

ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОТОПЛЕНИЕ ЦЕХОВ МАШИНО- СТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ



Москва
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1978

Авторы: Михаил Иосифович Гримитлин,
Ольга Николаевна Тимофеева, Виктор Михайлович Эльтерман,
Евгений Михайлович Эльтерман, Лев Самойлович Эльянов

Рецензент канд. техн. наук В. В. Баркалов

В29 Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов, М., «Машиностроение», 1978. 272 с.

На обороте тит. л. авт.: М. И. Гримитлин, О. Н. Тимофеева, В. М. Эльтерман и др.

В книге освещены вопросы вентиляции и отопления основных цехов машиностроительных заводов. Изложены научные основы и методы расчета вентиляции и отопления производственных помещений, вопросы рассеивания вентиляционных выбросов в атмосфере. Рассмотрены принципиальные и конструктивные решения общеобменной и местной вентиляции применительно к основным цехам заводов машиностроения, а также проблемы вентиляции и отопления крупных блокированных цехов. Описаны способы автоматизации отопительно-вентиляционных систем.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся проектированием и эксплуатацией систем вентиляции и отопления на машиностроительных заводах, а также для работников служб охраны труда, технической и санитарной инспекций.

В $\frac{30102-307}{038(01)-78}$ 307-78

6П5

XXV съезд КПСС определил основной задачей десятого пятилетнего плана повышение качества и эффективности работы. Это в равной мере относится и к системам вентиляции и отопления промышленных зданий.

Научно-технический прогресс в стране сопровождается расширением и интенсификацией производства с одновременным повышением санитарно-гигиенических требований к состоянию воздушной среды в производственных помещениях. В десятой пятилетке намечается значительное увеличение выпуска продукции на машиностроительных заводах.

В машиностроении все более широкое распространение находят крупные многопролетные блокированные корпуса, в которых размещается комплекс технологических процессов. В таких корпусах резко уменьшаются возможности использования аэрации. Вследствие этого приточная вентиляция современных производственных зданий машиностроительных заводов, включая так называемые горячие цехи, в основном осуществляется системами с механическим побуждением. Большие объемы цехов и интенсификация технологических процессов приводят к необходимости подачи и удаления огромных масс воздуха, часто миллионов кубических метров в час. Особенно актуальным становится вопрос о создании эффективных местных отсосов, в частности, встроенных в технологическое оборудование, которые создают потенциальные возможности сокращения воздухообменов в помещениях и применения эффективных и экономичных пылеочистных устройств.

Необходимость подачи механическим путем больших масс воздуха системами приточной вентиляции и воздушного отопления ставит еще более остро проблему рационального распределения воздуха в вентилируемых и отапливаемых помещениях. Серьезное внимание должно быть уделено вопросу организации выбросов загрязненного воздуха в атмосферу с учетом оптимального размещения воздухозаборных устройств. На необходимость дальнейшего совершенствования защиты от загрязнения окружающей

среды указано в «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы», утвержденных XXV съездом Коммунистической партии Советского Союза.

Для создания надежных и экономичных систем вентиляции и отопления производственных помещений необходимо научно обоснованное и проверенное практикой решение трёх основных проблем:

эффективного удаления производственных вредных выделений непосредственно у источника их образования с помощью рациональных конструкций местных вытяжных устройств;

нахождения оптимальных схем воздухообмена и способов распределения приточного воздуха;

рациональной организации вентиляционных выбросов в атмосферу.

Современные научные обоснования решений перечисленных проблем и необходимые расчетные зависимости для проектирования систем местной и общеобменной приточно-вытяжной вентиляции рассмотрены в первой части книги. Там же кратко изложены вопросы отопления производственных помещений.

Решение указанных проблем применительно к основным цехам машиностроительных предприятий изложено во второй части книги. Приведены новые виды местных вытяжных устройств, современные способы раздачи приточного воздуха и организации вентиляционных выбросов в атмосферу. Основные положения иллюстрируются конкретными примерами расчета. Следует подчеркнуть, что материалы по местным вытяжным устройствам для основных цехов машиностроительных заводов и рекомендации по распределению приточного воздуха в них могут быть распространены как на сооружаемые в последние годы крупные блокированные корпуса, так и на существующие отдельно расположенные цехи. Специфическим вопросам организации воздухообмена, забора и транспортировки воздуха в современных крупных блокированных корпусах различных отраслей машиностроения посвящена отдельная глава. В заключительной главе книги рассмотрены схемы автоматизации, обеспечивающие повышение надежности и экономичности систем вентиляции и отопления производственных помещений.

Разделы книги написаны: М. И. Гримитлиным гл. 1 п. 1.1—1.6; гл. 2; гл. 3 п. 3.1—3.3; гл. 4 п. 4.1, 4.4; гл. 7 п. 7.5—7.7; гл. 10, гл. 14; О. Н. Тимофеевой гл. 4 п. 4.2, 4.3, 4.5; гл. 6 п. 6.1, 6.3, 6.4; гл. 9; В. М. Эльтерманом гл. 1 п. 1.7; гл. 3 п. 3.4; гл. 5; Е. М. Эльтерманом гл. 7 п. 7.1—7.4; гл. 11; гл. 12; гл. 15; Л. С. Эльяновым гл. 6 п. 6.2, 6.5; гл. 8; гл. 13. В написании п. 1.1—1.6 принимал участие Г. М. Позин, гл. 15 — Л. Е. Эльтерман.

Отзывы и замечания по содержанию книги просьба направлять по адресу: Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., д. 3, издательство «Машиностроение».

ОБЩЕОБМЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ

1.1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОСТОЯНИЮ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ И СПОСОБЫ ВЕНТИЛЯЦИИ

Производственные процессы, выполняемые в цехах машиностроительных заводов, сопровождаются выделением в воздух помещений вредных паров, газов, пыли и тепла. В результате ухудшения состояния воздушной среды помещений могут создаваться неблагоприятные условия труда, влияющие на самочувствие работающих в цехе, снижаться производительность труда. На выделяющиеся в производственных помещениях вредные вещества Министерством здравоохранения СССР установлены предельно допустимые концентрации в воздухе рабочей зоны (ПДК), т. е. такие концентрации, которые при ежедневной работе (в течение всей производственной деятельности) не могут вызывать у работающих заболеваний или отклонений в состоянии здоровья. В целях улучшения условий труда у нас в стране происходит постоянное снижение предельно допустимых концентраций вредных веществ. Так, в действующих в настоящее время санитарных нормах СН 245—71 снижены предельно допустимые концентрации для ряда веществ.

Для поддержания в производственных помещениях чистоты воздуха и метеорологических условий, удовлетворяющих санитарно-гигиеническим требованиям, устраивается вентиляция. Удаление загрязненного и подача свежего воздуха в помещения осуществляется под действием естественных сил (*естественная вентиляция*) или с помощью специальных механических побудителей движения воздуха—вентиляторов (*механическая вентиляция*). В связи с наметившейся в последние годы тенденцией к строительству крупных блокированных цехов возрастает удельный вес систем вентиляции с механическим побуждением.

На машиностроительных заводах, как правило, устраивается общеобменная вентиляция в сочетании с местной.

Общеобменная вентиляция предназначена для разбавления свежим воздухом выделяющихся в помещение вредных веществ (газов, паров, пыли) до предельно допустимых в рабочей зоне концентраций, а при избыточных тепловыделениях — для сни-

жения температуры воздуха в той же зоне до требуемых значений. Общеобменная приточная вентиляция в основных цехах машиностроительных заводов выполняет также функции воздушного отопления.

Местная вытяжная вентиляция служит для улавливания вредных веществ непосредственно у места их выделения.

Местная приточная вентиляция обеспечивает заданные параметры воздушной среды в определенной части помещения.

В современных условиях, когда происходит неуклонная интенсификация производственных процессов, наиболее радикальным способом борьбы с выделяющимися вредными веществами является устройство местной вытяжной вентиляции и в первую очередь местных отсосов, встроенных непосредственно в технологическое оборудование. При таком способе вентилирования каждый кубический метр воздуха удаляет в десятки, а иногда и в сотни раз большее количество вредных веществ по сравнению с общеобменной вентиляцией и поэтому требуемый санитарно-гигиенический эффект достигается при значительно меньшем объеме удаляемого и подаваемого воздуха.

1.2. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА

При общеобменной вентиляции необходимый объем вентиляционного воздуха зависит от количества выделяющихся вредных веществ, их предельно допустимых концентраций, а также от распределения этих концентраций по площади и по высоте помещения. Характер распределения тепла, влаги и концентрации примесей вредных веществ в помещении при вентиляции и воздушном отоплении определяется главным образом возникающими воздушными течениями, которые, в свою очередь, зависят от принятого способа организации воздухообмена.

Решающую роль в формировании полей температур, скоростей и концентрации примесей в объеме вентилируемого помещения играют вентиляционные приточные струи и создаваемые ими циркуляционные течения.

При помощи приточных струй можно оказывать активное воздействие на схему циркуляции воздуха в помещении, а в связи с этим и на распределение температур, скоростей и концентраций примесей в вентилируемом объеме. Посредством вентиляционных струй можно обеспечивать в определенных зонах помещения заданные параметры воздушной среды, существенно отличающиеся от таковых в окружающем пространстве (воздушные души, воздушные оазисы); создавать воздушные завесы, препятствующие врыванию в помещение холодного воздуха; применять устройства, способствующие сдуву вредных веществ к месту организованного их удаления.

Тепловые (конвективные) струи, формирующиеся вблизи стен и поверхностей оборудования, имеющих температуру, отличающуюся от температуры окружающего воздуха, также могут оказывать существенное влияние на распределение вредных веществ в помещении.

В горячих цехах тепловые потоки, возникающие над нагретым оборудованием, способствуют выносу тепла и вредных примесей в верхнюю зону помещения. Мощные конвективные потоки переносят в верхнюю зону помещений газы и пары даже в том случае, если они тяжелее воздуха.

Удаление воздуха из помещений необходимо осуществлять из тех зон, в которых отмечается наибольшая концентрация вредных веществ или наиболее высокая температура. Поэтому в цехах с мощными источниками тепловыделений вытяжку воздуха системами общеобменной вентиляции целесообразно производить из верхней зоны. В таких цехах приточный воздух следует подавать в направлении рабочей зоны рассредоточенно струями сравнительно малой мощности с тем, чтобы сохранить возникающий положительный градиент концентраций и температур по высоте помещения и тем самым уменьшить необходимый объем вентиляционного воздуха.

В тех случаях, когда в помещении отсутствуют источники тепловыделения и происходит выделение паров и газов, которые тяжелее воздуха, возможно, хотя и достаточно редко, образование зон наибольших концентраций в нижних уровнях помещения и тогда целесообразна нижняя вытяжка с рассредоточенным притоком с малыми скоростями в верхнюю зону.

Конвективные потоки охлажденного воздуха, образующиеся около наружных стен и перекрытий, опускаясь в рабочую зону, могут переохлаждать ее, создавая неблагоприятные условия для работающих. Увеличивая мощность вентиляционных струй, создаваемых системами механической вентиляции или воздушного отопления (по сравнению с мощностью конвективных струй), можно перераспределить тепло по высоте цеха и тем самым ликвидировать перегрев верхней зоны и недогрев рабочей зоны помещения.

Таким образом, для обоснованной организации воздухообмена в производственных помещениях необходимо знание закономерностей формирования и развития вентиляционных и тепловых струй и создаваемых ими циркуляционных течений.

1.3. ПРИТОЧНЫЕ СТРУИ

Основные расчетные зависимости. Теоретическому и экспериментальному исследованию турбулентных струй посвящены работы Г. Н. Абрамовича [1], В. В. Батурина [6], В. А. Бахарева и В. Н. Трояновского [9], В. Н. Талиева [34], И. А. Шепелева [39] и др. Ряд исследований применительно к задачам вентиляционно-

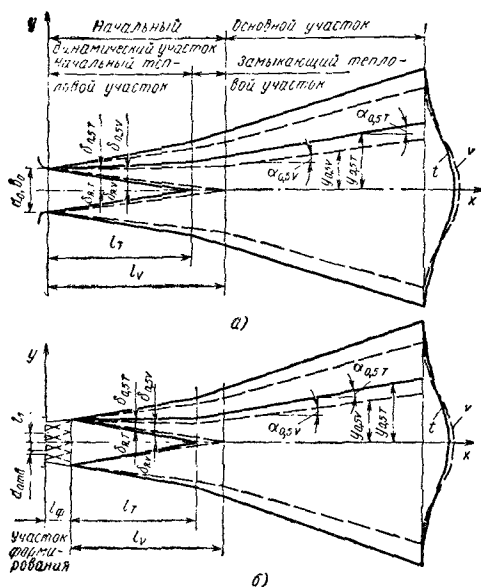


Рис. 1.1. Схема струи:

а — истекающей из открытого отверстия; б — истекающей из затененного отверстия.

отопительной техники выполнен сотрудниками Всесоюзного научно-исследовательского института охраны труда (ВНИИОТ, г. Ленинград) [14, 15, 17]. Ниже кратко излагаются установленные в результате этих исследований основные закономерности вентиляционных струй и приводятся рекомендуемые для практического применения расчетные зависимости.

В вентиляционно-отопительной технике выпуск приточного воздуха осуществляется как из открытых отверстий, так и из

отверстий, затененных решетками, перфорированными листами и другими подобными устройствами. При этом могут образовываться осесимметричные (компактные), плоские и веерные струи.

Схема приточной струи, истекающей из открытого отверстия, показана на рис. 1.1, а. Согласно этой схеме ширина теплового пограничного слоя в струе превышает ширину динамического слоя ($y_{0,5т} > y_{0,5в}$). По длине струя подразделяется на основной и начальный участки.

Наряду с начальным динамическим в струе имеется начальный тепловой участок, характеризуемый наличием ядра постоянных температур $\delta_{я.т}$. Перенос тепла в струе происходит более интенсивно, чем перенос импульса, и ядро постоянных температур размывается быстрее, чем ядро постоянных скоростей $\delta_{я.в}$. В связи с этим длина начального теплового участка l_T меньше длины начального динамического участка l_v . Участок, заключенный между начальным тепловым и основным, называется замыкающим тепловым. На основном участке струи развитие потока сопровождается падением осевой скорости и избыточной температуры.

Формулы для инженерных расчетов основного участка осесимметричных, плоских и веерных струй приведены в табл. 1.1.

Диаметр подводящего патрубка воздухораспределителя d_0 связан с его площадью F_0 соотношением: $d_0 = 1,13 \sqrt{F_0}$.

Вентиляционные струи, выпускаемые из прямоугольных отверстий, шириной b_0 , постепенно трансформируются из плоских

Формулы для расчета основного участка струй

Параметры струй	Обозначения	Осесимметричная струя	Плоская струя	Вексная струя
Скорость на оси	$\frac{v_x}{v_0}$	$m \frac{\sqrt{F_0}}{x}$	$m \sqrt{\frac{b_0}{x}}$	$m \frac{\sqrt{F_0}}{x}$
Скорость в любой точке струи	$\frac{v}{v_x}$	$e^{-0,7\tilde{y}^2}$	$e^{-0,7\tilde{y}^2}$	$e^{-0,7\tilde{y}^2}$
Разность температур на оси	$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_0}$	$n \frac{\sqrt{F_0}}{x}$	$n \sqrt{\frac{b_0}{x}}$	$n \frac{\sqrt{F_0}}{x}$
Разность температур в любой точке струи	$\frac{\Delta t}{\Delta t_x}$	$e^{-0,7\sigma_1 \tilde{y}^2}$	$e^{-0,7\sigma_1 \tilde{y}^2}$	$e^{-0,7\sigma_1 \tilde{y}^2}$
Расход в струе	$\frac{L_x}{L_0}$	$\frac{2}{m} \frac{x}{\sqrt{F_0}}$	$\frac{\sqrt{2}}{m} \sqrt{\frac{x}{b_0}}$	$\frac{\sqrt{2}}{m} \frac{x}{\sqrt{F_0}}$
Коэффициент изменения скорости	m	$\frac{0,66}{\lg \alpha_{0,5v}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_0}} \frac{4}{\sqrt{\xi}}$	$\frac{0,82}{\sqrt{\lg \alpha_{0,5v}}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_0}} \frac{4}{\sqrt{\xi}}$	$\frac{0,33}{\sqrt{\lg \alpha_{0,5v}}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_0}} \frac{4}{\sqrt{\xi}}$
Коэффициент изменения температуры	n	$\frac{0,54}{\lg \alpha_{0,5v}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_0}} \frac{4}{\sqrt{\xi}}$	$\frac{0,74}{\sqrt{\lg \alpha_{0,5v}}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_0}} \frac{4}{\sqrt{\xi}}$	$\frac{0,29}{\sqrt{\lg \alpha_{0,5v}}} \sqrt{\frac{T_{окр}}{T_0}} \frac{4}{\sqrt{\xi}}$

Примечание. В таблице $\sigma_1 = \left(\frac{y_{0,5v}}{y_{0,5t}}\right)^2$ — коэффициент турбулентного переноса, равен в слабонезотермических струях $\sim 0,7$; $\tilde{y} = \frac{y}{y_{0,5v}}$ — относительное расстояние до рассматриваемой точки струи; ξ — коэффициент местного сопротивления воздуховыпускного отверстия.

в осесимметричные. Опыт показывает, что эта трансформация практически заканчивается на расстоянии x , равном $6l_0$ (l_0 — размер длинной стороны прямоугольного отверстия). В связи с этим на расстоянии $x < 6l_0$ расчет приточных струй, вытекающих из прямоугольных отверстий, следует производить по формулам плоских струй, а при $l > 6l_0$ — по формулам осесимметричных струй.

Если за скоростную границу струи принять линию, проходящую через точки, в которых скорость равна 5% скорости на оси, а за тепловую границу струи линию, проходящую через точки, в которых разность температур составляет 5% осевой разности, то для осесимметричных струй

$$v_{\text{ср}} \approx 0,3v_x;$$

$$\Delta t_{\text{ср}} \approx 0,4 \Delta t_x;$$

для плоских и веерных струй

$$v_{\text{ср}} \approx 0,5v_x;$$

$$\Delta t_{\text{ср}} \approx 0,6 \Delta t_x.$$

В этих формулах $v_{\text{ср}}$ и $\Delta t_{\text{ср}}$ — средние по площади скорость и разность температур; v_x и $\Delta t_x = T_x - T_{\text{окр}}$ — осевые скорость и разность температур (здесь $T_{\text{окр}}$ — температура окружающей среды).

В практических расчетах воздухораспределения средние по площади скорости и избыточные температуры в осесимметричных, плоских и веерных струях принимаются соответственно равными $0,5v_x$ и $0,5\Delta t_x$.

Формулы для инженерного расчета начального и замыкающего участков приведены в [25]. На рис. 1.2 показано изменение относительных средних скоростей, избыточных температур и расходов по длине начального участка осесимметричных и плоских струй.

В схеме струи, истекающей из затененных отверстий l_Φ (см. рис. 1.1, б), наряду с начальным и основным имеется участок формирования. На этом участке, расположенном сразу за воздуховыпускной решеткой, происходит слияние отдельных струек в сплошной поток. Вначале струйки, истекающие из отверстий решетки, развиваются самостоятельно, активно подсасывая к себе воздух из окружающего пространства. Затем, по мере расширения, на определенном расстоянии от выпускного устройства струйки сливаются в сплошной поток.

Начальный участок сформировавшейся струи имеет ядро постоянных скоростей и температур.

На участке формирования, когда подтекание окружающего воздуха к центральным струйкам затруднено, возникает разрежение. За счет разности статических давлений создается импульс сил, направленный навстречу потоку и вызывающий потерю количества движения. Величина потерь количества движения (импульса)

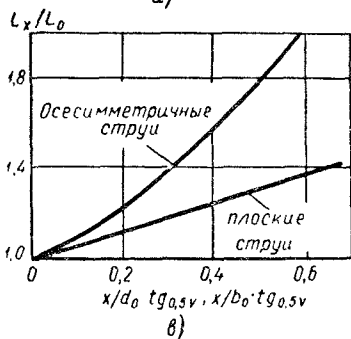
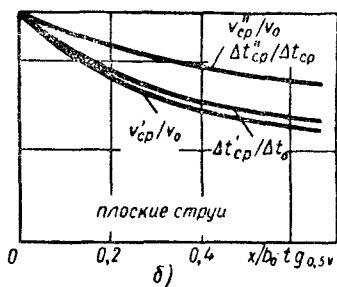
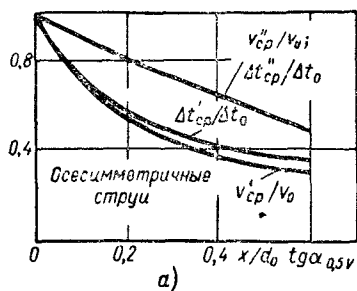


Рис. 1.2. Изменение относительных средних скоростей и избыточных температур по расходу v_{cp}/v_0 , $\Delta t'_{cp}/\Delta t_0$ по и площади v_{cp}/v_0 , $\Delta t'_{cp}/\Delta t_0$, а также относительных расходов L_x/L_0 по длине начального участка

на участке формирования учитывается коэффициентом $i = \frac{M_\phi}{M_0}$, где M_ϕ и M_0 — количество движения секундной массы в конце участка формирования и на истечении.

