 % их общего количества.

Для удаления в атмосферу выхлопных газов механическим способом используется общий коллектор диаметром $d = 200$ мм с подключенными к нему гибкими шлангами от двигателей автомобилей.

Объем газовоздушной смеси, удаляемой от каждого двигателя, принимается в зависимости от мощности последнего: до 120 л/с — 350 м³/ч, от 120 до 180 — 500 м³/ч, от 180 до 240 — 650 м³/ч, свыше 240 л/с — 800 м³/ч.

В этом случае прорыв газов в помещение следует принимать в размере 5 % количества вредных веществ, содержащихся в отработавших газах.

Местной вытяжной вентиляцией оборудуются также места мойки агрегатов и деталей автомобилей в растворе каустической соды. Воздухообмен в отделении определяют по газовым вредностям, ассимилируемым до предельно допустимых концентраций с учетом компенсации местной вытяжки.

Общеобменная вентиляция отделения выполняется по следующей схеме: вытяжка из верхней зоны над тупиковыми постами и торцами поточных линий, приток — в рабочую зону и рабочие канавы. Количество воздуха, подаваемого в смотровые канавы, принимается равным 125 м³/ч, в приямки — 100 м³/ч, в тоннели — 5 м³/ч из расчета на 1 м³ их объема. Температура подаваемого воздуха в холодный период года не должна быть ниже 16 °С и выше 25 °С, в теплый период температура не нормируется.

В карбюраторные отделения приток воздуха должен соответствовать количеству воздуха, удаляемого местными отсосами от шкафа с ванной для промывки карбюраторов и шкафов, где производятся операции по разборке и проверке карбюраторов, приготовлению контрольных смесей и определению октанового числа бензина.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

В аккумуляторных отделениях местные отсосы предусматриваются от мест плавки свинца, ванн для выщелачивания и окисления, сепараторов, верстаков для разборки и сборки аккумуляторных батарей и печей для разогрева мастики. Приточный воздух в объеме вытяжки и трехкратного воздухообмена помещения следует подавать в рабочую зону с малыми скоростями.

В помещении для зарядки аккумуляторов местные щелевые отсосы устанавливаются на ступенчатых стеллажах для зарядки. Если зарядка аккумуляторов производится в общем помещении, стеллажи необходимо заключать в вытяжные шкафы с отсосом.

Для обслуживания зарядного отделения используются вентиляторы искрозащищенного исполнения.

Вентиляция верхней зоны помещения осуществляется естественным путем. Приточный воздух рекомендуется подавать в нижнюю зону с малыми скоростями выхода или через решетку в нижней части двери из соседнего помещения.

В кислотном помещении у ванн для слива и приготовления электролита предусматриваются панели равномерного всасывания, количество удаляемого воздуха за 1 ч не должно быть менее 2,5 объема помещения.

В шиноремонтных отделениях производятся работы по изготовлению резинового клея, нанесению клея на резину, сушке материалов, ремонту и заделке повреждений покрышек и камер. Здесь предусматривается приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением. Вентиляторы установок следует располагать за пределами обслуживаемого помещения.

Местными отсосами оборудуются станки для шероховки, верстаки для нанесения клея, шкафы для сушки материалов, промазанных клеем. Используются вытяжные вентиляторы в искрозащищенном исполнении. Приточный воздух, в объеме, компенсирующем вытяжку, подается в верхнюю зону.

В помещении вулканизации пыль, выделяющаяся при зачистке и шероховке резины, локализуется укрытием станка, затем удаляется отсосом воздуха из него. Скорость воздуха в рабочем проеме укрытия принимается в пределах 9...12 м/с.

Местные отсосы над вулканизаторами устраиваются в виде зонтов или остекленных завес. Скорость в сечении зонта — 0,6... 0,7 м/с, на входе в завесу — 0,4...0,5 м/с. Вулканизация резины на прессах и пресс-формах сопровождается интенсивным выделением газов, паров, многокомпонентных аэрозолей, в том числе и паров масел, которые налипают на стенки воздуховодов и вместе с продуктами неполной полимеризации резины образуют легко возгорающийся слой. Поэтому для предотвращения отложений в воздуховодах рекомендуется устанавливать фильтры типа ФР, максимально приближая их к источникам образования вредных веществ.