Величина потерь импульса зависит как от коэффициента живого сечения решетки $k_{ж.с.}$, так и от количества рядов отверстий в ней (рис. 1.3).

Расчет потоков, истекающих из затененных отверстий, с достаточной для инженерной практики точностью может быть произведен по формулам для струй, выпускаемых из открытых отверстий, если за начальные параметры (вместо v_0 , Δt_0 , L_0) принять параметры в конце участка формирования v_ϕ , Δt_ϕ , L_ϕ .

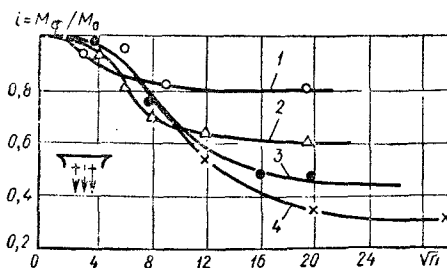


Рис. 1.3. Зависимость коэффициента падения количества движения от живого сечения и числа рядов отверстий перфорированной панели

1 — $k_{ж.с.} = 0,5$; 2 — $k_{ж.с.} = 0,2$;
3 — $k_{ж.с.} = 0,05$; 4 — $k_{ж.с.} = 0,02$

Длина участка формирования

$$l_{\phi} = \frac{l_0}{2 \lg \alpha_{0,5v}},$$

где l_0 — шаг между отверстиями, м; $\alpha_{0,5v}$ — угол между осью струи и линией, проходящей через точки струи, в которых скорость равна половине осевой.

Полный угол расширения вентиляционной струи α связан с углом $\alpha_{0,5v}$ следующей зависимостью: $\alpha = 4\alpha_{0,5v}$.

В инженерных расчетах основного участка струй, истекающих из затененных отверстий, потеря импульса на участке формирования обычно учитывается коэффициентами m и n (см. табл. 2.2), полученными экспериментально для данного типа воздухораспределителя. В этом случае расчет производится по формулам, приведенным в табл. 1.1.

Выпуск приточного воздуха в помещения часто осуществляется таким образом, что образующиеся струи налипают на поверхность ограждения и распространяются вдоль нее. При этом максимальная скорость в полуограниченной струе увеличивается по сравнению со свободной приблизительно в $\sqrt{2}$ раза.

Уточненные данные по влиянию поверхности ограждения на развитие полуограниченной струи в зависимости от расстояния до выпускного отверстия приводятся в [32].

Влияние стеснения на развитие струи. Образующиеся в помещении приточные струи развиваются как свободные до тех пор, пока площадь их поперечного сечения $F_{стр}$ не достигает примерно 25% площади поперечного сечения помещения, приходящейся на одну струю F_n [19]. До этого сечения, названного первым критическим, индуцируемые струей обратные потоки не оказывают заметного тормозящего действия на струю.

Расстояние (в м) от выпускного устройства до первого критического сечения равно:

для осесимметричных струй

$$x_{кр1} = 0,22m \sqrt{F_n}; \quad (1.1)$$

для плоских струй

$$x_{кр1} = 0,1m^2 H_n, \quad (1.2)$$

где H_n — высота помещения, м.

После того, как площадь поперечного сечения струи займет 25% площади поперечного сечения помещения, начинает сказываться стеснение струи: скорости падают быстрее, чем в свободной струе, замедляется прирост площади поперечного сечения струи и прирост расхода воздуха в ней, увеличивается соотношение между средней и осевой скоростями, количество движения в струе начинает постепенно падать. Когда струя займет приблизительно 40% площади поперечного сечения помещения (второе критическое сечение), начинают постепенно уменьшаться ее поперечные размеры, т. е. происходит затухание струи.

Расстояние от выпускного устройства до второго критического сечения составляет:

для осесимметричных струй

$$x_{кр_2} = 0,31m\sqrt{F_n}; \quad (1.3)$$

для плоских струй

$$x_{кр_2} = 0,15m^2H. \quad (1.4)$$

Дальнобойность струи, развивающейся в ограниченном пространстве, т. е. расстояние (в м), на котором происходит ее полное затухание, можно определить из выражений:

для осесимметричных струй

$$x_{\max} = 0,62m\sqrt{F_n}; \quad (1.5)$$

для плоских струй

$$x_{\max} = 0,3m^2H. \quad (1.6)$$

В случае, когда струя настигается на перекрытие, расстояния $x_{кр_1}$, $x_{кр_2}$ и $x_{\max}$ увеличиваются примерно в $\sqrt{2}$ раза.

Максимальные скорости в струях до первого критического сечения находят по формулам свободных или полуограниченных струй. При $x > x_{кр_1}$ в формулы свободных струй для определения максимальных скоростей вводят поправку на стеснение

$$k_c = \frac{v_{xc}}{v_x}; \quad (1.7)$$

здесь v_x и v_{xc} — скорости на оси свободной и стесненной струи (на одинаковом расстоянии от выпускного отверстия). Значение коэффициентов стеснения k_c для осесимметричных и плоских струй приведено на рис. 1.4.

Влияние неизотермичности на развитие струй. При правильной организации воздухораспределения скорость в приточной струе по мере приближения ее к рабочей зоне должна, как правило, падать до весьма малых величин, соизмеримых с нормируемыми. В этих условиях, учитывая, что в неизотермических струях соотношение между гравитационными и инерционными силами

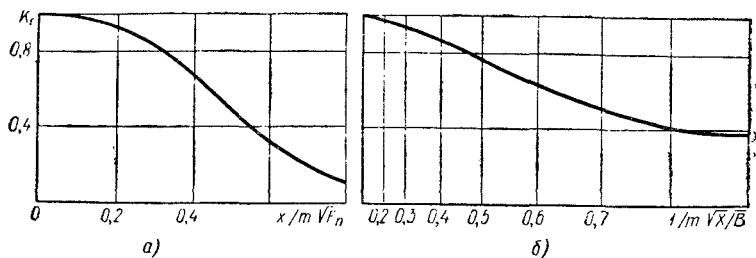


Рис. 1.4. Коэффициенты стеснения для осесимметричных (а) и плоских (б) струй

растет вниз по потоку, силы вытеснения начинают оказывать существенное влияние на характер развития приточных струй.

Под воздействием гравитационных сил изменяется дальнобойность струи, ее траектория, а внутри самой струи происходит перестройка скоростных и температурных полей — нарушается их подобие в поперечных сечениях струи.

Соотношение между гравитационными и инерционными силами в различных поперечных сечениях неизотермической струи, расположенных на расстоянии x от выпускного устройства, оценивается величиной текущего критерия Архимеда [14]

$$Ar_x = \frac{gx \Delta t_x}{v_x^2 T_{\text{окр}}}, \quad (1.8)$$

где g — ускорение силы тяжести, м/с^2 ; $T_{\text{окр}}$ — температура окружающего воздуха, К .

Подставив в формулу (1.8) выражения для определения осевой скорости v_x и избыточной температуры Δt_x (см. табл. 2.1), получим:

для осесимметричных, неполных веерных и веерных струй

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_0 \left(\frac{x}{\sqrt{F_0}} \right)^2; \quad (1.9)$$

для плоских струй

$$Ar_x = \frac{n}{m^2} Ar_0 \left(\frac{x}{b_0} \right)^{3/2}; \quad (1.10)$$

здесь $Ar_0 = \frac{g \sqrt{F_0} \Delta t_0}{v_0^2 T_{\text{окр}}}$ — критерий Архимеда, характеризующий соотношение между гравитационными и инерционными силами на истечении. Для плоских струй при подсчете Ar_0 вместо $\sqrt{F_0}$ подставляется ширина прямоугольной щели b_0 .

В зависимости от величины Ar_x приточные струи можно разделить на два класса: так называемые слабонеизотермические, в которых действием гравитационных сил можно пренебречь ($Ar_x < 0,1$ для осесимметричных струй и $Ar_x < 0,15$ для плоских струй), и неизотермические струи, на развитие которых гравитационные силы оказывают существенное влияние.

Следует отметить, что текущий критерий Архимеда связан с предложенной И. А. Шелевым геометрической характеристикой струй H следующим образом:

для осесимметричных и веерных струй

$$H = \frac{x}{0,9 \sqrt{Ar_x}}; \quad (1.11)$$

для плоских струй

$$H = \frac{x}{\sqrt[3]{Ar_x^2}}. \quad (1.12)$$

При горизонтальной подаче воздуха под действием гравитационных сил происходит искривление оси струи: охлажденные струи опускаются вниз, а нагретые всплывают вверх.

Траектория неизотермических струй при горизонтальном выпуске определяется по формулам:

для осесимметричных струй

$$\frac{y}{\sqrt{F_0}} = 0,6 \frac{n}{m^2} Ar_0 \left(\frac{x}{\sqrt{F_0}} \right)^3; \quad (1.13)$$

для плоских струй

$$\frac{y}{b_0} = 0,7 \frac{n}{m^2} Ar_0 \left(\frac{x}{b_0} \right)^{5/2}, \quad (1.14)$$

где y — отклонение струи от горизонтального направления на расстоянии x .

Отрыв струй охлажденного воздуха от потолка (или струй нагретого воздуха от пола) происходит при значениях текущего критерия Архимеда, равных: для осесимметричных струй 0,3, для плоских 0,25 и для веерных 0,2.

Расчетные зависимости для определения относительных расстояний до места отрыва имеют следующий вид:

для осесимметричных и неполных веерных струй

$$\frac{x}{\sqrt{F_0}} = \frac{0,55m}{\sqrt{nAr_0}}; \quad (1.15)$$

для веерных струй

$$\frac{x}{\sqrt{F_0}} = \frac{0,45m}{\sqrt{nAr_0}}; \quad (1.16)$$

для плоских струй

$$\frac{x}{b_0} = \frac{0,4m}{\sqrt[3]{(nAr_0)^2}}. \quad (1.17)$$

В горизонтально выпускаемых струях охлажденного или нагретого воздуха осевые скорости практически не возрастают по сравнению с изотермическими струями и поэтому определять их рекомендуется по формулам, приведенным в табл. 1.1.

Вертикальная подача воздуха осуществляется, как правило, через отверстия, расположенные в потолке или в нижней стенке приточных каналов.

Расчет неизотермических струй на основном участке представляется целесообразным производить по формулам для слабо-изотермических струй с введением в эти формулы коэффициента неизотермичности $k_n = \frac{v_{xn}}{v_x}$, где v_{xn} — осевая скорость в неизотермической струе.

Эти формулы имеют следующий вид:
для осесимметричных и неполных веерных струй

$$\frac{v_x}{v_0} = m \frac{\sqrt{F_0}}{x} k_n; \quad (1.18)$$

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_0} = n \frac{\sqrt{F_0}}{x} \frac{1}{k_n}; \quad (1.19)$$

$$\frac{L_x}{L_0} = \frac{2}{m} \frac{x}{\sqrt{F_0}} k_n, \quad (1.20)$$

где

$$k_n = \sqrt{1 \pm 2,5Ar_x};$$

для плоских струй

$$\frac{v_x}{v_0} = m \sqrt{\frac{b_0}{x}} k_n; \quad (1.21)$$

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_0} = n \sqrt{\frac{b_0}{x}} \frac{1}{k_n}; \quad (1.22)$$

$$\frac{L_x}{L_0} = \frac{\sqrt{2}}{m} \sqrt{\frac{x}{b_0}} k_n, \quad (1.23)$$

где

$$k_n = \sqrt[3]{1 \pm 1,3Ar_x}.$$

Знак плюс в формулах для k_n соответствует случаю, когда направление гравитационных сил совпадает с инерционными силами, знак минус — когда гравитационные силы направлены навстречу инерционным.

При подаче теплого воздуха вниз или охлажденного вверх на определенном расстоянии от выпускного отверстия происходит размывание струи. Это происходит при критических значениях критерия Архимеда, равных 0,4 для осесимметричных и неполных веерных струй и 0,5 для плоских струй. Расстояние от выпускного отверстия до места затухания струи при противодействии гравитационных и инерционных сил может быть определено для осесимметричных, неполных веерных и плоских струй соответственно по формулам (1.15) и (1.17) при значениях экспериментальной константы, равной 0,63. На рис. 1.5 представлена зависимость коэффициента неизотермичности k_n от величины текущего критерия Архимеда Ar_x .

Учет взаимодействия струй. При выпуске приточного воздуха в помещение могут иметь место случаи, когда необходимо учитывать взаимодействие струй, выпускаемых параллельно друг другу. В наиболее распространенном на практике случае, когда воздух поступает из отверстий, имеющих одинаковую площадь выпуска F_0

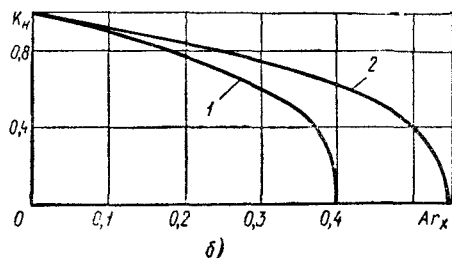
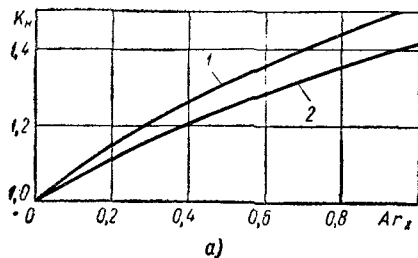


Рис. 1.5. Коэффициент неизотермичности для осесимметричных (1) и для плоских (2) струй:

а — при совместном действии гравитационных и инерционных сил; б — при противодействии гравитационных и инерционных сил

и равномерные скорости на истечении v_0 , суммарная скорость $v_{\text{сум}}$ в слившемся потоке определяется из выражений:

для осесимметричных и веерных струй

$$\frac{v_{\text{сум}}}{v_0} = m \frac{\sqrt{F_0}}{x} k_{\text{вз}}; \quad (1.24)$$

для плоских струй

$$\frac{v_{\text{сум}}}{v_0} = m \sqrt{\frac{b_0}{x}} k_{\text{вз}}, \quad (1.25)$$

где $k_{\text{вз}}$ — коэффициент взаимодействия.

Приведенные выражения (1.24) и (1.25) могут быть использованы в первом приближении и для определения разности температур при взаимодействии струй, если вместо $v_{\text{сум}}$, v_0 и m подставить соответственно $\Delta t_{\text{сум}}$, Δt_0 и n .

На рис. 1.6 даны значения коэффициентов взаимодействия $k_{\text{вз}}$, которые следует учитывать при определении максимальной скорости в слившемся потоке при истечении из выпускных устройств, расположенных в ряд на расстоянии l_1 друг от друга (на рис. 1.6 n — количество воздуховыпускных отверстий).

Следует обратить внимание на то обстоятельство, что нет необходимости учитывать взаимодействия, когда струи развиваются в стесненных условиях и отделены друг от друга обрат-

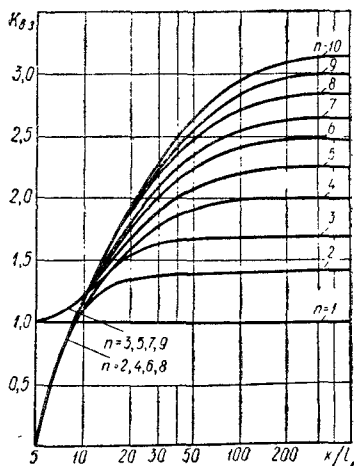


Рис. 1.6. Коэффициент взаимодействия $K_{\text{вз}}$ для осесимметричных струй

ным потоком. Не следует, например, учитывать взаимодействие при сосредоточенной раздаче воздуха, когда выпускные устройства относительно равномерно расположены по площади стены и подпитка струй идет встречным потоком, приводящим не к увеличению, а к уменьшению скорости в струе, учитываемому коэффициентом стеснения k_c . Учет взаимодействия не следует производить и тогда, когда воздуховыпускные устройства (плафоны, решетки, панели) располагаются сравнительно равномерно по площади потолка.

Закрученные струи. При выпуске воздуха в помещение через воздухораспределители, имеющие на выходе закручивающие устройства, процесс смешения интенсифицируется в связи с приданием потоку вращательного движения и появлением тангенциальных составляющих скорости. В закрученной струе за выпускным устройством создается разрежение, которое постепенно вниз по потоку уменьшается.

Инженерный метод расчета осесимметричных закрученных струй, построенный, как и для прямооточных струй, на интегральных законах распространения струи и эмпирических законах распределения скоростей и избыточных температур, приведен в [15].

В практических расчетах определение результирующих скорости и избыточной температуры на оси закрученной струи, образующейся при выпуске через воздухораспределитель типа ВЭС, может производиться по формулам прямооточных осесимметричных струй, приведенным в табл. 1.1, с подстановкой в них соответствующих значений m и n .

1.4. КОНВЕКТИВНЫЕ (ТЕПЛОВЫЕ) СТРУИ

Конвективные струи возникают над горизонтальными источниками тепловыделений: печами, ваннами и другим нагретым оборудованием. Исследованию тепловых струй посвящены работы И. А. Шепелева [39], В. М. Эльтермана [8] и др.

На рис. 1.7 показана схема тепловой струи, возникающей над горизонтальным тепловым источником, имеющим в плане форму, близкую к круглой. Струю можно разделить на два участка: участок формирования и основной участок. На участке формирования в конвективной струе образуется однородный профиль скоростей и постепенно увеличивается осевая скорость. Достигнув своего максимума, осевая скорость в осесимметричной конвективной струе начинает уменьшаться (основной участок).

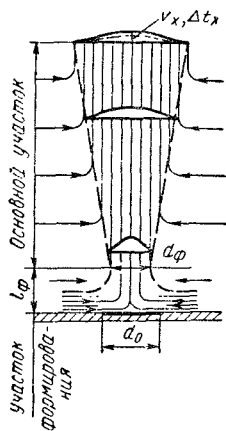


Рис. 1.7. Схема тепловой струи

Длина участка формирования l_f зависит от формы и установки источника тепловыделений и составляет приблизительно $(1-1,2) d_0$ (здесь d_0 — эквивалентный по площади диаметр источника тепловыделений). Расход воздуха (в $\text{м}^3/\text{ч}$) в осесимметричной конвективной струе, образующейся над источником тепловыделений, можно определить по формуле

$$L_x = 22 \sqrt[3]{Qx^5}. \quad (1.26)$$

Скорость (в $\text{м}/\text{с}$) на оси конвективной струи определяется по формуле

$$v_x = 0,16 \sqrt[3]{\frac{Q}{x}}. \quad (1.27)$$

В этих формулах Q — количество конвективного тепла, выделяемого источником, $\text{ккал}/\text{ч}$; x — расстояние от верха нагретой поверхности источника до рассматриваемого сечения струи, м .

Конвективные струи возникают и возле вертикальной нагретой или охлажденной поверхности (поверхности стен, остекления и др.). Эти потоки могут оказывать существенное влияние на распределение скоростей и температур в помещении.

Расход воздуха (в $\text{м}^3/\text{ч}$) в конвективной струе, образующейся возле нагретой (или охлажденной) вертикальной поверхности, на единицу ширины поверхности определяется согласно [38] по формуле

$$L_x = 12,2 \sqrt[3]{Qx^4}. \quad (1.28)$$

Максимальная скорость в такой струе

$$v_x = 0,085 \sqrt[3]{Qx}; \quad (1.29)$$

здесь Q — количество тепла, отдаваемого (или воспринимаемого) за счет конвекции единицей площади поверхности, $\text{ккал}/\text{ч} \cdot \text{м}^2$; x — расстояние от низа греющей (или верха охлаждающей) поверхности до рассматриваемого поперечного сечения струи, м .

1.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗДУХООБМЕНА ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

В соответствии с санитарными нормами СН 245-71 при одновременном выделении в воздух рабочей зоны помещений нескольких вредных веществ, не обладающих однонаправленным характером действия, величину L следует принимать по тому веществу, для разбавления которого до предельно допустимой концентрации требуется подача наибольшего объема воздуха. При одновременном содержании в воздухе рабочей зоны нескольких вредных веществ однонаправленного действия расчет общеобменной вентиляции производится путем суммирования объемов воздуха, необходимых для разбавления каждого вещества в отдельности до его предельно допустимой концентрации.

Расчетные формулы для определения воздухообмена, учитывающие неравномерность распределения параметров воздушной

среды по высоте помещения с помощью коэффициента организации воздухообмена (коэффициента воздухообмена) k_L , имеют следующий вид:

для помещений с газовыделениями

$$L = \frac{G}{k_L (q_{p,з} - q_0)}; \quad (1.30)$$

для помещений с тепловыделениями

$$L = \frac{Q}{ck_L (t_{p,з} - t_0)}, \quad (1.31)$$

где G — количество вредных паров, пыли или газов, поступающих в помещение, мг/ч; Q — количество поступающего в помещение избыточного явного тепла, ккал/ч; $q_{p,з}$, $t_{p,з}$ — соответственно предельно допустимая концентрация (ПДК), мг/м³, или нормируемая температура в рабочей зоне помещения, °C; q_0 , t_0 — соответственно концентрация вредных веществ в поступающем в помещение воздухе, мг/м³, или его температура, °C, c — объемная теплоемкость воздуха, ккал/м³ °C; k_L — коэффициент воздухообмена, характеризующий связь между параметрами удаляемого воздуха и воздуха рабочей зоны.

Коэффициент k_L зависит от способа воздухообмена и взаиморасположения приточных и вытяжных отверстий относительно друг друга и источников тепло- и газовой выделений.

Повышение величины k_L , как видно из формул (1.30) и (1.31), при сохранении постоянства рабочей разности температур ($t_{p,з} - t_0$) или концентраций ($q_{p,з} - q_0$) уменьшает необходимый воздухообмен. Это, как правило, приводит к экономии средств на сооружение и эксплуатацию вентиляционных систем.

1.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОРГАНИЗАЦИИ ВОЗДУХООБМЕНА

Для помещений, в которых решающее влияние на схему циркуляции воздуха оказывают приточные струи, разработан метод аналитического определения величины k_L [17]. Наиболее распространенные способы подачи приточного воздуха показаны на рис. 1.8. Удаление вентиляционного воздуха осуществляется, как правило, местными отсосами из рабочей зоны и общеобменной вытяжкой из верхней зоны. Рассмотрим определение k_L при некоторых характерных схемах организации воздухообмена, встречающихся на машиностроительных заводах.

При сосредоточенной подаче воздуха настилающимися на перекрытие струями (см. рис. 1.8, ж) и общеобменной вытяжке из зоны действия струи (например, при помощи крышных вентиляторов) k_L вычисляется по формуле

$$k_L = 1 - \frac{L_0 - L_M}{L_h}, \quad (1.32)$$

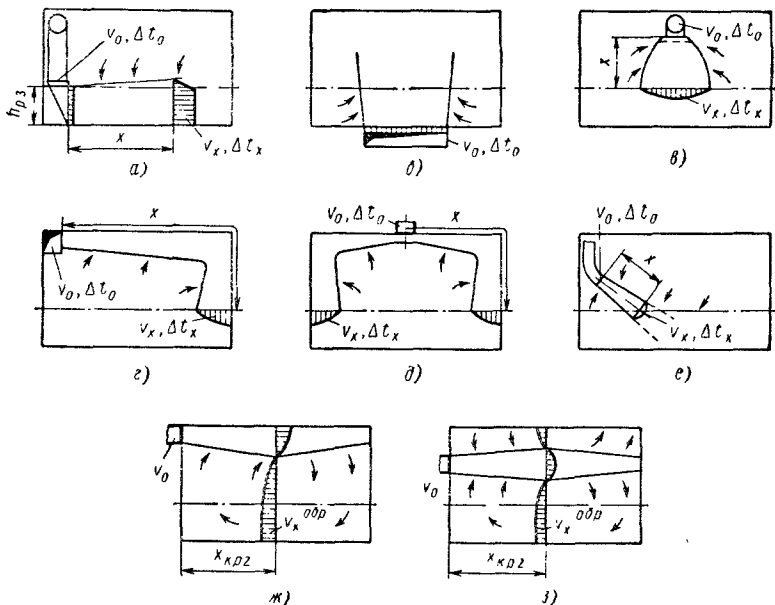


Рис. 1.8. Схемы воздушных потоков в помещении при раздаче воздуха:

а — пристенными панельными и трехсторонними воздухораспределителями; б — через перфорированный пол; в — осесимметричными и плоскими струями (потолочные панели, перфорированные воздуховоды, плафоны на отрывную раздачу и др.); г — настилающимися плоскими и осесимметричными струями (через стеновые решетки, панели, воздуховоды с боковой перфорированной поверхностью); д — всерными струями в верхнюю зону через потолочные дисковые и многодиффузные плафоны; е — наклонными струями; ж — сосредоточенно с затуханием струй вне рабочей зоны настилающимися струями; з — то же настилающимися струями

где L_h — расход воздуха в струе в месте расположения вытяжных отверстий (на расстоянии h от истечения), $\text{м}^3/\text{с}$; L_m — производительность отсосов, $\text{м}^3/\text{с}$.

При размещении вытяжки до второго критического сечения ($h \leq x_{кр2}$) величину L_h определяют по формулам табл. 1.1, заменив в них x на h . Если $h > x_{кр2}$, то в формулу (1.32) вместо L_h следует подставить значение расхода воздуха в стесненной струе во втором критическом сечении ($L_{кр2}$).

Если сосредоточенная подача производится ненастилающимися струями (см. рис. 1.8, з), то

$$k_L = \frac{1}{1 + 2 \frac{Q_{р.з} - Q_{в.з}}{Q_{р.з} + Q_{в.з}} \frac{L_0 - L_m}{L_{кр2}}}, \quad (1.33)$$

где $Q_{р.з}$ — тепловыделения в рабочей зоне помещения, $\text{ккал}/\text{ч}$; $Q_{в.з}$ — тепловыделения в верхней зоне (в данном случае выше уровня выпуска воздуха), $\text{ккал}/\text{ч}$.

При подаче воздуха струями, поступающими из верхней зоны помещения в рабочую зону (рис. 1.8, в, г, д, е), коэффициент эффективности вычисляется по формуле

$$k_{эф} = \frac{Q_{p.з} + Q_{в.з}}{Q_{p.з} \left(\alpha - \frac{L_0}{L_{стр}} \frac{F_{стр}}{F_{п}} \right) + Q_{в.з} \frac{\alpha L_{стр} - L_0}{L_{стр} - L_M}}, \quad (1.34)$$

где $L_{стр}$ — расход воздуха в струе в месте поступления ее в рабочую зону, $м^3/ч$.

Если общеобменная вытяжка из верхней зоны производится из обратных потоков вне зоны действия струи (например, при размещении вытяжных отверстий в потолке для вариантов, показанных на рис. 1.8, в, е), то величина $\alpha = 1$. Если же удаление воздуха производится из струи (варианты на рис. 1.8, г, д) при размещении вытяжных отверстий в потолке, то

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{L_0 - L_M}{L_h}}.$$

В случае подачи воздуха струей со значительными эжектирующими свойствами ($\frac{L_{стр}}{L_0} > 5$) k_L можно определить с достаточной точностью по более простому соотношению (1.32). Из выражения (1.32) следует, что с увеличением расстояния h между приточным и вытяжным отверстиями (т. е. с увеличением расхода в струе L_h) возрастает и значение коэффициента k_L . Используя эту формулу, можно находить, на каком минимальном расстоянии друг от друга следует располагать приточные и вытяжные отверстия, чтобы величина k_L была достаточно велика (в практических расчетах можно принимать, например, $k_L \geq 0,9$).

Если подача воздуха осуществляется непосредственно в рабочую зону (рис. 1.8, а, б) через панельные (перфорированные, пластинчатые) воздухораспределители, то

$$k_L = \frac{(Q_{p.з} + Q_{в.з}) (L_{ф} - L_M)}{Q_{p.з} \left(L_{ф} - \frac{L_0 + L_M}{2} \right) + Q_{в.з} (L_{ф} - L_0)}, \quad (1.35)$$

где $L_{ф}$ — расход воздуха в струе после участка формирования, $м^3/с$.

При выпуске воздуха через панели, снабженные спрямляющими решетками (сотаи) $L_{ф} = L_0$, и выражение (1.35) упрощается:

$$k_L = 2 \left(1 + \frac{Q_{в.з}}{Q_{p.з}} \right). \quad (1.36)$$

В наиболее распространенном случае подачи воздуха в рабочую зону, когда образующиеся приточные струи затухают в рабочей зоне,

$$k_L = 1 + \frac{Q_{в.з.}}{Q_{р.з.}}. \quad (1.37)$$

Приведенные соотношения также справедливы и в случае борьбы с газовыделениями при замене в расчетных формулах величины тепловыделений соответствующими значениями газоразделений.

В СНиП II.33—75 воздухообмен рекомендуется определять по формулам, которые можно представить в виде, несколько отличном от традиционной записи (1.30), (1.31):

для помещений с газоразделениями *тепловыделениями*

$$L = L_m \left(1 - \frac{1}{k_L^{общ}} \right) + \frac{Q}{ck_L^{общ} (t_{р.з.} - t_0)}; \quad (1.38)$$

для помещений с тепловыделениями *газоразделениями*

$$L = L_m \left(1 - \frac{1}{k_L^{общ}} \right) + \frac{G}{k_L^{общ} (q_{р.з.} - q_0)}, \quad (1.39)$$

где $k_L^{общ}$ — коэффициент эффективности воздухообмена общеобменной вентиляции, равной $k_L^{общ} = \frac{q_{yx} - q_0}{q_{р.з.} - q_0}$ в формуле (1.38) и $k_L^{общ} = \frac{t_{yx} - t_0}{t_{р.з.} - t_0}$ в формуле (1.39); q_{yx} , t_{yx} — соответственно концентрация вредных в удаляемом воздухе, мг/м³, или его температура, °С.

Используя приведенные выше выражения для k_L , можно определить величину $k_L^{общ}$ с помощью соотношения

$$k_L^{общ} = \frac{1 - A}{\frac{1}{k_L} - A}, \quad (1.40)$$

где $A = \frac{cL_m (t_{р.з.} - t_0)}{Q}$ при вычислении по формуле (1.38) и $A = \frac{L_m (q_{р.з.} - q_0)}{G}$ при вычислении по формуле (1.39).

Таким образом, для определения воздухообмена в помещении можно применять расчетные формулы как (1.30), (1.31), так и (1.38), (1.39).

1.7. ЕСТЕСТВЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ (АЭРАЦИЯ) ГОРЯЧИХ ЦЕХОВ

Естественную вентиляцию, организованную и управляемую, называют аэрацией. С помощью аэрации можно создать огромные воздухообмены без специального вентиляционного оборудования и не затрачивая электрическую энергию на перемещение воздуха.

В отдельных цехах машиностроительных заводов для удаления избыточного тепла и вредных веществ необходимы большие воздухообмены. Так, например, в кузнечных цехах на 1 т поковок требуется в среднем подавать до 100 т вентиляционного воздуха, в отделении заливки и выбивки чугунолитейных цехов—70 т на 1 т залитого металла. Согласно проведенным испытаниям в кузнечном цехе автомобильного завода создаваемый аэрацией в летнее время воздухообмен составлял 3 млн. м³/ч. Благодаря такому большому воздухообмену в цехе были благоприятные условия воздушной среды. Если бы здание было построено без учета осуществления в нем аэрации, то для создания такого воздухообмена потребовалось бы установить для притока и вытяжки не менее 60 осевых вентиляторов № 20 и к ним электродвигатели общей мощностью около 850 кВт.

Наряду с большими экономическими преимуществами аэрации этот способ вентиляции обладает следующими существенными недостатками: ограниченность района действия аэрации; невозможность очистки выбрасываемого в атмосферу воздуха от вредных веществ. В определенной мере первый недостаток можно преодолеть, делая горячие цехи шириной не более 24 м. Хороших результатов можно также достигнуть в широких цехах, если делать их двухэтажными (рис. 1.9). Основное теплогазовыделяющее оборудование устанавливается на втором этаже. На первом этаже располагается вспомогательное оборудование с малыми тепло- и газовыделениями.

Первый этаж, в который летом поступает наружный воздух, является коллектором чистого воздуха. Через проемы в перекрытии наружный воздух поступает на второй этаж. При такой схеме аэрации ширина горячего цеха не ограничивается.

Из-за невозможности очистки воздуха, выбрасываемого через фонари, в цехах с большими выделениями вредных веществ и незначительными теплоизбытками аэрацию устраивать не следует во избежание загрязнения приземного слоя атмосферы. Несмотря на то, что концентрация вредных веществ в уходящем воздухе находится в пределах одного-двух ПДК, общее количество выбрасываемых вредных веществ значительно и при миллионных воздухообменах может достигнуть нескольких килограммов в час, а в отдельных случаях и десятков килограммов в час.

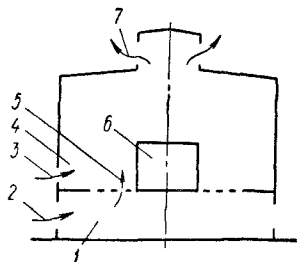
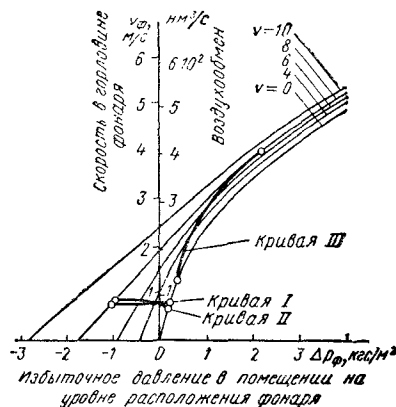


Рис. 1.9. Двухэтажное аэрируемое здание:

1 — технический этаж здания; 2 — приточные окна первого этажа; 3 — приточные окна второго этажа; 4 — второй этаж здания; 5 — решетки в межэтажном перекрытии; 6 — источники тепло- и газовыделений; 7 — вытяжные створки в фонаре

Рис. 1.10. График зависимости воздухообмена от скорости ветра:

1 — зависимость воздухообмена при расположении приточных отверстий в зоне аэродинамической тени впереди стоящего здания; 2 — то же, при расположении 14% площади приточных окон на наветренной незатененной стороне здания и 85% площади на заветренной стороне; 3 — то же, при расположении приточных отверстий на наветренной незатененной стороне здания



В цехах с большими тепловыделениями и малыми газовыделениями аэрация остается основным средством создания благоприятных условий воздушной среды.

Расчет аэрации общеизвестен и приведен в работах [8], [32]. Как правило, расчет производят только исходя из учета действия гравитационных сил (теплого напора). Действие ветра при расчете аэрации не учитывается, тогда как в ряде случаев ветер может значительно увеличивать воздухообмен.

На рис. 1.10 на графике аэродинамической характеристики незадуваемого фонаря нанесены результаты расчета аэрации большого кузнечного цеха. Расчеты были сделаны для трех случаев расположения приточных окон, вытяжка во всех трех случаях осуществлялась через незадуваемый фонарь. Как видно из графика (рис. 1.10), при расположении приточных окон полностью (кривая I) или частично (кривая II) на заветренной стороне здания или в зоне аэродинамической тени впереди стоящего здания воздухообмен в цехе почти постоянный при возрастании скорости ветра. В случае нахождения приточных окон на наветренной, незатененной стороне здания воздухообмен значительно возрастает при увеличении скорости ветра от 0 до 8 м/с, т. е. почти в 3,5 раза. В общем случае при расположении приточных окон на наветренной стороне зависимость воздухообмена от скорости ветра может быть найдена путем решения уравнения

$$\frac{L^3}{C} = Dv^2L - C = 0, \quad (1.41)$$

где

$$C = \frac{28800n\mu_{\Phi}^2 F_{\Phi}^2 \gamma_{yx} HQ}{T_{yx} T_{\Pi}}; \quad (1.42)$$

$$D = \frac{28800HQ}{T_{yx} T_{\Pi} \gamma_{\Pi} k_{\text{аэр}}}; \quad (1.43)$$

L — весовой расход воздуха в 1 с на 1 пог. м. фонаря, кг; F_{ϕ} — площадь открытых створок с обеих сторон фонаря на 1 пог. м его длины, м²/м; μ_{ϕ} — коэффициент расхода воздуха через створки фонаря; n — доля располагаемого перепада давлений, расходуемая на преодоление сопротивления проходу воздуха через фонарь; H — высота между серединами створок в фонаре и приточных окнах, м; Q — избыточное тепло в воздухе, удаляемом через фонарь на 1 пог. м его длины, ккал/м·с; T_{yx} , T_n , γ_{yx} , γ_n — соответственно абсолютные температуры (°C) и удельные веса воздуха (кг/м³), удаляемого через фонари, и наружного; $k_{aэр}$ — суммарный аэродинамический коэффициент (разность аэродинамических коэффициентов на наветренных сторонах здания и на плоскостях незадуваемого фонаря).

Чтобы избежать решения кубического уравнение (1.49), можно для заданных конкретными условиями параметров C и D найти зависимость $v = f(L)$. По построенному графику этой зависимости следует определить изменение L от v . Если с возрастанием скорости ветра воздухообмен сильно увеличивается, то в местностях со значительной продолжительностью дней с большими скоростями ветра целесообразно устраивать аэрацию зданий с расположением приточных окон на наветренной незатененной стороне здания. Как будет рассмотрено ниже в гл. 6, в этом случае устройство фонарей допустимо и с точки зрения обеспечения чистоты приземного слоя атмосферы.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

2.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

В связи с повышением санитарно-гигиенических и технологических требований к состоянию воздушной среды, а также благодаря тенденции строительства крупных блокированных цехов растут масштабы и сложность вентиляционных систем, возрастает удельный вес систем вентиляции с механическим побуждением, систем приточной вентиляции.

В условиях роста как объемов перемещаемого вентиляционного воздуха, так и стоимости единицы объема актуальными становятся вопросы рациональной подачи и эффективного использования приточного воздуха в вентилируемых помещениях.

Оценку и выбор того или иного способа распределения приточного воздуха и организации воздухообмена в помещении необходимо производить с учетом комплекса показателей (строительных особенностей помещения, требований технологии, эстетики и т. п.), при этом определяющим является поддержание заданных параметров воздушной среды на всех постоянных рабочих местах при наименьших капитальных и эксплуатационных затратах.

В соответствии со Строительными нормами и правилами СНиП II. 33—75, п. 4.83 в помещениях с избытками явного тепла, а также в помещениях, в которых теплопоступления сопровождаются выделением вредных веществ, подачу приточного воздуха следует предусматривать в рабочую зону.

В связи с тем, что выпуск приточного воздуха непосредственно в рабочую зону (на высоте до 2 м от пола) в современных промышленных зданиях зачастую трудно осуществить, особенно при больших размерах сетки колонн, подача воздуха рассматривается как приток в рабочую зону при расположении приточных отверстий на высоте до 4 м, если струи направлены горизонтально или под углом в направлении рабочей зоны, и до 6 м, если струи направлены вертикально вниз.

Это значит, что в таких цехах машиностроительных заводов, как литейные, кузнечные, термические, а также и в некоторых механосборочных цехах необходимо предусматривать подачу воз-

духа или непосредственно в рабочую зону, т. е. на высоте до 2 м, или под некоторым углом в направлении рабочей зоны на высоте до 4 м. Вертикальная подача, как правило, возможна лишь в цехах сравнительно небольшой высоты.

Наряду с величиной k_L работу систем воздухораспределения принято оценивать по степени равномерности распределения скоростей и температур в рабочей зоне помещения.

Несмотря на то, что степень равномерности распределения скоростей и температур по площади рабочей зоны помещения в настоящее время не нормируется, представляется необходимым учитывать при проектировании систем и выборе способа воздухо-раздачи и этот показатель. Особенно это важно в производствах, в которых для обеспечения нормального ведения технологического процесса необходимо поддержание заданных параметров воздушной среды.

Следует иметь в виду, что подача воздуха непосредственно в рабочую зону, как правило, характеризуется наибольшим k_L , но при этом может снижаться допускаемая рабочая разность температур ($t_{p,z} - t_0$) и создаваться наибольшая степень неравномерности распределения параметров в рабочей зоне.

Согласно СНиПу при размещении воздухораспределителей непосредственно в рабочей зоне скорость движения и температура воздуха не нормируется вне постоянных рабочих мест на расстоянии 1 м от воздухораспределителя при горизонтальном и наклонном направлениях струи и на расстоянии 0,5 м от воздухораспределителя при выпуске воздуха вертикально вверх.

При выпуске воздуха над рабочей зоной на высоте 4 м от пола струями, направленными горизонтально или под некоторым углом в направлении рабочей зоны, степень равномерности распределения несколько повышается по сравнению с подачей непосредственно в рабочую зону, но при этом k_L может понижаться.