Общеобменная приточно-вытяжная вентиляция рассчитывается на ассимиляцию избытков теплоты. Приточный воздух подается сосредоточенными струями в верхнюю зону. Удаление загрязненно-

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

го воздуха также осуществляется из верхней зоны механическим или естественным путем. В теплый период года допускается естественный приток через нижние фрамуги окон. Для нормализации условий воздушной среды на рабочих местах у нагретых поверхностей вулканизаторов следует применять воздушное душирование.

В кузнечно-рессорных отделениях местные отсосы устраивают от печей для закалки, отжига и цементации деталей и рессор, нагревательных муфельных печей, кузнечных горнов и ванн. Общеобменная вентиляция рассчитывается на ассимиляцию теплоизбытков. Вытяжка из верхней зоны помещения должна быть не менее трехкратного объема помещения в час. Подачу воздуха для компенсации вытяжки рекомендуется предусматривать в рабочую зону.

В сварочных отделениях столы для электро- и газосварки должны иметь местные отсосы в виде панелей равномерного всасывания. При размещении сварочных постов в общем помещении и сварке деталей размером до 1 м столы для сварки рекомендуется помещать в кабины.

Приток воздуха предусматривается в рабочую зону с малыми скоростями выхода в объеме, компенсирующем вытяжку.

В медницких отделениях проводятся операции по очистке радиаторов от накипи, лужению и заливке подшипников, для чего используют вытяжные шкафы. Верстаки для разборки радиаторов оборудуют местными отсосами в виде панелей равномерного всасывания. Приточный воздух, по количеству равный воздуху вытяжки, рекомендуется подавать в рабочую зону.

Рекомендации по устройству вентиляции *в малярных отделениях* рассмотрены в подразд. 7.6. Для обеспыливания процесса работ по разборке подушек автомобилей используются специальные верстаки с нижним отсосом воздуха.

В помещениях для хранения автомобилей ассимиляция вредностей, содержащихся в выхлопных газах, осуществляется общеобменной приточно-вытяжной вентиляцией. Приемные устройства для забора наружного воздуха следует располагать не ближе 12 м от въездных ворот. Приточный воздух подается сосредоточенными струями в направлении проездов (по длине), 50 % воздуха удаляется из нижней зоны через вытяжные каналы в колесоотбойных тротуарах, остальное количество — из верхней зоны крышными вентиляторами или осевыми, установленными в стенах, обращенных на участок территории, где рейсируют автомобили.

Если помещение для хранения автомобилей сообщается проемами с помещениями постоянного пребывания людей, в последних количество притока следует увеличивать примерно на 20% против расчетного для предотвращения перетекания в них газовых вредностей.

Воздушные или воздушно-тепловые завесы у наружных ворот устраиваются при 20 выездах и въездах в течение 1 ч.