Наибольшую равномерность распределения параметров в рабочей зоне помещения удастся обеспечить при вертикальной подаче приточного воздуха, особенно при соблюдении определенных соотношений между площадью струи $F_{стр}$, поступающей в рабочую зону, и площадью обслуживаемого ею помещения F_n (см. п. 2.4).

Выпуск приточного воздуха в верхнюю зону рекомендуется осуществлять в тех случаях, когда улавливание вредных выделений осуществляется преимущественно местными отсосами: в гальванических цехах, в травильных отделениях, в малярных цехах при выполнении работ в закрытых кабинах и камерах и т. п. Такой вид раздачи применим также в цехах с пылевыведениями (участки полировки, сухой шпаклевки, механической обработки дерева и т. п.), в которых рекомендуется, как правило, выпуск воздуха осуществлять со сравнительно малыми скоростями с тем, чтобы не создавать в помещении циркуляции воздуха с повышенными скоростями, препятствующими оседанию частиц пыли.

Сосредоточенную подачу с выпуском приточного воздуха выше рабочей зоны согласно СНиПУ рекомендуется предусматривать в цехах, оборудованных местной вытяжной вентиляцией. При этом выпуск воздуха должен осуществляться таким образом, чтобы создаваемые приточной струей потоки воздуха не нарушали работу местных отсосов.

Применение различных типов воздуховыпускных устройств позволяет в широких пределах изменять интенсивность перемешивания подаваемого воздуха с окружающим. Для увеличения рабочей разности температур на истечении следует применять устройства, обеспечивающие наиболее быстрое перемешивание подаваемого воздуха с воздухом помещения. К таким устройствам относятся воздухораспределители различных типов, создающие веерные струи (в том числе и воздухораспределители с закручивающимися устройствами), перфорированные панели и т. п.

В тех случаях, когда необходимо сохранить температуру и чистоту подаваемого воздуха, целесообразно использовать устройства со сравнительно малой эжектирующей способностью (например, устройства для выпуска воздуха через перфорированную поверхность с сотами, создающими малотурбулентный поток).

Следует иметь в виду, что в помещении определенных размеров в плане и по высоте требуемые параметры воздушной среды в рабочей зоне могут быть созданы при помощи различных выпускных устройств.

Предпочтительный выбор того или иного устройства, как уже отмечалось, определяется комплексом показателей и должен производиться на основе технико-экономических обоснований по приведенным затратам, включающим как капитальные, так и эксплуатационные расходы.

2.2. РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ИХ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В современных промышленных зданиях системы вентиляции и кондиционирования воздуха, как правило, совмещают и функции отопления. Так как в зависимости от времени года температура подаваемого воздуха существенно меняется и становится либо ниже (в теплый период года), либо выше (в холодный период года) температуры воздуха в помещении, происходит изменение направления действия гравитационных сил в струях приточного воздуха. Под действием этих сил может происходить нарушение расчетных схем циркуляции, представленных на рис. 1.8. Струи теплого воздуха, поданные сверху, могут не доходить до рабочей зоны, в результате чего образуются застойные зоны и снижается эффективность вентиляции. Эффект воздухораспределения снижается также, если горизонтально направленные струи теплого воздуха всплывают в верхнюю зону, не омывая рабочей зоны,

а струи холодного воздуха опускаются в рабочую зону не в заданном месте.

Для обеспечения расчетных схем воздухораспределения, представленных на рис. 1.8, необходимо не превышать предельные значения критерия Архимеда с учетом характерного размера вентилируемого помещения (табл. 2.1).

При выпуске воздуха вертикальными осесимметричными и плоскими струями характерным размером x , входящим в текущий критерий Архимеда Ar_x , является расстояние по вертикали от воздухораспределительного устройства до верха рабочей зоны ($H - h_{p.з}$).

В случае подачи охлажденного воздуха схема циркуляции в помещении сохраняется практически неизменной. Не меняется при этом и распределение скоростей и температур по площади рабочей зоны, хотя средняя подвижность воздуха в помещении возрастает.

Таблица 2.1

Способы подачи приточного воздуха в помещении	Выпуск охлажденного воздуха	Выпуск нагретого воздуха
Вертикально вниз осесимметричными или плоскими струями (см. рис. 1.8, б, в)	Схема циркуляции не зависит от Ar_x^*	$Ar_x \leq 0,5$ $x^{**} = H - h_{p.з}$
Горизонтально в верхнюю зону осесимметричными или плоскими настилающимися на потолок струями (см. рис. 1.8, г)	$Ar_x \leq 0,4$ $x = (0,8-1,0) B^{**}$	$Ar_x \leq 0,5$ $x = B + (H - h_{p.з})$
Горизонтально в рабочую зону осесимметричными или плоскими настилающимися на пол струями (см. рис. 1.8, а)	Схема циркуляции не зависит от Ar_x	$Ar_x \leq 0,4$ $x = (0,8 \div 1,0) B$
В верхнюю зону веерными струями (см. рис. 1.8, д)	$Ar_x \leq 0,2$ $x = (0,4 \div 0,5) B$	$Ar_x \leq 0,5$ $x = \frac{B}{2} + (H - h_{p.з})$
Сосредоточенно осесимметричными струями (см. рис. 1.8, ж, з)	$Ar_x \leq 0,2$ $x = x_{кр1} \approx 0,22 m \sqrt{F_{п}}$	

* Ar_x — критерий Архимеда, определяемый по формулам, приведенным в п. 1.3.

** B — ширина помещения (участка), обслуживаемого одним воздухораспределителем.

Другая картина наблюдается при выпуске нагретого воздуха. Схема циркуляции с омыванием рабочей зоны приточной струей сохраняется до того момента, пока текущий критерий Архимеда не достигает критического значения. При $Ar_x \geq 0,5$ струя теплого воздуха не доходит до рабочей зоны и в нижней части помещения образуется застойная область, что приводит к созданию значительных градиентов температуры по высоте, а при газовой выделениях может вызвать образование повышенных концентраций вредных веществ внизу помещения.

При горизонтальной подаче охлажденного воздуха струями, настилающимися на потолок (осесимметричными, плоскими, веерными), характерным при подсчете критерия Ar_x является расстояние от выпускного отверстия до противоположной стены. В тех случаях, когда отрыв струи происходит на расстоянии $x_{отр}$ от места истечения, равном $(0,8—1,0) l$, схема развития струи и создаваемых ею циркуляционных потоков близка к схеме развития струи без отрыва, т. е. струя по инерции достигает противоположной стены и затем опускается в рабочую зону помещения (здесь l — расстояние от выпускного устройства до противоположной стены).

При подаче теплого воздуха горизонтальными настилающимися струями расчетная схема движения, в соответствии с которой струя достигает противоположной выпускному отверстию стены и вдоль нее опускается в рабочую зону, может быть обеспечена при $Ar_x \leq 0,5$. За характерный размер, входящий в критерий Архимеда, для этого вида раздачи рекомендуется принимать всю длину пути движения струи от выпускного отверстия до верха рабочей зоны.

При сосредоточенной подаче нагретого или охлажденного воздуха схема циркуляции воздуха в помещении сохраняется такой же, как и при изотермическом истечении, если значения текущего критерия Архимеда не превышают 0,2. В этом случае за характерный размер помещения принимается расстояние до первого критического сечения $x_{кр1}$, определяемое по формуле (1.1).

Для возможности изменения направления струй приточного воздуха, что особенно желательно иметь в системах вентиляции и кондиционирования, совмещенных с воздушным отоплением, воздухораспределительные устройства рекомендуется снабжать соответствующими приспособлениями.

2.3. ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

В зависимости от формы образующейся струи воздухораспределители можно разделить на создающие осесимметричные, веерные, неполные веерные и плоские струи.

Воздухораспределители, образующие осесимметричные струи, обеспечивают наибольшую (по сравнению с другими выпускными

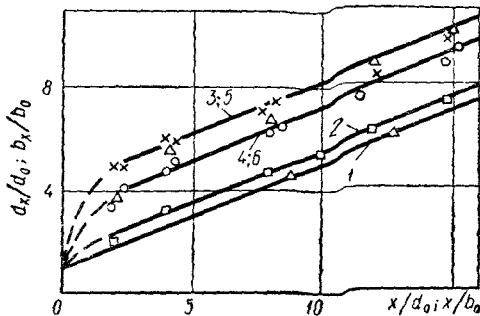


Рис. 2.1. Изменение ширины струи при истечении через различные воздухораспределительные устройства:

1 — цилиндрическая труба и прямоугольный перфорированный воздуховод

$$\left(\frac{d_x}{d_0} = 1 + 0,44 \frac{x}{d_0} \right);$$

$$\frac{b_x}{b_0} = 1 + 0,44 \frac{x}{b_0};$$

$$2 \rightarrow \text{ВДПМ-III} \left(\frac{d_x}{d_0} = 1,5 + 0,44 \frac{x}{d_0} \right);$$

3 — ВДПМ-III — с глухим диском

$$\left[\frac{d_x}{d_0} = 5 + 0,44 \left(\frac{x}{d_0} - 2 \right) \right];$$

$$4 \rightarrow \text{ВДПМ-III с перфорированным диском} \left[\frac{d_x}{d_0} = 4 + 0,44 \left(\frac{x}{d_0} - 2 \right) \right];$$

$$5 \rightarrow \text{ВДПМ-I} \left[\frac{d_x}{d_0} = 5 + 0,44 \left(\frac{x}{d_0} - 2 \right) \right];$$

$$6 \rightarrow \text{круглый перфорированный воздуховод} \left[\frac{b_x}{b_0} = 4 + 0,44 \left(\frac{x}{b_0} - 2 \right) \right];$$

устройствами, имеющими одинаковую площадь на истечении) дальностью струи. К этой группе относятся поворотный воздухораспределитель типа ПП, воздухораспределитель «Сантех-проекта», типа ВГК, воздухораспределитель для воздушного душирования типа ППД, патрубки В. В. Батурина и ряд других.

Осесимметричные струи с увеличенным углом расширения создают воздухораспределители типа ВДПМ-I и ВДПМ-III (при установке глухого диска внутри диффузора) и др. К этой группе следует отнести также и пристенный воздухораспределитель типа ВП, предназначенный для подачи приточного воздуха в рабочую зону. Выпуск воздуха из этого насадка осуществляется в три стороны осесимметричными струями.

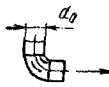
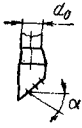
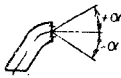
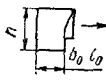
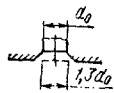
Осесимметричные закрученные струи образуются при выпуске воздуха через воздухораспределитель ВЭС.

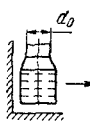
Материалы, характеризующие изменение относительного диаметра d_x/d_0 или относительной ширины b_x/b_0 струй, истекающих через различные воздухораспределители, даны на рис. 2.1. Значение коэффициентов m , n и ξ некоторых воздухораспределителей приведены в табл. 2.2.

Воздухораспределители, образующие веерные струи, обеспечивают наиболее интенсивное смешение подаваемого воздуха с окружающим. При одинаковой площади выхода веерные струи имеют поверхность турбулентного обмена, в несколько раз превышающую таковую у осесимметричных струй.

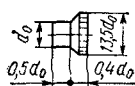
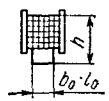
В вентиляционно-отопительной технике находят применение плафоны, одновременно образующие веерные и осесимметричные струи. Их применяют в помещениях незначительной высоты, в которые необходимо подавать большие объемы воздуха, обеспечивая быстрое перемешивание его с окружающим воздухом.

Характеристика воздухоораспределителей

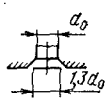
№ пози- ции	Тип воздухоораспределителя	Схема воздухо- ораспределителя	Коэффициенты		
			m	n	ξ
Подача осесимметричными (компактными) струями					
1	Цилиндрическая труба		6,8	4,8	1,1
2	Решетки перфорированные, сетки, решетки $k_{ж.с} = 0,5 \div 0,8$ $k_{ж.с} = 0,5 \div 0,2$ $k_{ж.с} = 0,05 \div 0,2$		6,0 5,6 4,6	4,2 4,0 3,6	1,8 1,8 1,8
3	Поворотный патрубок типа ПП		6,6	4,5	1,1
4	Поворотный воздухоораспреде- литель типа ППД		6,6	4,5	1,2
5	Душирующий патрубок Бату- рина с верхним подводом ПД: $\alpha = 30^\circ$ $\alpha = 45^\circ$ $\alpha = 60^\circ$		5,8 5,1 4,0	4,0 3,5 2,8	5,2 2,6 2,0
6	То же с нижним подводом $\alpha = \pm 20^\circ$		4,5	3,2	2,8
7	Воздухоораспределитель ти- па ВГК		6,2	5,1	1,9
8	Воздухоораспределитель ВДПМ-1: $k_{ж.с} = 0,4$ $k_{ж.с} = 0,4$ (с центральным отверстием 0,3)		1,5 1,7	3,2 4,5	1,5 1,4
9	Воздухоораспределитель ВДПМ-III ($b/d_0 = -0,01$): $k_{ж.с} = 0,4$ $k_{ж.с} = 0,3$ $k_{ж.с} = 0,2$ $k_{ж.с} = 0$		1,8 2,5 3,2 3,6	3,6 3,4 3,2 2,9	1,5 2,0 2,5 3,1

№ позиции	Тип воздухо-распределителя	Схема воздухо-распределителя	Коэффициенты		
			m	n	κ
10	Воздухораспределитель при-стенный типа ВП: $2 \leq \frac{x}{\sqrt{F_0}} < 7$ $7 \leq \frac{x}{\sqrt{F_0}} < 9$ $\frac{x}{\sqrt{F_0}} \geq 9$		0,7	1,5	0,7
			0,9	2,2	
			1,1	2,6	

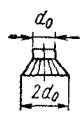
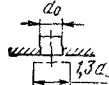
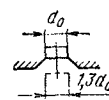
Подача неполными веерными струями

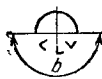
11	Воздухораспределитель с регулируемым направлением потока		1,9	1,7	1,0
12	Воздухораспределитель при-колонный, регулируемый ти-па НРВ		2,0	1,4	4,0
13	Воздухораспределитель ти-па ВГВ		1,1	1,8	1,7

Подача веерными струями

14	Воздухораспределитель ВДПМ-III с глухим диском ($b/d_0 = 0,05$)		1,1	1,0	1,9
----	---	--	-----	-----	-----

Подача веерными и осесимметричными струями

			m_b	m_c	n_b	n_0
15	Шестидиффузорный плафон		1,2	1,0	1,6	1,0
16	Воздухораспределитель ВДПМ-II ($b/d_0 = 0,3$): $k_{ж.с} = 0,2$		1,0	0,7	0,9	1,5
17	Воздухораспределитель ВДПМ-III ($b/d_0 = 0,05$): $k_{ж.с} = 0,2$ $k_{ж.с} = 0,3$ $k_{ж.с} = 0,4$		0,9	0,6	0,8	1,2
			0,8	1,1	0,7	2,3
			0,7	1,2	0,6	2,4

№ позиции	Тип воздухо-распределителя	Схема воздухо-распределителя	Коэффициенты		
			m	n	ξ
Подача плоскими струями					
18	Прямоугольное щелевое отверстие		2,5	2,0	(при x < 6l₀)
19	Воздуховод перфорированный прямоугольный		2,1	1,7	2,4
20	Воздуховод перфорированный круглый ВПК		0,5	1,5	2,4
Подача закрученными струями					
21	Воздухораспределитель ВЭС:				
	$3 \leq \frac{x}{\sqrt{F_0}} \leq 8$		1,9	1,7	—
	$8 \leq \frac{x}{\sqrt{F_0}} \leq 14$		2,5	2,4	5,2
	$\frac{x}{\sqrt{F_0}} \geq 14$		2,8	2,7	—

К таким конструкциям относятся многодиффузорный плафон типа ВДШ, воздухо-распределители ВДПМ-II, ВДПМ-III при установке перфорированного диска вне диффузора и др.

Неполные веерные струи образуются при выпуске воздуха через веерные решетки. В этом случае угол принудительного расширения струи приблизительно равен углу, образованному крайними лопатками (см. табл. 2.2., поз. 11, 12, 13).

В воздухо-распределителях, образующих плоские струи, плоскими условно считают струи, истекающие из вытянутых прямоугольных отверстий конечных размеров.

В табл. 2.2 приведены некоторые воздухо-распределители, образующие плоские струи. Плоские на истечении струи образуются, например, при выпуске воздуха через перфорированные воздуховоды прямоугольного и круглого сечений. Максимальная скорость и избыточная температура в струе при выходе воздуха через перфорированные воздуховоды определяется по формулам

$$\frac{v_x}{v_0 \sqrt{k_{ж.с}}} = m \sqrt{\frac{b_0}{x}}; \quad (2.1)$$

$$\frac{\Delta t_x}{\Delta t_0 \sqrt{k_{ж.с}}} = n \sqrt{\frac{b_0}{x}}, \quad (2.2)$$

где $k_{ж.с}$ — коэффициент живого сечения.

Плоские на истечении струи образуются также и при выпуске воздуха через каналы прямоугольного сечения с продольной щелью постоянной ширины.

2.4. РАЗДАЧА ВОЗДУХА СВЕРХУ В НАПРАВЛЕНИИ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ

Раздача воздуха сверху в направлении рабочей зоны — наиболее распространенный способ раздачи приточного воздуха. При этом способе раздачи приточные струи поступают в рабочую зону вертикально сверху и тогда в помещениях с равномерно распределенными тепловыделениями (помещения 1-го класса) имеет место циркуляция воздуха, схематически показанная на рис. 1.8, в—е.

Приточная струя поступает в рабочую зону, омывает ее, ассимилируя теплопоступления, разворачивается и в виде обратного потока выходит из рабочей зоны, а затем идет на подпитку основного струйного движения.

При описанной схеме циркуляции через верхний уровень рабочей зоны проходит количество воздуха, равное сумме расходов в струе и в обратном потоке.

Если вытяжные отверстия расположены в верхней зоне, то эти расходы равны, и средняя скорость воздуха в расчетном сечении рабочей зоны $v_{p,z}$ может быть определена по формуле

$$v_{p,z} = \frac{2L_{стр}}{F_{п}} = 2v_{стр} \frac{F_{стр}}{F_{п}}, \quad (2.3)$$

где $L_{стр}$ и $v_{стр}$ — расход воздуха (m^3/c) и средняя скорость в струе в месте поступления ее в рабочую зону; $F_{стр}$ — площадь свободной струи в месте поступления ее в рабочую зону (определяется с помощью данных, приведенных на рис. 2.1), m^2 ; $F_{п}$ — площадь пола, обслуживаемая одним воздухораспределителем, m^2 .

Средняя температура воздуха в плоскости верхнего уровня рабочей зоны $t_{p,z}$ определяется из уравнения теплового баланса

$$t_{p,z} = t_{стр} + \frac{Q_{p,z}}{cL_{стр}} \left(1 - \frac{F_{стр}}{F_{п}} \right), \quad (2.4)$$

где $Q_{p,z}$ — тепловыделения в рабочей зоне, ккал/ч.

Значение $k_{эф}$ при этом способе подачи может быть определено по формуле (1.34).

Для обоснованного выбора способа раздачи приточного воздуха необходимо располагать данными, характеризующими степень равномерности распределения скоростей и температур по площади рабочей зоны.

Распределение скоростей и температур по площади рабочей зоны помещения принято оценивать безразмерными величинами

Рис. 2.2. Значения коэффициентов неравномерности по скорости k_v и температуре k_t

нами — коэффициентами неравномерности по скорости k_v и температуре k_t :

$$k_v = \frac{\sigma_v}{v_{p.з}}; \quad (2.5)$$

$$k_t = \frac{\sigma_t}{t_{p.з} - t_{стр}}. \quad (2.6)$$

В этих формулах $t_{p.з}$, $v_{p.з}$ — средние значения температуры и скорости воздуха в рабочей зоне помещения; $t_{стр}$ — средняя температура в струе воздуха в месте его внедрения в рабочую зону (при подаче воздуха в рабочую зону сверху);

$$\sigma_v = \sqrt{\frac{\sum (v_i - v_{p.з})^2}{N-1}}$$

— среднеквадратичное отклонение скорости;

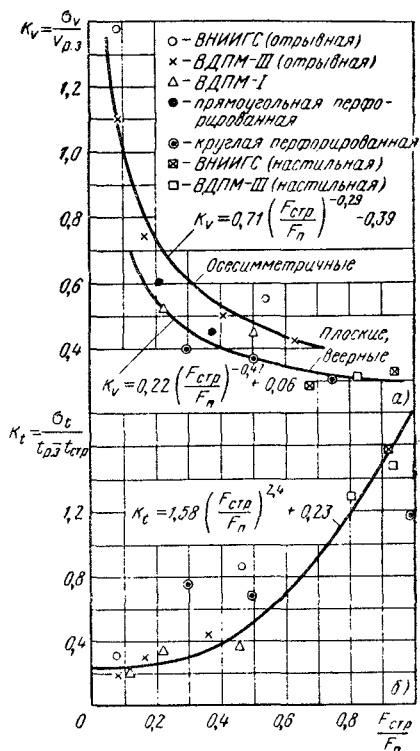
$$\sigma_t = \sqrt{\frac{\sum (t_i - t_{p.з})^2}{N-1}}$$

— среднее квадратичное отклонение температуры; где v_i , t_i — локальные значения скоростей и температур; N — количество точек замеров (обычно не менее 25).