Отопление помещения воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией. В нерабочее время для поддержания положительной температуры необходимо использовать дежурное отопление.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы XXVII съезда Коммунистической партии Советского Союза. М.: Политиздат, 1986.
2. *Баркалов Г. В., Ганес И. Л.* Вентиляция и воздушное отопление механосборочных цехов // Водоснабжение и санитарная техника. 1976. № 6. С. 37—41.
3. *Баркалов Г. В., Карпис Е. Е.* Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М.: Стройиздат, 1982. 312 с.
4. *Богословский В. Н., Щеглов В. П., Рачумов Н. Н.* Отопление и вентиляция. М.: Стройиздат, 1980. 295 с.
5. *Бромлей М. Ф., Щеглов В. П.* Проектирование отопления и вентиляции. М.: Стройиздат, 1965. 259 с.
6. *Бутаков С. Е.* Основы вентиляции горячих цехов. ГИТИЛ по черной и цветной металлургии. Свердловск, изд-во, 1962. 284 с.
7. *Гримитлин М. И.* Распределение воздуха в помещениях. М.: Стройиздат, 1982. 164 с.
8. *Гримитлин М. И.* и др. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов / М. И. Гримитлин, О. Н. Тимофеева, В. М. Эльтерман и др. М.: Машиностроение, 1978. 272 с.
9. *Дроздов В. Ф.* Отопление и вентиляция. Вентиляция. М.: Высш. шк., 1984. 259 с.
10. *Елинский И. И.* Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных заводов. М.: Машиностроение, 1982. 132 с.
11. *Занин Е. Н., Филиппов Ю. М.* Вентиляция и теплоснабжение предприятий строительной индустрии. М.: Стройиздат, 1970. 168 с.
12. *Ильич В. П.* Рекомендации по проектированию систем вентиляции и кондиционирования воздуха с вращающимися регенераторами. Ташкент: ТашЗНИИЭП, 1980. 97 с.
13. *Каменев П. Н.* Отопление и вентиляция. М.: Стройиздат. 1964. Ч. II. Вентиляция. 421 с.
14. *Молчанов Б. С.* Проектирование промышленной вентиляции. Л.: Стройиздат, 1970. 240 с.
15. *Нестеренко А. В.* Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. М.: Высш. шк., 1971. 355 с.
16. Отопление и вентиляция. М.: Стройиздат, 1976. Ч. II. Вентиляция / Под. ред. В. Н. Богословского. 435 с.
17. *Рысин С. А.* Вентиляционные установки машиностроительных заводов: Справ. М.: Машгиз, 1961. 704 с.
18. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под ред. А. А. Русанова. М.: Энергоатомиздат, 1983. 296 с.
19. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. И. Г. Староверова. М.: Стройиздат, 1978. 502 с.
20. *Талиев В. Н.* Аэродинамика вентиляции. М.: Стройиздат, 1979. 295 с.
21. *Торговников Б. М., Табачник В. Е., Ефанов Е. М.* Проектирование промышленной вентиляции: Справочник. К.: Будівельник, 1983. 256 с.
22. *Участкин П. В.* Вентиляция, кондиционирование воздуха и отопление на предприятиях легкой промышленности. М.: Легкая индустрия. 1980. 370 с.
23. *Фиалковская Т. А., Середнева И. С.* Вентиляция при окрашивании изделий. М.: Машиностроение, 1986. 148 с.
24. *Щекин Р. В., Кореневский С. М., Бем Г. Е.* Справочник по теплоснабжению и вентиляции. К.: Будівельник, 1976. Кн. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. 351 с.
25. *Эльтерман В. М.* Вентиляция химических производств. М.: Химия, 1980. 284 с.
26. ГОСТ 12.1.005—76. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. Введ. 01.01.77.
27. ГОСТ 17.2.3.02—78. Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями. Введ. 01.01.80.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

28. ГОСТ 21.602—79. Система проектной документации для строительства. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Рабочие чертежи. Введ. 01.01.80.
29 ГОСТ 7.32—81. Отчет о научно-исследовательской работе. Общие требования и правила оформления. Введ. 01.01.82.
30. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 40 с.
31 Информационные материалы по теплоутилизационному оборудованию. Х.: ВНИИКондиционер. 1983. 30 с.
32. Обзорная информация.Серия Санитарная техника. Инженерное оборудование зданий. В. 1. Утилизация тепла и холода вытяжного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха (конструкции и методы расчета). Отечественный и зарубежный опыт. М , 1980. 97 с.
33. Рекомендации по выбору и расчету систем воздухораспределения. Серия АЗ—669. М.: ГПИ Сантехпроект, 1979 68 с.
34. Рекомендации по проектированию воздухоприготовительных центров с теплообменниками для утилизации тепла вытяжного воздуха. М.: ГлавАПУ, Научно-исследовательский и проектный институт типового и экспериментального проектирования, 1983.
35. Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции машиностроительных заводов Литейные цехи производства чугуна, стали и медных сплавов (латуни и бронзы). Сер АЗ—489. М.: ГПИ Сантехпроект, 1970. 79 с.
36 Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции заготовительных и сборочно-сварочных цехов Сер. АЗ—499 и. М.: ГПИ Сантехпроект, 1972. 28 с.
37. Рекомендации про проектированию отопления и вентиляции окрасочных цехов и участков. Сер. АЗ-202. М.: Госстрой СССР, 1980. 20 с.
38. Руководство по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности. Гальванические и гравильные цехи. Министерство монтажных и специальных строительных работ. СССР. М.: ЦБНТИ, 1980. 24 с.
39. Санитарные правила при сварке, наплавке и резке металлов. № 1009—3—73. М.: Минздрав СССР, 1974. 34 с.
40. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий. СН 245—71. М.: Госстрой СССР 1972. 96 с.
41 СНиП II—93—74. Строительные нормы и правила. Предприятия по обслуживанию автомобилей. М.: Госстрой СССР, 1975. 17 с.
42. СНиП 2.04.05—86. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование. М.: Госстрой СССР, 1987. 59 с.
43. СНиП II—3—79*. Строительная теплотехника. М.: Госстрой СССР, 1982. 31 с.
44. СНиП II—4—79. Строительные нормы и правила. Естественное и искусственное освещение. М.: Госстрой СССР, 1980. 48 с.
45. СНиП 2 01.01—82. Строительные нормы и правила. Строительная климатология и геофизика М.: Госстрой СССР. 1983. 136 с.
46 Указания по проектированию отопления и вентиляции в чугунолитейных и сталелитейных цехах СН III—60 М.: Госстройиздат, 1960. 41 с.
47 Указания по проектированию отопления и вентиляции предприятий машиностроительной промышленности Термические цехи. Сер. АЗ—194н. М.: ГПИ Сантехпроект, 1966. 18 с.
48. Указания по проектированию санитарно-технических устройств основных цехов и отделений заводов огнеупоров. СН 155—61. М.: Госстройиздат, 1961. 105 с.
49. Указания по расчету вентиляционных воздуховодов. М.: ГПИ Сантехпроект, 1967. 95 с.
50 Указания по расчету двухсторонних воздушных завес у наружных ворот и технологических проемов производственных зданий. Сер. АЗ—374. М.: ГПИ Сантехпроект, 1969. 26 с.
51. Указания по строительному проектированию предприятий зданий и сооружений машиностроительной промышленности. СН 118—68. М.: Госстройиздат, 1968. 103 с.