Значение коэффициентов неравномерности по скорости k_v (рис. 2.2, а) и температуре k_t (рис. 2.2, б) при подаче воздуха, имеющего температуру ниже температуры воздуха в рабочей зоне ($t_0 < t_{p.з}$) представлены на рис. 2.2.

С увеличением относительной площади струи $\frac{F_{стр}}{F_n}$ значение k_v сначала сравнительно быстро уменьшается, а начиная с $\frac{F_{стр}}{F_n} = 0,5$, когда заканчивается процесс эжектирования струей окружающего воздуха, практически остается неизменным.

Значение коэффициента неравномерности по скорости осесимметричных струй несколько выше, чем для плоских и веерных струй (при сохранении характера изменения k_v), что объясняется, по-видимому, различным соотношением максимальных и средних скоростей в струях.



Влияние параметра $\frac{F_{\text{стр}}}{F_{\Pi}}$ на равномерность распределения температур сказывается совершенно по-другому.

При значениях относительной площади поступающей в рабочую зону струи до 0,4—0,5 коэффициент неравномерности по температуре k_t сохраняется практически постоянным (см. рис. 2.2), а затем, когда резко ухудшаются условия смещения струи с окружающим воздухом ($\frac{F_{\text{стр}}}{F_{\Pi}} > 0,5$), существенно возрастает. Объясняется это тем, что ухудшение условий подпитки способствует сохранению контрастов между температурами в струе и в окружающем пространстве, а главное при $\frac{F_{\text{стр}}}{F_{\Pi}} > 0,5$ струя охлажденного воздуха становится менее устойчивой и поэтому более вероятен ее снос в каком-то одном направлении, сопровождающийся образованием нежелательных горизонтальных течений воздуха вдоль источников тепловыделений.

Для обеспечения наиболее равномерного распределения скоростей и температур в рабочей зоне систему воздухоподдачи следует проектировать таким образом, чтобы величина параметра $\frac{F_{\text{стр}}}{F_{\Pi}}$ находилась в диапазоне оптимальных значений:

$$\frac{F_{\text{стр}}}{F_{\Pi}} = \frac{l^2}{m_{\text{ср}} n_{\text{ср}}} = 0,2 - 0,5, \quad (2.7)$$

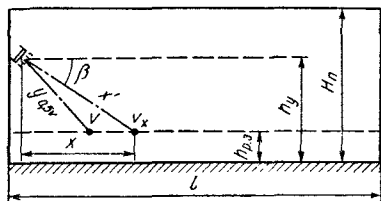
где $m_{\text{ср}}$, $n_{\text{ср}}$ — коэффициенты, характеризующие интенсивность затухания скорости и температуры воздуха по длине струи и отнесенные к средним скоростям и разностям температур в струе; $m_{\text{ср}} = 0,3m$, $n_{\text{ср}} = 0,4n$ — для осесимметричных струй; $m_{\text{ср}} = 0,5m$, $n_{\text{ср}} = 0,6n$ — для плоских и веерных струй; l — безразмерный параметр ($l = \frac{x}{\sqrt{F_{\Pi}}}$ — для осесимметричных и веерных струй; $l = \frac{x}{\sqrt{B_{\Pi}}}$ — для плоских струй, где B_{Π} — ширина помещения или ячейки помещения).

В последнее время находит применение раздача приточного воздуха под углом в направлении рабочей зоны (рис. 2.3). Такой вид раздачи осуществляется с помощью воздухораспределителя типа ВЭС (табл. 2.2, поз. 21) или воздухораспределителя с регулируемым направлением потока (табл. 2.2, поз. 11), обладающего определенными преимуществами малый коэффициент местного сопротивления и возможность изменения направления струи приточного воздуха).

При расчете раздачи через воздухораспределитель с регулируемым направлением потока рекомендуется исходить из следующего.

Расстояние по горизонтали от выпускного устройства до места внедрения струи в рабочую зону x должно составлять 30—40% длины l обслуживаемого данным воздухораспределителем поме-

Рис. 2.3. Схема струи, направленной под углом к рабочей зоне



щения (или части помещения), т. е. $x/l = 0,3 \div 0,4$ (рис. 2.3). Расстояние от воздухораспределителя до места внедрения струи в рабочую зону x' рекомендуется принимать в пределах $x' = (0,5 \div 2) B$, где B — ширина обслуживаемой части помещения.

Угол наклона насадка к горизонту β не должен превышать 30° . Учитывая возможность регулирования направления струи, расчет представляется возможным вести по средним скоростям в струе, т. е. $v_x = 2v_{\text{ср}}$. С целью исключения возможности поступления струи в рабочую зону со скоростями v , превышающими v_x (см. рис. 2 и 3), определяется минимальная высота установки h_y воздухораспределителя по формуле $h_y = h_{p.з} + 0,12x'$.

Значение критерия Архимеда, подсчитанного по формуле (1.9) рекомендуется в пределах 0,4. За характерный размер при таком виде раздачи рекомендуется принимать $0,7x'$.

2.5. ПОДАЧА ВОЗДУХА НЕПОСРЕДСТВЕННО В РАБОЧУЮ ЗОНУ

Относительная величина средней скорости в рабочей зоне помещения $v_{\text{ср}}/v_0$ с увеличением относительной площади помещения, обслуживаемой одним воздухораспределителем $\sqrt{F_p}/\sqrt{F_0}$, имеет тенденцию уменьшаться (рис. 2.4). При этом степень неравномерности распределения скоростей, характеризуемая величиной $k_v = \frac{\sigma_v}{v_{\text{ср}}}$, возрастает.

Коэффициент неравномерности по температуре k_t в помещениях с равномерным расположением источников тепловыделений при выпуске воздуха через воздухораспределитель ВП составляет 0,15 (при $\frac{\sqrt{F_p}}{d_0} = 10 - 25$).

Такие же скоростные и температурные характеристики, как и воздухораспределители ВП, имеют полочные воздухораспреде-

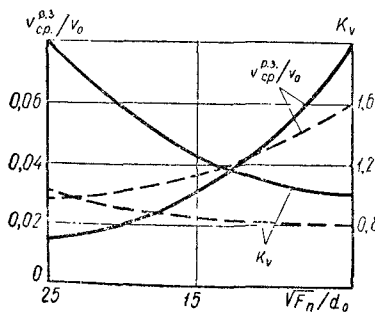


Рис. 2.4. Характеристики равномерности распределения скоростей и температур при подаче приточного воздуха непосредственно в рабочую зону:

— — — выпуск через воздухораспределитель ВП; — — — выпуск через воздухораспределитель ВЭП

лители, которые хотя и не являются типовыми, но до настоящего времени достаточно широко применяются на машиностроительных заводах.

При выпуске воздуха через воздухораспределитель ВЭП (воздухораспределитель эжекционный пристенный) образуется веерная струя, имеющая более высокую, чем при выпуске через ВП, интенсивность падения скоростей и температур. При этом относительная средняя подвижность воздуха в рабочей зоне (по сравнению с раздачей через ВП) уменьшается, а неравномерность увеличивается (см. рис. 2.3).

2.6. СОСРЕДОТОЧЕННАЯ ПОДАЧА ВОЗДУХА

При сосредоточенной подаче воздуха максимальная длина l_n , обслуживаемая одним воздухораспределителем, должна равняться максимальной дальнобойности стесненной струи, определяемой по формуле (1.5).

При соотношениях $l_n = (0,7 \div 1,0) x_{\max}$ максимальная скорость в рабочей зоне располагается во втором критическом сечении, т. е. на расстоянии $x_{кр_2} = 0,31m \sqrt{F_n}$. Максимальные же разности температур наблюдаются в рабочей зоне вблизи стены, противоположной выпускному устройству.

Величина максимальных разностей температур при относительно равномерном распределении источников тепловыделения в рабочей зоне ориентировочно может быть определена из выражения

$$\Delta t_{\max} = 2,5 \Delta t_0 \frac{\sqrt{F_0}}{\sqrt{F_n}}. \quad (2.8)$$

Максимальная скорость в обратном потоке, омывающем рабочую зону, при сосредоточенной подаче

$$v_{\text{обр. max}} = 0,78 v_0 \frac{F_0}{\sqrt{F_n}}. \quad (2.9)$$

Средняя скорость (подвижность) воздуха в рабочей зоне помещения при сосредоточенной подаче связана с максимальной скоростью в обратном потоке зависимостью

$$v_{\text{ср}} = (0,5 \div 0,6) v_{\text{обр. max}}. \quad (2.10)$$

Степень равномерности распределения скоростей по площади рабочей зоны характеризуется соотношением

$$\sigma_v = (0,4 \div 0,5) v_{\text{ср}}. \quad (2.11)$$

При меньшей длине обслуживаемого участка помещения [в пределах $l_n = (0,7 \div 1,0) x_{\max}$] относительные средние скорости и степень равномерности распределения скоростей не-

сколько выше. Бóльшее значение коэффициента в формуле (2.10) и меньшее в формуле (2.11) соответствуют случаю, когда $l_{\text{н}} = 0,7x_{\text{max}}$.

Величина коэффициента неравномерности по температуре $k_t = \frac{\sigma_t}{t_{\text{yx}} - t_0}$ при сосредоточенной подаче и относительно равномерном размещении источников тепловыделений в рабочей зоне равна $\sim 0,1$, т. е.

$$\sigma_t = 0,1 \Delta t_0. \quad (2.12)$$

2.7. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ВОЗДУХОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Приточные воздухораспределительные устройства выбираются и рассчитываются таким образом, чтобы возникающие в помещениях струйные течения или индуцируемые ими обратные потоки не создавали в рабочей зоне скоростей, превышающих допустимые. Верхний предел допускаемых скоростей движения воздуха в помещениях $v_{\text{норм}}$, соответствующих той или иной нормируемой температуре $t_{\text{норм}}$, в зависимости от вида работ и периода года (холодный или теплый) принимается согласно Санитарным нормам СН 245—71. Допускаемые отклонения температуры от средней температуры в рабочей зоне помещения $\Delta t_{\text{доп}} = t_x - t_{\text{р.з}}$ в санитарных нормах не регламентируются и если для технологического процесса не требуется особых условий воздушной среды, эти отклонения могут приниматься равными: $\Delta t_{\text{доп}} = \pm 2^\circ \text{C}$ — для систем промышленной вентиляции; $\Delta t_{\text{доп}} = \pm 1^\circ \text{C}$ — для систем кондиционирования воздуха.

Следует различать два возможных варианта расчета систем воздухораспределения:

а) расчет по прямому потоку, когда максимальные скорость и перепад температур в рабочей зоне создаются приточными струями;

б) расчет по обратному потоку, когда максимальная скорость в рабочей зоне создается обратным потоком, индуцированным приточной струей.

При расчете распределения приточного воздуха за нормируемую скорость и допускаемую разность температур следует принимать:

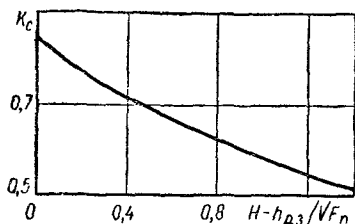
а) при расчете по прямому потоку и расположении постоянных рабочих мест в зоне непосредственного воздействия приточных струй — осевые (максимальные) скорости v_x и разности температур Δt_x , т. е.

$$v_{\text{норм}} = v_x; \quad \Delta t_{\text{доп}} = \Delta t_x;$$

б) при расчете по прямому потоку и расположении постоянных рабочих мест вне пределов прямого воздействия приточных струй

$$v_{\text{норм}} = 0,5v_x, \quad \Delta t_{\text{доп}} = 0,5 \Delta t_x.$$

Рис. 2.5. Коэффициент стеснения для веерных струй



Согласно СНиП II-33—75 зона прямого воздействия струи определяется поперечным сечением струи, в пределах которого скорости движения воздуха в струе могут колебаться от максимальной v_x до $0,5v_x$, т. е. в пределах $y_{0,5v}$.

Расчет по прямому потоку. Расчет по прямому потоку производится в следующей последовательности:

а) определяется (при заданной v_x) скорость истечения воздуха из приточного насадка по формулам:

для осесимметричных и веерных струй

$$v_0 = \frac{v_x x}{m \sqrt{F_0 k_{B3} k_B k_a}}; \quad (2.13)$$

для плоских струй

$$v_0 = \frac{v_x \sqrt{x}}{m \sqrt{b_0 k_{B3} k_B k_c}}. \quad (2.14)$$

Расчетное расстояние x определяется в соответствии с рис. 1.8. Величины коэффициентов m приведены в табл. 2.2. Величины k_c , k_B и k_{B3} для осесимметричных и плоских струй определяются соответственно по формулам, приведенным в гл. 1, или по графикам на рис. 1.4, 1.5, 1.6. Коэффициент стеснения веерных струй может быть определен по графику на рис. 2.5. В том случае, когда заданы условия на истечении (v_0 , F_0), производится проверочный расчет и определяется максимальная скорость в рабочей зоне помещения v_x ;

б) определяется количество приточного воздуха, подаваемого одним воздухораспределителем L_0 , и требуемое количество воздухораспределителей z :

$$L_0 = 3600 v_0 F_0; \quad (2.15)$$

$$z = \frac{L_{\text{сум}}}{L_0}; \quad (2.16)$$

здесь F_0 — площадь подводящего патрубка воздухораспределителя, м^2 ; $L_{\text{сум}}$ — суммарный объем приточного воздуха, подаваемого в помещение, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Если полученное в результате расчета количество воздухораспределителей принятого типа и размера не представляется возможным установить в данном помещении, то выбирается другой тип или размер воздухораспределительного устройства;

в) определяется максимальная разность температур в месте проникновения струи в рабочую зону по формулам:
для осесимметричных и веерных струй

$$\Delta t_x = \frac{n \Delta t_0 \sqrt{F_0}}{x} \frac{k_{вз}}{k_H k_c}; \quad (2.17)$$

для плоских струй

$$\Delta t_x = \frac{n \Delta t_0 \sqrt{B_0}}{x} \frac{k_{вз}}{k_H k_c}. \quad (2.18)$$

Величины коэффициентов n принимаются по табл. 2.2. При необходимости оценить степень равномерности распределения скоростей и температур по площади рабочей зоны помещения необходимо расчет продолжить и воспользоваться данными, приведенными в п. 6.

В тех случаях, когда выпуск воздуха осуществляется через воздуховоды с продольной щелью в боковой стене или перфорированной боковой поверхностью, необходимо рассчитывать такие воздуховоды на заданную степень равномерности раздачи приточного воздуха и на обеспечение нормального к оси канала направления выходящего из отверстия потока.

Угол выхода потока β из отверстия без козырька может быть определен по формуле

$$\beta = \arctg \sqrt{\frac{p_{ст}}{p_{ск}}}, \quad (2.19)$$

где $p_{ст}$ и $p_{ск}$ — соответственно статическое и скоростное давление в канале перед отверстием.

При выпуске воздуха через отверстие, снабженное козырьком, угол выхода β резко увеличивается (рис. 2.6).

Расчет воздуховодов на заданную степень равномерности раздачи производится по номограмме, приведенной на рис. 2.7. Как

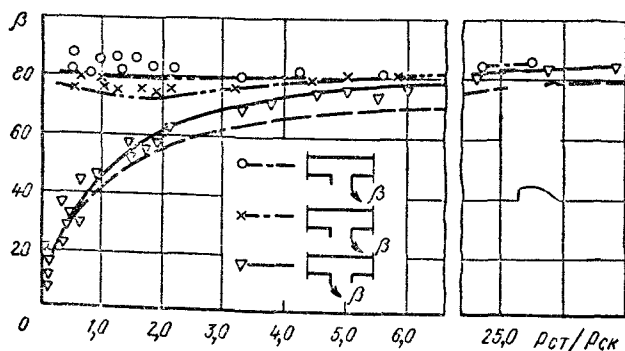


Рис. 2.6. Направление воздушного потока, истекающего из отверстия в боковой стенке канала

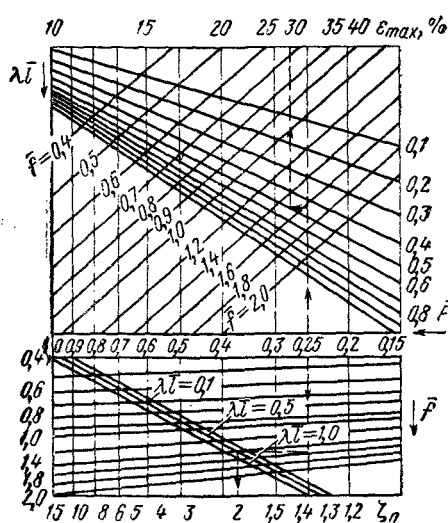


Рис. 2.7. Номограмма для расчета воздухопроводов с отверстиями в боковой стенке

видно из номограммы, неравномерность раздачи воздуха из отверстий $\varepsilon_{\max}$ и сопротивление воздухопровода ζ зависят от следующих параметров канала: относительной площади выхода воздуха $\bar{f} = \sum f_{\text{отв}}/F_n$, формы канала $\bar{F} = F_k/F_n$, относительной длины канала $\lambda \bar{l} = \lambda l/d_n$; здесь $\sum f_{\text{отв}}$ — суммарная площадь боковых отверстий в воздуховоде, м^2 ; F_k и F_n — соответственно площади в конце и начале канала

(по ходу движения воздуха), м^2 ; λ — коэффициент трения; l — длина воздуховода, м ; d_n — диаметр (или эквивалентный диаметр) начального сечения воздуховода, м .

Примеры расчета воздухоораздачи по прямому потоку через воздухоораспределители различного типа приведены в следующих главах: в гл. 9 — подача воздуха через воздухоораспределитель с регулируемым направлением потока, в гл. 12 — подача воздуха через плафоны и в гл. 10 — через перфорированные панели.

Расчет по обратному потоку. Рекомендуемый порядок расчета сосредоточенной раздачи воздуха следующий:

а) в соответствии с требованиями Санитарных норм СН 245—71 принимается допускаемая максимальная скорость воздуха в рабочей зоне помещения $v_{\text{обр. max}}$;

б) выбирается тип воздухоораспределителя, характеризуемого определенными значениями m , n и ζ ;

в) намечается схема расположения воздухоораспределителей в плане и по высоте цеха, исходя из условия заполнения рабочей зоны обратным потоком, при этом ширина помещения B_n , приходящаяся на одну струю, должна быть:

$$\text{при } \frac{\sqrt{F_n}}{\sqrt{F_0}} \geq 22 \quad B_n \leq 3,5 H_n;$$

$$\text{при } 22 > \frac{\sqrt{F_n}}{\sqrt{F_0}} > 11 \quad B_n \leq 2,5 H_n;$$

$$\text{при } 11 > \frac{\sqrt{F_n}}{\sqrt{F_0}} > 5 \quad B_n \leq 1,5 H_n;$$

г) схема размещения воздухораспределителей определяет их количество z и длину участка помещения l_n , обслуживаемого одним воздухораспределителем. При расстановке приточных патрубков необходимо учитывать следующее условие: $l_n = (0,7 \div 1,0) x_{\max}$;

д) определяется объем воздуха, подаваемого одним воздухо-распределителем

$$L_0 = \frac{L_{\text{сум}}}{z}; \quad (2.20)$$

е) подсчитывается диаметр воздухораспределителя

$$\sqrt{F_0} = \frac{0,78 L_0}{v_x \sqrt{F_n}}; \quad (2.21)$$

ж) определяется расстояние от выпускного устройства до второго критического сечения

$$x_{kp_2} = 0,31 m \sqrt{F_n}; \quad (2.22)$$

з) вычисляется сопротивление воздухораспределителя

$$\Delta p = \zeta \frac{v_0^2 \gamma}{2g}; \quad (2.23)$$

и) при использовании приточной системы в качестве отопительной подсчитывается температурный перепад, обеспечивающий подачу расчетного количества тепла

$$\Delta t_0 = \frac{Q}{L_{\text{сум}} \gamma}; \quad (2.24)$$

к) определяется для принятых условий выпуска воздуха максимальное допустимое значение температурного перепада $\Delta t_{\text{доп}}$ (°C) исходя из условия $Ar_x \leq 0,2$, исключающего всплытие нагретого воздуха в верхнюю зону помещения:

$$\Delta t_{\text{доп}} \leq \frac{130 v_0^2 \sqrt{F_0}}{n F_n}; \quad (2.25)$$

л) в случаях, если $\Delta t_0 > \Delta t_{\text{доп}}$, часть тепловой нагрузки снимается с приточной системы и компенсируется воздушно-отопительными агрегатами.

При необходимости средняя скорость и степень равномерности распределения скоростей в рабочей зоне при сосредоточенной подаче могут быть соответственно определены по формулам (2.10) и (2.11), а максимальная разность температур и степень равномерности распределения температур по формулам (2.8) и (2.12).

МЕСТНАЯ ПРИТОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

3.1. ВОЗДУШНЫЕ ДУШИ

Для поддержания в заданном пространстве рабочей зоны условий воздушной среды, отличающихся от окружающей, в вентиляционно-отопительной технике применяют ряд методов: метод воздушного душирования, ниспадающего потока, воздушного оазиса, метод «затопления», участка рабочей зоны свежим воздухом.

Воздушные души представляют собой направленный на человека с повышенными скоростями поток воздуха. Направление потока горизонтальное или сверху под углом 45° .

Воздушные души применяются, как правило, в горячих цехах при значительном тепловом облучении работающего (более $300 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$). Они могут применяться также и при борьбе с конвективным теплом для поддержания на рабочих местах нормируемых параметров воздушной среды. Благодаря движению воздуха увеличивается теплоотдача тела, что особенно важно в условиях теплового облучения. Для усиления теплоотдачи, кроме того, применяют воздух пониженной (по сравнению с окружающей средой) температуры.

Ширина душирующей струи на рабочем месте принимается порядка $1\text{--}1,2 \text{ м}$, кроме тех случаев, когда методом воздушного душирования обслуживается участок рабочей зоны значительных размеров.

Рекомендуемые температуры и скорость движения воздуха на рабочих местах при воздушном душировании (согласно СН 245—71) приведены в табл. 3.1. Согласно СНиП II.33—75 приведенная в табл. 3.1 нормируемая скорость соответствует максимальной скорости в струе на уровне груди работающего.

Повышение только подвижности воздуха, забираемого из цеха, может быть обеспечено путем применения передвижных агрегатов с осевыми вентиляторами. В настоящее время для этой цели используют агрегаты ВА-1, ВА-2 и ВА-3 (серия ОВ-02-134).

Для обслуживания площадок, на которых работает несколько человек, применяют агрегаты ПАМ-24 Старооскольского механического завода.

Нормы температур и скоростей движения воздуха при воздушном душировании

Периоды года	Категория работы	Тепловое облучение, ккал/м ² .ч									
		От 300 до 600		Более 600 до 1200		Более 1200 до 1800		Более 1800 до 2400		2400 и более	
		Температура воздуха, °C	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °C	Скорость движения воздуха, м/с
Теплый (температура наружного воздуха +10° C и выше)	Легкая	22—24	0,5—1,0	21—23	0,7—1,5	20—22	1,0—2,0	19—22	2,0—3,0	19—20	2,5—3,5
	Средней тяжести	21—23	0,7—1,5	20—22	1,5—2,0	19—21	1,5—2,5	18—21	2,0—3,5	18—19	3,0—3,5
	Тяжелая	20—22	1,0—2,0	19—21	1,5—2,5	18—20	2,0—3,0	18—19	3,0—3,5	18—19	3,0—3,5
Холодный и переходный (температура наружного воздуха ниже +10° C)	Легкая	22—23	0,5—0,7	21—22	0,5—1,0	20—21	1,0—1,5	19—22	1,5—2,0	19—22	1,5—2,0
	Средней тяжести	21—22	0,7—1,0	20—21	1,0—1,5	19—20	1,5—2,0	19—21	2,0—2,5	19—21	2,0—2,5
	Тяжелая	20—21	1,0—1,5	19—20	1,5—2,0	18—19	2,0—2,5	18—19	2,5—3,0	18—19	2,5—3,0

Примечания: 1. Интенсивность теплового облучения, указанная в табл. 3.1, определяется как средняя в течение 1 ч.

2. Направление воздушной струи при воздушном душировании рекомендуется предусматривать, как правило, на облучаемую поверхность тела.

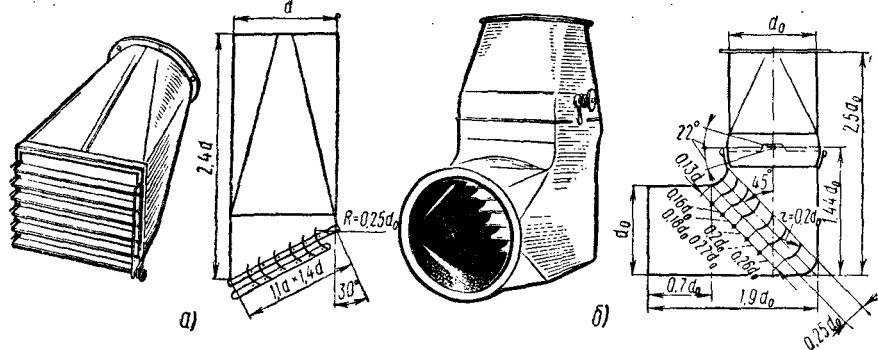


Рис. 3.1. Общий вид и схемы воздухораспределителей:

а — патрубок Батурина типа ПД; б — патрубок ЛИОТ типа ППД

Если нельзя достигнуть необходимых условий повышением скорости движения воздуха, то необходимо понижать температуру подаваемого воздуха. Это, как правило, осуществляется в стационарных установках: приточных камерах или кондиционерах. Для раздачи воздуха в этом случае используют патрубки В. В. Батурина с поворотными лопатками (типа ПД_в и ПД_н или поворотный патрубок ЛИОТ типа ППД). Общий вид и размеры этих патрубков показаны на рис. 3.1. Скоростные, температурные и энергетические характеристики патрубков приведены в табл. 2.2.

Расчет воздушных душей сводится к определению параметров потока на истечении (v_0 , Δt_0 , d_0) при заданных параметрах в струе (v_x , Δt_x , d_x) в плоскости обдува работающего и может быть произведен по формулам начального или основного участков струи, приведенным в табл. 1.1 и 1.2.

Расчет воздушных душей подробно изложен в [32].

3.2. НИСПАДАЮЩИЙ ПОТОК

Для обеспечения заданных параметров воздушной среды на фиксированных рабочих местах используется предложенный П. В. Участкиным метод ниспадающего потока. Сущность метода заключается в том, что на работающего сверху вниз подается свежий воздух со сравнительно малыми скоростями струей большого диаметра.

Верхняя часть тела человека находится в зоне начального участка струи и поэтому могут быть обеспечены параметры воздуха на рабочих местах, существенно отличающиеся от таковых во всем помещении. Ниспадающий поток может применяться не только для обеспечения заданных метеорологических условий, но и для уменьшения концентраций газа и пыли на рабочем месте.

Для выпуска воздуха рекомендован цилиндрический воздухо-распределитель ЛИОТ [32].

В связи с тем, что работающий находится на начальном участке ниспадающего потока, параметры на истечении воздуха из патрубка (скорость, температура, концентрация пыли или газа) назначаются в пределах допускаемых Санитарными нормами СН 245—71 на рабочих местах.

Ниспадающий поток устойчиво обеспечивает необходимые условия воздушной среды на рабочих местах при сравнительно малой подвижности воздуха ($v_{\text{окр}} \leq 0,3—0,4$ м/с). При более высоких скоростях движения воздушных потоков в помещении рекомендуется устройство ограждающих ширм. В противном случае имеется опасность размывания потока и нарушения вследствие этого заданных условий.

В последние годы [33] разработан способ местной приточной вентиляции рабочих мест ниспадающим потоком, применимый в условиях высокой подвижности окружающего воздуха (рис. 3.2). В этом случае выпуск воздуха осуществляется через насадок, представляющий собой кольцевое сопло шириною b_0 с перфорированной нижней стенкой ($k_{\text{ж.с.}} = 0,2 \div 0,3$) диаметром $d_0 = 0,8$ м. Вытекающая из сопла кольцевая струя создает узкий периферийный поток, отделяющий зону пребывания работающего от окружающей среды. В центральную часть этой струи подается кондиционированный воздух, создающий заданные на рабочем месте скорость, температуру и концентрации пыли и газов.

Соотношение расходов кольцевой периферийной струи и центрального потока воздуха должно гарантировать отсутствие возвратных токов от периферийной струи, контактирующей с окружающим воздухом. Возвратные токи ликвидируются, если расход воздуха L_0 , подаваемый в центральную часть насадка, достаточен для питания кольцевой струи с внутренней стороны.

При практическом расчете этого способа приточной вентиляции В. Д. Столером и Р. Р. Бикмулиным [33] рекомендуется выдерживать следующие условия:

$$a) v_{\text{окр}} < v_0 \leq 8v,$$

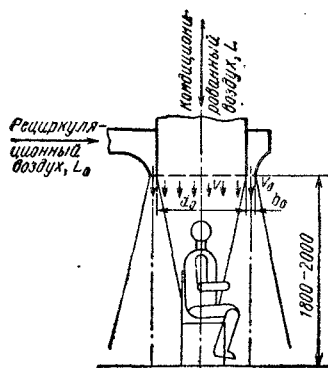
где $v_{\text{окр}}$ — скорость окружающего воздуха, м/с; v_0 — скорость на истечении в кольцевой струе, м/с; v — скорость в начальном участке центрального потока, м/с;

$$b) b_0 \geq 0,03H \left(\frac{v_{\text{окр}}}{v_0} \right)^2,$$

где H — высота установки воздухораспределителя, м.

Подробнее метод расчета такого способа местного притока изложен в [33].

Рис. 3.2. Вентиляция рабочего места ниспадающим потоком



3.3. «ЗАТОПЛЕНИЕ» УЧАСТКА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ПРИТОЧНЫМ ВОЗДУХОМ

Во ВНИИОТе в довоенные годы И. Г. Крыловым для применения в машинных залах тепловых электростанций был предложен метод затопления участка рабочей зоны охлажденным воздухом, подаваемым в выгороженное остекленными перегородками с трех сторон на высоту до 2 м пространство. В выгороженном пространстве создавались благоприятные условия труда. Такой способ приточной вентиляции называется воздушным оазисом.

Несмотря на экономическую эффективность данный способ местной приточной вентиляции не нашел достаточно широкого применения в промышленности из-за неудобств, связанных с устройством ограждающих перегородок.

В последнее время во ВНИИОТе предложен и исследован способ местной приточной вентиляции, обеспечивающий требуемые параметры воздушной среды на участке рабочей зоны без сооружения ограждающих перегородок. Суть способа заключается в затоплении участка рабочей зоны значительными объемами приточного воздуха, подаваемого через воздухоподающие устройства панельного типа больших размеров со скоростями и температурами, близкими к нормируемым величинам, без активного вовлечения в циркуляцию окружающего воздуха.

Наиболее эффективно использование метода «затопления» при необходимости поддержания заданных параметров воздушной среды на отдельных участках рабочей зоны цеха, например, для создания микроклимата у пультов управления, у загрузочных проемов печей, сушил и т. п.

Такой способ местной приточной вентиляции применим и в так называемых «чистых» комнатах для создания не во всем помещении, а на отдельных рабочих местах зон с требуемой по технологии чистотой воздуха.

Подача горизонтально направленного потока воздуха больших размеров со сравнительно малыми скоростями позволяет при производстве некоторых видов ручных операций (отдельные виды сварочных и окрасочных работ), при перемещении рабочего навстречу потоку находиться ему в атмосфере незагрязненного воздуха.

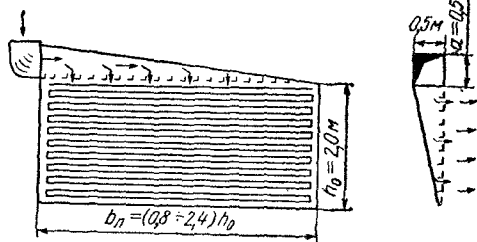
Для выпуска воздуха при таком методе местной приточной вентиляции рекомендуется применять пристенные панельные воздухораспределители типа ВПП (серия 4904—59) с щелевым оформлением воздухоподающей поверхности (рис. 3.3). Возможны варианты оформления воздухоподающей поверхности в виде перфорированных листов со значительным коэффициентом живого сечения ($k_{ж.с} = 0,2 \div 0,3$).

Наилучшие результаты получаются, если перфорированную панель сочетать со специальной сотовой приставкой, резко сни-

Рис. 3.3. Воздухораспре-
дитель пристенный панельный
типа ВПП

жающей эжектирующую способность образующегося потока [17].

Производительность панельных воздухораспределителей ВПП 10—20 тыс. м³/ч. Расчет этого способа раздачи сводится к определению размеров (ширины и длины) начального динамического и теплового участков в условиях настиления потока на поверхность пола. Метод расчета изложен в [17].



3.4. ВОЗДУШНЫЕ ЗАВЕСЫ

Воздушные завесы являются эффективным средством, уменьшающим или полностью предотвращающим перетекание воздуха через проем в ограждении при наличии перепадов давления [42].

Воздушные завесы создают сопротивления проходу воздуха через проем. Чем больше сопротивление, создаваемое проходу воздуха воздушной завесой, т. е. чем меньше коэффициент расхода, тем эффективнее ее работа.

Коэффициент расхода воздуха через проем при действии завесы ($\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi}}$) определяется по формуле

$$\mu = \frac{\sqrt{1 + 4\mu_0 q^2 Dk} - 1}{2q^2 Dk}, \quad (3.1)$$

где μ_0 — коэффициент расхода воздуха через проем при бездействии завесы; $q = \frac{G_3}{G_{np}}$ — отношение количества воздуха, подаваемого в завесу (G_3), к количеству воздуха, проходящего через проем (G_{np}) при действии завесы;

$$D = \frac{F_{ш}}{F_B} \frac{\gamma_{см}}{\gamma_3} \sin \alpha$$

(здесь $\frac{F_{ш}}{F_B}$ — отношение суммарной площади воздуховыпускных щелей воздушной завесы к площади проема (ворот); $\frac{\gamma_{см}}{\gamma_3}$ — отношение удельного веса воздуха, проходящего через проем (смесь воздуха завесы и наружного), к удельному весу воздуха, подаваемого в завесу; α — угол между направлением выхода струи завесы и плоскостью проема (ворот); k — опытный попра-

вочный коэффициент; для односторонних завес в пределах $0,3 < q \sqrt{D} < 10$ поправочный коэффициент меняется от 1,25 до 1; для двусторонних завес при $0,9 < q \sqrt{D} < 3$ поправочный коэффициент находится в пределах от 1,2 до 1, а при $3 < q \sqrt{D} < 10$ поправочный коэффициент меняется от 1 до 0,72.

Количество воздуха (кг/с), проходящего через ворота, защищенные воздушной завесой, определяется по формуле

$$G_{\text{пр}} = \mu F_{\text{в}} \sqrt{2y(h - p_x) \gamma_{\text{см}}}, \quad (3.2)$$

где p_x — давление в цехе на уровне середины ворот, кгс/см².

Давление (разрежение) в цехе на уровне середины ворот находится по формулам для расчета аэрации; при этом должны быть учтены действительные площади ворот, приточных и вытяжных проемов и дисбаланс между механическим притоком и вытяжкой.

Количество воздуха, которое необходимо подать в завесу, равно

$$G_{\text{з}} = q G_{\text{пр}}. \quad (3.3)$$

Обычно воздух для завесы забирают над воротами из верхней зоны помещения, где он наименее загрязнен вредными веществами и температура его выше, чем в рабочей зоне.

При устройстве обычных воздушных завес, струя которых выпускается под углом $\alpha = 30 \div 45^\circ$ к плоскости ворот и воздух завесы частично попадает в цеха, следует делать подогрев воздуха, подаваемого в завесу.

Подогрев воздуха, забираемого для воздушной завесы, можно не делать при устройстве эжекционных завес с углом выхода воздуха из щели $\alpha = 75 \div 85^\circ$. Эжекционные воздушные завесы могут создавать противодавление, равное разрежению в цехе, и таким образом расход воздуха $G_{\text{пр}} = 0$.

Перед эжекционной завесой должен быть устроен открытый тамбур длиной 4—5 В (В — ширина ворот).

Воздушные завесы с успехом применяются для предотвращения проникновения в оборудование воздуха из цеха и вредных веществ из оборудования в цех.

МЕСТНАЯ
ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ4.1. ДВИЖЕНИЕ ВОЗДУХА У ВЫТЯЖНЫХ
ОТВЕРСТИЙ

В производственных помещениях целесообразно улавливать вредные пары, газы или пыль непосредственно у места их выделения с помощью местной вытяжной вентиляции. При таком способе вентилирования, как уже отмечалось, каждый кубический метр воздуха удаляет большее количество вредных веществ по сравнению с общеобменной вентиляцией, поэтому необходимый санитарно-гигиенический эффект достигается при существенно меньшем воздухообмене и более надежно.

Современное технологическое оборудование, работа которого сопровождается выделением вредных паров, газов или пыли, должно иметь встроенные местные вытяжные устройства или размещаться внутри вентиляционного укрытия.

Всасывающее отверстие местного отсоса следует располагать на минимальном расстоянии от источника выделения вредных веществ, допустимом по конструктивным и технологическим соображениям, с учетом особенностей выделения вредных веществ (направления потока, его интенсивности и т. п.). При выбранной конструкции и размерах местного вытяжного устройства объем удаляемого воздуха вычисляется как произведение скорости воздуха на всасывающем отверстии v_0 на его площадь F_0 . Величина v_0 зависит от требуемой скорости всасывания у источника выделения вредных веществ v . Для обеспечения достаточно полного улавливания вредных веществ величина v принимается в зависимости от особенностей технологического процесса.

Потоки воздуха, образующиеся в помещении вблизи всасывающих отверстий, существенно отличаются от струйных течений. К всасывающему отверстию подтекание воздуха происходит со всех сторон, что является одной из причин более быстрого падения скоростей в потоке около всасывающего отверстия. Расход воздуха в подтекающем к всасывающему отверстию потоке сохраняется постоянным ($L = \text{const}$), в то время как в струе постоянным сохраняется количество движения ($M = \text{const}$).

Учитывая, что для спектров всасывания характерно постоянство расхода, скорости в потоках воздуха вблизи всасывающего

отверстия убывают обратно пропорционально площади, через которую происходит подтекание воздуха к всасывающему отверстию.

Если отверстие в торце цилиндрической трубы рассматривать в первом приближении как точечный сток и иметь в виду, что одинаковые скорости находятся на поверхности сфер радиусом r_x , то скорости в спектре всасывания на различных расстояниях от центра всасывающего отверстия могут быть определены из выражения

$$v = \frac{L}{F_{сф}} = \frac{L}{4\pi r_x^2}, \quad (4.1)$$

где L — расход воздуха, удаляемого через всасывающее отверстие, $\text{м}^3/\text{с}$; $F_{сф}$ — поверхность сферы радиусом r_x , м^2 .

Подставив в формулу (4.1) величину

$$L = \frac{\pi d_0^2}{4} v_0 \quad (4.2)$$

(здесь d_0 — диаметр всасывающего отверстия, а v_0 — скорость в отверстии) и обозначив $r_x = x$, получим

$$\frac{v_x}{v_0} = \frac{\pi d_0^2}{4 \cdot 4\pi x^2} = 0,06 \left(\frac{d_0}{x} \right)^2. \quad (4.3)$$

Таким образом, на расстоянии x от всасывающего отверстия, равном одному диаметру отверстия, скорость v_x в 16 раз меньше v_0 , а на расстоянии, равном двум диаметрам, скорость падает в 64 раза. Эти цифры свидетельствуют о том, насколько резко происходит падение скоростей в потоках воздуха при всасывании.

В общем виде формула (4.3) может быть записана таким образом:

$$\frac{v_x}{v_0} = k_{вс} \left(\frac{d_0}{x} \right)^2. \quad (4.4)$$

Коэффициент $k_{вс}$ зависит от расположения отверстия относительно плоскостей, ограничивающих подтекание к нему воздуха. При ограниченном подтекании воздуха к всасывающему отверстию падение скоростей в спектре всасывания происходит медленнее и коэффициент $k_{вс}$ возрастает.

Так, если отверстие расположено в стене помещения, когда угол в радианах между плоскостями, ограничивающими подтекание воздуха в щели $\psi = \pi$, сфера всасывания уменьшается в 2 раза по сравнению со всасывающим отверстием в торце цилиндрической трубы, расположенной в центре помещения ($\psi = 2\pi$) и соответственно в 2 раза увеличивается скорость в спектре всасывания. Значения $k_{вс}$ для круглых и квадратных отверстий при различных условиях подтекания воздуха приведены в табл. 4.1.