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аспирация 124
Аэрация 163; 164
Бортовые отсосы 99, 101, 111
Вентиляция и кондиционирование 8
Влаговыделения 74
Воздухообмен 148, 149, 152, 156
Воздуховод равномерной раздачи 195, 196, 201, 203
Воздуховод равномерного всасывания 204, 205, 206
Воздухораспределение 165, 166, 173, 178, 180, 183, 181, 188, 190
Воздушное душирование 136, 138
Воронки 132
Выделение газов и паров 75, 78, 80, 82
Вытяжные шкафы 84, 117
Гидрофильтры 123
Завеса воздушная 144, 147
Записка расчетно-пояснительная 6, 7
Защита окружающей среды 134
Исходные данные 8
Категории работы 29
Кожухи 130
Материал графический 9
— план 9
— разрез 13
— схемы 17
— установка приточная 21
— установка вытяжная 21
Нумерация формул 6
Отопление 8
Отопление и вентиляция промышленных цехов 209
— механические 209
— сварочные 210
— кузнечные 213
— термические 213
— гальванические 215
— травильные 215
— литейные 218
— окрасочные 223
— деревообрабатывающие 227
— производства фанеры 231
— производства пластиков 233
— переработки и транспортирования рудных и нерудных материалов 235
— трикотажного производства 236
Панели 97
Панель Черномбережского 97, 117
Параметры климата 28
— наружного 28
— внутреннего 29
— оптимальные 29
— допустимые 32
Предельно допустимая концентрация (ПДК) 134, 151, 162
Приложения 7
Поступления теплоты 32, 33, 34, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 63, 64
Потери теплоты 65, 66, 70, 72, 73
Пылевыделения 81
Регенерация теплоты 140, 143
Солнечная радиация 46, 53, 55, 56, 61
Список библиографический 7
Таблица 6
Тепловой режим помещений 8

Волков О. Д.

В67 Проектирование вентиляции промышленного здания: [Учеб. пособие].— Х.: Выща шк. Изд-во при ХГУ, 1989.— 240 с.: ил.

ISBN 5-11-000656-3.

В учебном пособии изложены методики определения количества выделяющихся вредностей (теплота, влага, газы, пыль), объемов местной вытяжки от разнообразного технологического оборудования, составления тепловоздушных балансов. Даны расчеты воздухораспределения, воздухораспределителей и воздухоприемников, схемы организации воздухообмена цехов.

Для студентов, обучающихся по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция».

В $\frac{2308000000\text{-}005}{M226(04)\text{-}89}$ КУ—3—484—88 **ББК 38.762.2-02я73**

Электронная библиотека http://tgv.khstu.ru/