Всасывающую щель в виде вытянутого прямоугольника в первом приближении можно рассматривать как линейный сток,

т. е. линию, состоящую из ряда точечных стоков. Учитывая, что в этом случае при достаточно большой длине щели скорости на поверхности цилиндра будут одинаковые, скорость в спектре всасывания, образованном такой щелью, может быть определена из выражения

$$v_x = \frac{L}{F_{\text{ц}}} = \frac{L}{2\pi r_x l_0},$$

где $F_{\text{ц}}$ — поверхность цилиндра радиусом r_x ; l_0 — длина щели.

Подставляя величину $L = 2b_0 l_0 v_0$ (здесь b_0 — полуширина щели) и обозначив $r_x = x$, получаем

$$\frac{v_x}{v_0} = \frac{2b_0}{2\pi x} = 0,16 \frac{2b_0}{x}. \quad (4.5)$$

На расстоянии от всасывающей щели, равном одной высоте щели, скорость в спектре всасывания v_x приблизительно в 6 раз меньше скорости в отверстии, а на расстоянии, равном двум высотам, скорость уменьшается в 12 раз. В общем виде формула (4.5) может быть записана следующим образом:

$$\frac{v_x}{v_0} = k_{\text{вс}} \frac{2b_0}{x}. \quad (4.6)$$

В случае линейного стока ограничение сферы подтекания воздуха к всасывающей щели приводит соответственно к увеличению скорости в спектре всасывания (см. табл. 4.1).

В случае поступления воздуха в свободно расположенный патрубок (с острой кромкой) из неограниченного пространства формулы (4.4) и (4.6) дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными на расстоянии от всасывающего отверстия: $x > 0,5 d_0$ — для круглых и квадратных отверстий; $x > 0,5 \cdot 2b_0$ — для вытянутых прямоугольных щелей.

При расположении всасывающих отверстий в стене вполне удовлетворительное совпадение наблюдается на расстояниях соответственно $x > d_0$ для круглых и квадратных отверстий и $x > 2b_0$ для вытянутых щелей.

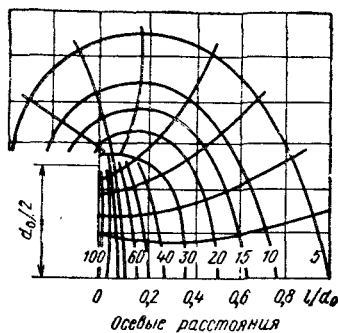
Для определения скоростей в воздушных потоках в непосредственной близости от всасывающего отверстия ($x < d_0$ для круглых отверстий и $x < 2b_0$ для вытянутых прямоугольных щелей)

Значения коэффициента $k_{\text{вс}}$

Схема расположения отверстия	φ , рад *	Коэффициент $k_{\text{вс}}$	
		Круглые или квадратные отверстия	Прямоугольные вытянутые щели
	2π	0,06	0,16
	π	0,12	0,32
	$\frac{\pi}{2}$	0,24	0,64

* φ — угол между плоскостями, ограничивающими сферу всасывания.

Рис. 4.1. Спектр всасывания вблизи круглого отверстия



следует пользоваться спектрами скоростей всасывания, полученными в результате экспериментальных исследований.

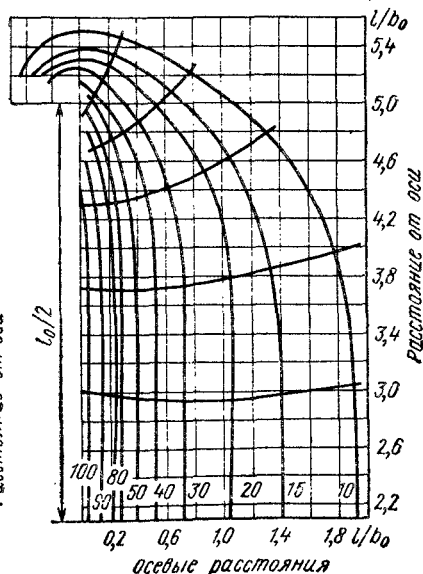
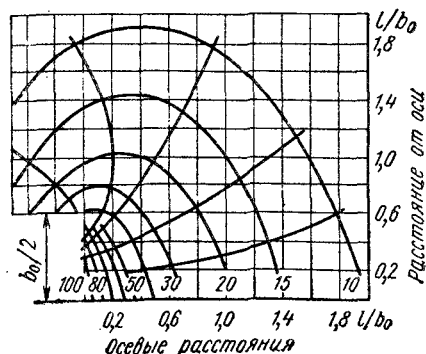
На рис. 4.1 показан спектр скоростей вблизи круглого вытяжного отверстия с острыми кромками. На рис. 4.2 показано распределение скоростей вблизи прямоугольного всасывающего отверстия с отношением сторон $l_0/b_0 = 1 : 10$.

Располагая спектром скоростей всасывания квадратного отверстия, можно с достаточной для практики точностью построить спектры скоростей любых прямоугольных отверстий. Так, например, чтобы получить спектр скоростей для прямоугольного отверстия с отношением сторон $1 : 2$, имея спектр скоростей квадратного отверстия, необходимо вычертить спектры скоростей каждого квадратного отверстия, и на пересечениях линий равных скоростей откладывать векторы скоростей по правилам параллелограмма.

Относительные осевые скорости v_x/v_0 в спектре всасывания свободно расположенного круглого патрубка могут быть определены по формуле, полученной Г. Д. Лифшицем:

Рис. 4.2. Спектр всасывания вблизи прямоугольного отверстия с соотношением сторон $1 : 10$

a — разрез по центру перпендикулярно длинной стороне отверстия;
б — разрез перпендикулярно короткой стороне отверстия



$$\frac{v_x}{v_0} = 1 - \frac{\bar{x}}{\sqrt{1 + \bar{x}^2}} - \frac{0,35 (\bar{x} + 0,4)}{[1(\bar{x} + 0,4)^2 + 1]^{3/2}}, \quad (4.7)$$

где

$$\bar{x} = \frac{2x}{d_0}.$$

Вблизи отверстий в плоской стенке осевая скорость в спектре всасывания может быть определена по формулам, полученным И. А. Шепелевым и И. Г. Тягло [39]:

для щели шириной $2b_0$

$$\frac{v_x}{v_0} = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{b_0}{x}; \quad (4.8)$$

для круглого отверстия диаметром d_0

$$\frac{v_x}{v_0} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{d_0}{2x}\right)^2}}; \quad (4.9)$$

для прямоугольного отверстия конечных размеров $2a_0 \times 2b_0$

$$\frac{v_x}{v_0} = \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{1}{\frac{x}{a_0} \sqrt{\left(\frac{x}{b_0}\right)^2 + \left(\frac{a_0}{b_0}\right)^2 + 1}}. \quad (4.10)$$

Повышения эффективности отсоса и увеличения скорости в спектре, как уже отмечалось, можно достигнуть, ограничивая зону подтекания воздуха к всасывающему отверстию путем устройства вокруг него специальных поверхностей. Минимальная ширина такой плоскости, позволяющая рассчитывать отсос как отверстие в плоской стенке, равняется для круглых и квадратных отверстий диаметру или размеру стороны отверстия.

Для случаев, когда всасывающий патрубок выступает из стенки более чем на четверть диаметра при круглом сечении или более чем на четверть меньшей стороны при прямоугольном сечении, стенка не оказывает влияния на скорости всасывания.

Результаты, о которых говорилось выше, получены при условии, что сток воздуха к вытяжному отверстию осуществляется из пространства (свободно расположенный патрубок) или полупространства (отверстие в плоской стенке).

Часто местные отсосы, особенно встроенные, располагаются на определенном расстоянии от ограничивающей поверхности, расположенной перпендикулярно или параллельно оси патрубка. Используя метод изображений, получили достаточно простые формулы, позволяющие учесть влияния такого рода поверхностей для точек, удаленных от центра отверстия на расстояние более половины его калибра [21].

Скорость в рассматриваемой точке $v_{пл}$ находится как произведение скорости, вычисленной для случая без ограничивающей плоскости v , на поправочный коэффициент ψ :

$$v_{пл} = v\psi. \quad (4.11)$$

При расположении ограничивающей плоскости перпендикулярно оси, проходящей через центр отсоса, влияние ее на осевую скорость всасывания учитывается формулами:

для квадратного или прямоугольного патрубка

$$\psi = 1 - \frac{\left(\frac{x}{h}\right)^2}{\left(2 - \frac{x}{h}\right)^2}; \quad (4.12)$$

для щели

$$\psi = 2 \times \frac{1 - \frac{x}{h}}{2 - \frac{x}{h}}, \quad (4.13)$$

где h — расстояние от центра всасывающего отверстия до плоскости, м.

Если плоскость расположена параллельно оси отсоса, то осевая скорость определяется следующим образом:

для патрубка

$$\psi = \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{x}{h}\right)^4}{\left[4 + \left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^2} + 2 \frac{\left(\frac{x}{h}\right)^3}{\left[4 + \left(\frac{x}{h}\right)^2\right]^{3/2}}}; \quad (4.14)$$

для щели

$$\psi = 2 \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{x}{h}\right)^2}{4 + \left(\frac{x}{h}\right)^2}}. \quad (4.15)$$

Распределение скоростей вблизи ограничивающей плоскости можно рассчитать, используя соотношение для патрубка и для щели

$$\psi = 2 \frac{\frac{y}{h}}{\sqrt{1 + \left(\frac{y}{h}\right)^2}}, \quad (4.16)$$

где y — расстояние между проекцией центра всасывающего отверстия на плоскость и рассматриваемой на ней точкой.

Видно, что плоскость, поставленная перпендикулярно оси патрубка, всегда уменьшает осевые скорости всасывания ($\psi < 1$), а поставленная параллельно оси — увеличивает их ($\psi > 1$).

На плоскости имеется область вблизи всасывающего отверстия, где скорости меньше, чем в случае отсутствия плоскости.

Приведенные в настоящем параграфе зависимости позволяют не только определить скорости, индуцируемые всасывающим устройством, но используются при решении задач, связанных с расчетом местных вытяжных устройств, взаимодействующих с источниками выделения вредностей.

4.2. МЕСТНЫЕ ВЫТЯЖНЫЕ УСТРОЙСТВА ЗАКРЫТОГО ТИПА

Местные вытяжные устройства в зависимости от взаимного расположения источника выделения вредных веществ воздухоприемника можно разделить на местные отсосы закрытого и открытого типа.

В местных отсосах закрытого типа источник вредных выделений изолирован от остального объема помещения и находится внутри укрытия. Такие отсосы наиболее надежны и требуют минимальных расходов удаляемого воздуха. К отсосам этого типа относятся вытяжные шкафы, дробеструйные и окрасочные камеры, различные кожухи—укрытия пылящего оборудования.

При проектировании укрытий для пылящего оборудования, окрасочных и дробеметных камер и других аналогичных устройств внутри укрытия или камеры создают разрежение, которое препятствует поступлению воздуха в цех из укрытия через его неплотности и открытые рабочие отверстия.

Расчетная скорость всасывания воздуха в укрытие

$$v = \sqrt{\frac{2g\Delta p}{\zeta\gamma}}, \quad (4.17)$$

где Δp — разрежение внутри укрытия, кг/м²; g — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/с²; ζ — коэффициент местного сопротивления отверстий и щелей; γ — удельный вес воздуха, кг/м³.

Необходимый объем удаляемого из укрытия воздуха

$$L = 3600vF, \quad (4.18)$$

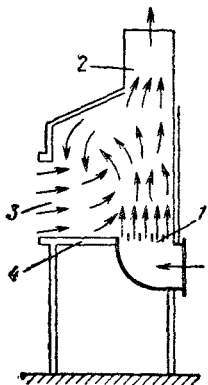
где F — суммарная площадь рабочих отверстий и неплотностей в укрытии, м².

При выборе скорости всасывания необходимо учитывать концентрацию, токсичность, температуру и удельный вес выделяющихся вредных веществ, а также характер выполняемых внутри укрытия операций. Эти скорости могут колебаться от 0,3—0,5 до 1,5—2,5 м/с.

Существенное влияние на эффективность локализации вредных веществ с помощью укрытия, имеющего рабочий проем, оказывает подвижность окружающего воздуха и его турбулентность [41].

Рис. 4.3. Вытяжной шкаф с подачей воздуха в укрытие:

1 — решетка для подачи воздуха в шкаф; 2 — вытяжной воздуховод; 3 — рабочее отверстие; 4 — рабочий стол



В вытяжных шкафах требуемая степень равномерности поля скоростей всасывания по высоте рабочего отверстия обеспечивается прежде всего местом забора воздуха из шкафа. Для создания равномерного поля скоростей в рабочем проеме должен осуществляться забор равных частей воздуха из верхней и нижней частей укрытия. При работе с выделением тяжелых газов вытяжное отверстие рекомендуется располагать в нижней части, обеспечивая наиболее интенсивное поступление воздуха в укры-

тие через более опасную нижнюю часть рабочего отверстия. При процессах, сопровождающихся образованием легких газов, с той же целью вытяжное отверстие располагают в верхней части укрытия. Если в укрытии выполняются попеременно различные операции, целесообразно предусматривать регулирование распределения забора воздуха из верхней и нижней зон.

В тех случаях, когда может иметь место растекание загрязненного воздуха по стенкам укрытия и вытекание его по периметру рабочего отверстия, целесообразно использовать вытяжной шкаф с улиткообразным отсосом, предложенный В. В. Кучеруком [7].

По горизонтальной оси, проходящей через центр рабочего отверстия, скорости мало меняются, за исключением шкафа с улиткообразными отсосами, где имеет место плавное увеличение скорости к боковым кромкам.

Для предотвращения возможного выноса вредных веществ из укрытия В. М. Эльтерман [41] рекомендует отверстия в укрытии оформлять в виде патрубков обтекаемой формы длиной не менее 100 мм. Закругленные кромки исключают вихреобразование и добавочную турбулизацию потоков воздуха, входящего в укрытие.

Повысить эффективность удаления вредных веществ можно путем подачи в укрытие воздуха (рис. 4.3), что позволяет снизить в нем концентрацию вредных веществ [41]. В укрытие может быть подан забираемый из него и частично очищенный воздух. Таким образом, с одной стороны, уменьшается количество удаляемого из помещения, а, следовательно и приточного воздуха; с другой стороны, сокращаются выбросы в атмосферу. Воздух в укрытие рекомендуется подавать вверх с малой скоростью через решетку у задней стенки укрытия. В этом случае исключается выбивание загрязненного воздуха через рабочее окно, и наоборот, происходит подсасывание воздуха через нижнюю его часть, что сказывается благоприятно на уменьшении концентрации вредных веществ в укрытии у рабочего отверстия.

4.3. МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ ОТКРЫТОГО ТИПА

В тех случаях, когда не представляется возможным по условиям выполнения технологического процесса использовать устройство закрытого типа, применяют воздухоприемники открытого типа. В них отсос вредных веществ осуществляется через приемное отверстие, расположенное на некотором расстоянии от источника вредных выделений.

Эффективное улавливание вредных веществ приемниками этого типа достигается при условии создания в приемном отверстии скорости всасывания, достаточной для того, чтобы увлечь в приемник поток загрязненного воздуха. Потребный объем удаляемого воздуха может быть определен на основе решения задачи о взаимодействии источника выделения вредных веществ и стока, создаваемого вытяжным приемником. В практике для ряда местных отсосов используют проверенные экспериментальным путем в лабораторных и производственных условиях рекомендации по объемам удаляемого воздуха и скоростям всасывания.

К числу приемников открытого типа относятся вытяжные зонты, козырьки, панели, бортовые отсосы.

Зонты обычно располагают над нагретыми источниками, они улавливают конвективную струю, несущую вредные выделения. При этом лицо работающего не должно попадать в зону между источником выделения вредных веществ и приемным отверстием зонта. Зонты достаточно эффективны при устойчивых конвективных потоках, имеющих осевую скорость на уровне всасывающего отверстия не менее 1 м/с.

Зонт должен уловить все количество подтекающего к нему воздуха. Чем дальше приемное отверстие от источника выделения вредных веществ, тем больший объем воздуха требуется удалять. Он может быть определен по выражению (4.4).

Для обеспечения одинаковых скоростей по сечению приемного отверстия угол раскрытия зонта при его вершине должен быть не более 60° .

Существенное влияние на эффективность зонта оказывает подвижность воздуха в помещении. При скорости больше 0,4 м/с, а также при малой тепломощности потоков рекомендуется снабжать зонт откидными фартуками с одной, двух или трех сторон, причем расстояние от источника до зонта должно быть не более $0,8 d_{\text{экв}}$ ($d_{\text{экв}}$ — эквивалентный по площади диаметр источника).

В тех случаях, когда лицо рабочего располагается над нагретым источником вредных выделений, необходимо с помощью всасывающего приемника отклонить в сторону поток загрязненного воздуха. Для этой цели применяют наклонные и вертикальные панели равномерного всасывания, угловые и боковые отсосы. Необходимые объемы удаляемого воздуха для них принимаются по экспериментальным данным или по расчету, исходя из необходимой скорости всасывания в точке выделения вредных веществ

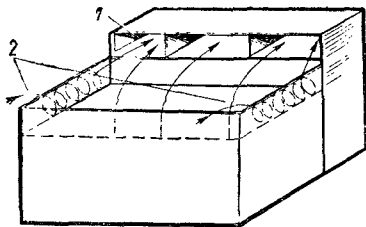


Рис. 4.4. Схема подтекания воздуха при однобортовом отсосе воздуха от ванны:

1 — бортовой отсос; 2 — вихревой шнур

и характера спектра всасывания принятого местного отсоса.

Объем воздуха, удаляемого через панель, рекомендуется определять по формуле

$$L = cQ_k^{1/3} (H + B)^{5/3},$$

где c — коэффициент, зависящий от конструкции панели и ее расположения относительно источника тепла; B — ширина источника, м; H — расстояние от верхней плоскости источника до центра всасывающего отверстия, м.

Для улавливания вредных веществ, выделяющихся с поверхностей ванн, широко применяют бортовые отсосы: однобортовые, двухбортовые или кольцевые, обычные или опрокинутые. При действии отсоса происходит интенсивный срыв потоков со свободных от отсосных коробок бортов ванны (рис. 4.4). У этих бортов образуются вихревые шнуры, которые подсасывают выделяющиеся с поверхности ванны пары и способствуют их выносу в помещение. Анализ этого явления приводит к выводу о том, что однобортовой отсос менее экономичен и эффективен, чем двухбортовой, который, в свою очередь, уступает четырехбортовому или кольцевому отсосу.

Разница между обычными и опрокинутыми отсосами сводится к тому, что у опрокинутых отсосов потоки более прижаты к поверхности раствора; опрокинутые отсосы захватывают меньше отработанного воздуха из помещения и больше загрязненного вредными парами воздуха с поверхности ванны, чем обычные отсосы.

На эффективность бортовых отсосов также существенно влияет подвижность воздуха в помещении, приводя к необходимости увеличения расхода воздуха в отсосе.

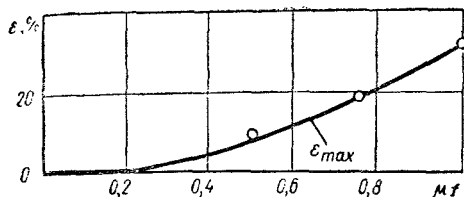
Данные по расчету бортовых отсосов приведены в гл. 10.

Для уменьшения расходов воздуха в отсосах открытого типа и снижения влияния посторонних токов воздуха в помещении применяют передувки различного вида.

Практические указания о скоростях и количествах воздуха, удаляемого от местных отсосов различного назначения, приведены в [32].

4.4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАВНОМЕРНОГО ВСАСЫВАНИЯ ВОЗДУХА ПО ДЛИНЕ ОТСОСА

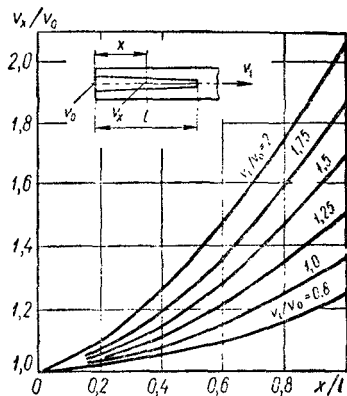
В местных вытяжных устройствах всасывающее отверстие нередко оформляется в виде щели в боковой стенке вытяжного воздуховода. В этом случае необходимо принять меры к обеспе-



4.5. Степень неравномерности распределения скоростей вдоль щели

Рис. 4.6. График для расчета щели равномерного всасывания:

v_x — скорость в щели на расстоянии x , м/с;
 v_0 — скорость в щели при $x = 0$, м/с; l — длина щели, м; v_l — скорость в канале, м/с.



чению равномерного всасывания по длине щели, так как от этого зависит эффективность улавливания вредных веществ местным отсосом.

Для каналов постоянного поперечного сечения со щелью постоянной высоты по В. В. Батурину [6] достаточно равномерные скорости всасывания получаются при $\bar{f} = \frac{f}{F} \approx 0,3$, где f — площадь щели, м²; F — площадь канала, м².

Степень неравномерности всасывания $\epsilon_{\max}$ по данным [34] представлена на рис. 4.5 в зависимости от соотношения $\mu\bar{f}$ для канала постоянного сечения сравнительно небольшой длины $\mu l \leq 0,2$ (μ — коэффициент расходов щели, равный $\sim 0,7$).

Равномерное по расходам всасывание по длине отсоса может быть достигнуто в результате соответствующего изменения высоты щели. При определении переменной высоты щели рекомендуется пользоваться данными Л. Оппла [6], представленными на рис. 4.6.

Ширина щели b_x определяется из условия постоянства расхода по длине щели $v_x b_x = \text{const}$.

4.5. ВЫСОКОВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ

Ряд технологических операций, выполняемых с помощью ручного инструмента, связан со значительным выделением вредных веществ. В этом случае особо необходим местный отсос, так как источник выделения находится близко от лица рабочего. При работе на строго фиксированных местах отсос вредных веществ может быть осуществлен с помощью описанных выше видов воздухоприемников. На нефиксированных местах эти отсосы неприемлемы. Необходимы подвижные воздухоприемники, которые только при незначительных размерах и малой массе могут

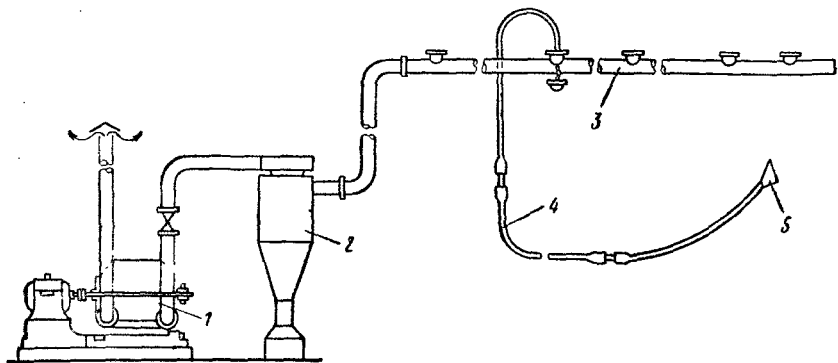


Рис. 4.7. Схема высоковакуумной установки:

1 — турбовоздуходувка; 2 — циклон; 3 — коллектор; 4 — облегченный армированный шланг; 5 — пылегазоприемник

найти практическое применение. Наиболее конструктивным решением является местный отсос, встроенный в оборудование или инструмент.

В вытяжных системах с переносными отсосами необходимым элементом является гибкое соединение (шланг), связывающее приемник со стационарной частью системы, которое также должно иметь малые габариты и массу.

Необходимость применения гибких шлангов малого диаметра и компактных воздухоприемников приводит к повышенному их гидродинамическому сопротивлению, а следовательно, к необходимости использования высоковакуумных побудителей. Высоковакуумные установки нашли применение как в СССР, так и за рубежом. Высоковакуумные установки первоначально были разработаны ВНИИОТ (г. Ленинград) применительно к ручной сварке внутри малых помещений строящихся судов. Позднее область их применения была распространена на процессы зачистки изделий ручными шлифовальными машинами, пайки и ряд других операций [16].

Основными элементами высоковакуумной установки (рис. 4.7) являются побудитель, пылеуловитель, коллектор, гибкие шланги и воздухоприемники. В качестве побудителей могут быть использованы многоступенчатые центробежные машины, создающие разрежение $2000\text{--}3000\text{ кг/м}^2$, например машины марки ТВ-80-1,6, ТВ-50-1,6 (первое число в индексе — производительность машины в $\text{м}^3/\text{мин}$, второе — перепад давлений на нагнетании и всасывании). В системах малой производительности находят применение водокольцевые вакуум-насосы. При малой протяженности шлангов возможно использование высоконапорных вентиляторов, развивающих давление $1000\text{--}1500\text{ кг/м}^2$.

Перед побудителем устанавливается пылеуловитель, служащий для задержания крупной пыли и случайных предметов, которые могут попасть во всасывающую сеть и повредить побудитель. Обычно это циклон малого размера в герметичном исполнении.

К пылеуловителю подводится коллектор. В системах с малым радиусом действия он выполняется в виде короба, в системах большой протяженности — в виде трубы, представляющей собой герметичный воздуховод равномерного всасывания. Гидродинамическое сопротивление коллектора не должно превышать ~5% общей потери давления в системе.

К коллектору привариваются штуцеры для подключения переносных вентиляционных шлангов облегченной конструкции. Шланги обычно собирают из рукавов различного диаметра с постепенным увеличением диаметра от приемника к коллектору.

Воздухоприемники изготавливают применительно к определенному технологическому оборудованию или инструменту. Схемы приемников к сварочной аппаратуре, выполненные в виде переносного отсоса для ручной сварки и навешенных конструкций для автоматов и полуавтоматов, описаны в гл. 9. Для ручной шлифованной машинки предложен приемник полуцилиндрической формы, всасывающее отверстие которого направлено навстречу потоку загрязненного воздуха. Имеется ряд конструкций паяльников со встроенными кольцевыми или верхними отсосами [16].

Этими примерами не исчерпывается возможная область применения малогабаритных местных отсосов и высоковакуумных систем. Этот принцип вентиляции применим при различных производственных процессах.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЧИСТОТЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

Охрана воздушной среды является актуальной проблемой. Несмотря на то, что машиностроительные заводы загрязняют воздушную среду меньше, чем другие производства, эти заводы, будучи расположены вблизи жилых районов, существенно влияют на чистоту воздуха в них.

Машиностроительные заводы выбрасывают в атмосферу различные вредные вещества. Как правило, концентрации вредных веществ в воздухе, выбрасываемом из вентиляционных систем, малы, но расходы вентиляционного воздуха настолько велики, что валовые количества вредных веществ, поступающих в атмосферу, значительны. Это особенно характерно для крупных машиностроительных заводов, которые строятся в последнее время. Поэтому при строительстве новых и реконструкции действующих заводов необходимо проводить прогнозирование возможного загрязнения воздуха, для того чтобы иметь возможность своевременно принять меры по обеспечению чистоты приземного слоя воздуха, предъявить повышенные требования к технологическому процессу и оборудованию, к устройствам очистки воздуха в отношении сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу, найти решение генерального плана предприятия, обеспечивающее лучшее проветривание заводской площадки и предотвращающее занос вредных веществ в жилые районы; определить необходимую минимальную ширину защитной зоны между промышленным узлом и жилой территорией; найти места выброса загрязненного воздуха (технологического и вентиляционного); расположить воздухозаборы систем приточной вентиляции в местах наименьшего загрязнения слоя атмосферы.

5.1. САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К АТМОСФЕРНОМУ ВОЗДУХУ

Требования к чистоте атмосферного воздуха определяются Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий СН 245—71. В нормах указываются предельно допустимые

концентрации вредных веществ в воздухе на заводских площадках и в воздухе населенных пунктов.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе на заводских площадках в местах забора приточного воздуха равны 30% предельно допустимых концентраций в воздухе рабочей зоны производственных помещений.

Обозначим предельно допустимую концентрацию на заводской площадке через $c_{\text{ПДК, зп}}$, тогда

$$c_{\text{ПДК, зп}} = 0,3c_{\text{ПДК, рз}}, \quad (5.1)$$

где $c_{\text{ПДК, рз}}$ — предельно допустимая концентрация вредного вещества в рабочей зоне производственных помещений, мг/м^3 .

При определении предельно допустимых концентраций в воздухе на заводских площадках должны учитываться указания, приведенные в разделе 10 СН 245—71 [28].

В атмосферном воздухе населенных пунктов Санитарными нормами установлены максимально разовые и среднесуточные предельно допустимые концентрации исходя из условия, что при длительном непрерывном нахождении людей не было бы обнаружено воздействие на них вредных веществ.

Обозначим предельно допустимые концентрации в атмосферном воздухе населенных мест через $c_{\text{ПДК, н}}$.

В табл. 5.1 приведены некоторые предельно допустимые концентрации в воздухе производственных помещений, приземного слоя атмосферы на заводской площадке и в населенных пунктах вредных веществ, наиболее часто выделяющихся на машиностроительных заводах.

Только для отдельных вредных веществ разовые концентрации $c_{\text{ПДК, в}}$ близки к $c_{\text{ПДК, зп}}$ (серная кислота), а для отдельных веществ даже $c_{\text{ПДК, н}} = c_{\text{ПДК, зп}}$ (аммиак, хлор). Для большинства же вредных веществ $c_{\text{ПДК, н}} \ll c_{\text{ПДК, зп}}$.

Из 25 приведенных в табл. 5.1 веществ для 13 веществ (52%) $c_{\text{ПДК, н}} \leq 10\% c_{\text{ПДК, зп}}$ и для 26% веществ $c_{\text{ПДК, н}} \leq 1\% c_{\text{ПДК, зп}}$, т. е. для последних веществ разовые предельно допустимые концентрации в населенных пунктах в 100 раз и более меньше, чем на заводской площадке.

Для того чтобы обеспечить в населенных пунктах столь малые концентрации вредных веществ, устраивают защитные зоны, отделяя жилые районы от промышленных.

Для большинства машиностроительных заводов при наличии небольших литейных и других горячих цехов ширина санитарно-защитной зоны допускается по СН 245—71 100 м, а для предприятий металлообрабатывающей промышленности с термической обработкой, но без литейных — 50 м.

При такой малой зоне (в других видах промышленности — металлургической, химической, стройматериалов — ширина защит-

Предельно допустимые концентрации в воздухе производственных помещений, в приземном слое атмосферы на заводской площадке и в населенных пунктах вредных веществ, наиболее часто выделяющихся на машиностроительных заводах

Вещество	ПДК					
	в рабочей зоне производственных помещений СПДК. рз. мг/м³	в приземном слое атмосферы на заводской площадке СПДК. эп. мг/м³	в воздухе населенных мест			
			СПДК. н (разовые)		СПДК. н (среднесуточные)	
			мг/м³	в % от СПДК. эп	мг/м³	в % от СПДК. эп
Двуокись азота	5	1,5	0,085	5,7	0,085	5,7
Акролеин	0,7	0,21	0,03	14,3	0,03	14,3
Аммиак	20	6,0	0,2	3,3	0,2	3,3
Анилин	0,1	0,03	0,05	166,6	0,03	100
Ацетон	200	60	0,35	0,58	0,35	0,58
Бензин (нефтяной)	300	90	5	5,55	1,5	1,66
Капролактан . . .	10	3,0	0,06	2,0	0,06	2,0
Масляная кислота	10	3,0	0,015	0,5	0,01	0,33
Серная кислота	1	0,3	0,3	100	0,1	33,3
Сернистый ангидрид	10	3,0	0,5	16,6	0,05	1,66
Сероводород . . .	10	3,0	0,008	0,26	0,008	0,26
Сероводород . . .	1	0,3	0,03	10	0,005	1,6
Стирол	5	1,5	0,003	0,2	0,003	0,2
Соляная кислота	5	1,5	0,2	13,3	0,2	13,3
Толуол	50	15,0	0,6	4,0	0,6	4,0
Углерода окись	20	6,0	3	50	1	16,6
Фенол	0,3	0,09	0,01	11,0	0,01	11,0
Формальдегид . .	0,5	0,15	0,035	23,3	0,012	8,0
Фосфорный ангидрид	1	0,3	0,15	50,0	0,05	16,6
Фталевый ангидрид	1	0,3	0,1	33,3	0,1	33,3
Фтористые соединения (газ) . .	1	0,3	0,02	6,66	0,005	1,66
Хлор	1,0	0,3	0,1	33,3	0,03	10,0
Хром (шестивалентный)	0,01	0,003	0,0015	50	0,0015	50
Этилацетат . . .	200	60,0	0,1	0,17	0,1	0,17
Пыль нетоксичная	10	3	0,5	17	0,15	5

ной зоны по СН 245—71 рекомендуется 1000 м, а во многих случаях она принимается 4—6 км) наиболее трудно обеспечить требуемую чистоту воздуха в населенных районах. Поэтому для большинства машиностроительных заводов определяющим нормативом чистоты воздуха будет предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе населенных мест.

Необходимо проверить (при проектировании расчетом, а на действующих предприятиях путем анализа воздуха) концентрации

вредных веществ в воздухе на заводской площадке в местах воздухозабора для механической и естественной (окна) вентиляции.

При совместной эмиссии в воздух нескольких веществ однонаправленного действия на человека необходимо, чтобы сумма отношений концентрации каждого вещества к его ПДК_{р.з} не превышала 0,3:

$$\frac{c_1}{c_{\text{ПДК}_1}} + \frac{c_2}{c_{\text{ПДК}_2}} + \dots + \frac{c_n}{c_{\text{ПДК}_n}} \leq 0,3, \quad (5.2)$$

где $c_1, c_2, \dots, c_n$ — фактические концентрации вредного вещества в атмосферном воздухе, мг/м³; $c_{\text{ПДК}_1}, c_{\text{ПДК}_2}, \dots, c_{\text{ПДК}_n}$ — соответственно предельно допустимые концентрации тех же вредных веществ в рабочей зоне.

В СН 245—71 (п. 9.3) указано, какие вредные вещества обладают эффектом суммации действия в воздухе населенных мест.

Прямого указания, какие вещества однонаправленно воздействуют на человека при его нахождении на заводской площадке, в СН 245—71 не имеется. Но поскольку нормируется концентрация веществ в местах забора воздуха, подаваемая в цеха, то можно рекомендовать суммировать отношение концентрации веществ к их ПДК, сочетание которых указано в СН 245—71 п. 10.9 для производственных помещений.

Расчеты рассеивания следует вести на доминирующие вредные вещества, для которых величина коэффициента опасности KO , равная отношению валового выброса вредного вещества M (мг/с) к предельно допустимой концентрации ПДК (мг/м³), будет наибольшей:

$$KO = \frac{M}{c_{\text{ПДК}}}. \quad (5.3)$$

При расчете рассеивания вредных веществ на заводской площадке в формуле (5.3) применяется предельно допустимая концентрация вредного вещества в производственных помещениях — ПДК_{р.з}; при расчете концентрации в жилых районах применяется предельно допустимая концентрация вредных веществ в воздухе населенных мест — ПДК_н.

Так как емкость воздушного бассейна ограничена, то во избежание его загрязнения величина валового выброса от всего промузла в целом и от каждого источника должна быть минимальна и ограничена определенным пределом.

Раньше чем перейти к изложению методов прогнозирования возможного загрязнения приземного слоя атмосферы, рассмотрим классификацию источников загрязнения.

5.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИСТОЧНИКОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УЗЛАХ

Источники загрязнений площадок машиностроительных заводов могут быть классифицированы по следующим признакам: 1) по типу систем, из которых выбрасываются вредные вещества; 2) по расположению источников в потоке ветра; 3) по температуре выбрасываемой газовой смеси; 4) по режиму работы во времени; 5) по степени централизации; 6) по мере осуществления инструментального контроля и регулирования.

В зависимости от системы, из которой выбрасываются в атмосферу вредные вещества, источники загрязнения подразделяются на технологические и вентиляционные. К технологическим выбросам относятся хвостовые технологические выбросы, выбросы из технологического оборудования при его продувке, утечки через неплотности оборудования и через сальники.

Технологические выбросы характеризуются высокой концентрацией вредных веществ и, как правило, должны очищаться.

Вентиляционные выбросы — это выбросы механической и естественной общообменной вентиляции и выбросы местной вытяжной вентиляции. Вентиляционные выбросы общообменной вентиляции характеризуются низким содержанием вредных веществ, но большими объемами загрязненного воздуха. Поэтому при определении загрязнения атмосферы промплощадки и окружающих территорий вентиляционные выбросы следует принимать во внимание наряду с технологическими. Выбросы от местных отсосов по своей характеристике приближаются к технологическим и также должны быть очищены.

По расположению источников их можно подразделять на свободно расположенные в недеформированном потоке ветра и на затененные строениями или другими преградами: горами, лесами и т. д.

К первым относятся выбросы из высоких труб; ко вторым выбросы из труб, находящихся в зоне подпора или аэродинамической тени каких-либо преград. Фонари, как правило, находятся в зоне аэродинамической тени, создаваемой зданием.

По способу вывода загрязненного воздуха в атмосферу выбросы могут быть подразделены на канализированные и неканализированные *. К канализированным относятся выбросы через трубы и шахты, к неканализированным — выбросы через фонари, выделения вредных веществ через неплотности оборудования, а также испарения с открытой поверхности жидкости.

Канализированные выбросы поддаются очистке и контролю.

* Ранее применялись термины организованный и неорганизованный выброс. Эти определения менее точно характеризуют условия вывода загрязненного воздуха в атмосферу.

Неканализованные, как правило, не очищаются и контроль за ними очень затруднен.

В некоторой мере контроль за выделениями вредных веществ из открыто расположенного оборудования можно осуществлять путем периодических его испытаний на герметичность.

При температуре поступающей в атмосферу газовой смеси выбросы можно подразделить на сильно нагретые ($\Delta t = t_r - t_0 > 100^\circ \text{C}$), нагретые ($20^\circ < \Delta t < 100^\circ \text{C}$), слабо нагретые ($0 < \Delta t < 20^\circ \text{C}$), изотермические $\Delta t \approx 0$ и охлажденные ($\Delta t < 0$).

К сильно нагретым относятся дымовые газы, газы из вагранок, выбросы из сушилок и другого технологического оборудования, в котором технологические процессы осуществляются при высокой температуре. Благодаря подъемной силе нагретые и сильно нагретые выбросы поднимаются над устьем трубы, что способствует рассеиванию их в атмосфере.

Охлажденная газовоздушная смесь может попадать в атмосферу из технологического оборудования, в котором поддерживается низкая температура, при истечении газов из оборудования, среда в котором находится под давлением и имеет низкую температуру, а также при выбросе в летнее время загрязненного воздуха из помещений с кондиционированием воздуха.

Охлажденные выбросы опускаются вниз на крышу здания и территорию площадки; их рассеивание происходит наименее интенсивно. Аналогичное явление создается при выбросе в атмосферу воздуха, загрязненного газами или парами, которые тяжелее воздуха. В зависимости от молекулярной массы газа, его концентрации в воздухе, от избыточной температуры смеси Δt можно установить, будет ли загрязненный воздух легче или тяжелее окружающего атмосферного воздуха.

По режиму работы выбросы подразделяются:

а) на постоянно действующие с равномерными валовыми выбросами или меняющимися по определенному закону;

б) периодические;

в) залповые.

При залповых выбросах в воздухе за короткий промежуток времени выбрасываются большие количества вредных веществ. Эти выбросы приближаются к мгновенным источникам.

В настоящее время наиболее изучено распространение вредных веществ от постоянно действующих источников.

По степени централизации выбросы подразделяются на централизованные и децентрализованные. При децентрализованных выбросах почти от каждого технологического агрегата устраивается свой выброс.

К децентрализованным выбросам относятся выбросы через фонари, а также утечки вредных газов и паров через неплотности оборудования и коммуникаций, открыто расположенных на заводских площадках.

Наличие большого количества низких децентрализованных выбросов загрязняет приземный слой атмосферы и затрудняет забор чистого воздуха для систем приточной вентиляции зданий на заводской площадке.

5.3. УСЛОВИЯ ОБТЕКАНИЯ ЗДАНИЙ ПОТОКОМ ВОЗДУХА, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

На машиностроительных заводах через высокие трубы в атмосферу выбрасываются дымовые газы от котлов котельных, от кузнечных печей, в отдельных случаях от гальванических ванн и другого технологического оборудования.

Расчет рассеивания вредных веществ от этих источников производится по СН 369—74.

Значительная же часть вредных веществ на машиностроительных заводах поступает в атмосферу из низких затененных источников.

Необходимо подчеркнуть, что процессы распространения вредных веществ из низких затененных источников и из высоких незатененных труб отличаются друг от друга. Особенно это отличие проявляется в непосредственной близости от источников в пределах заводской площадки.

На рис. 5.1. для сравнения приведены распределения концентраций вредных веществ при выбросе их через отдельно стоящую трубу (незатененный источник) и на той же высоте от земли,

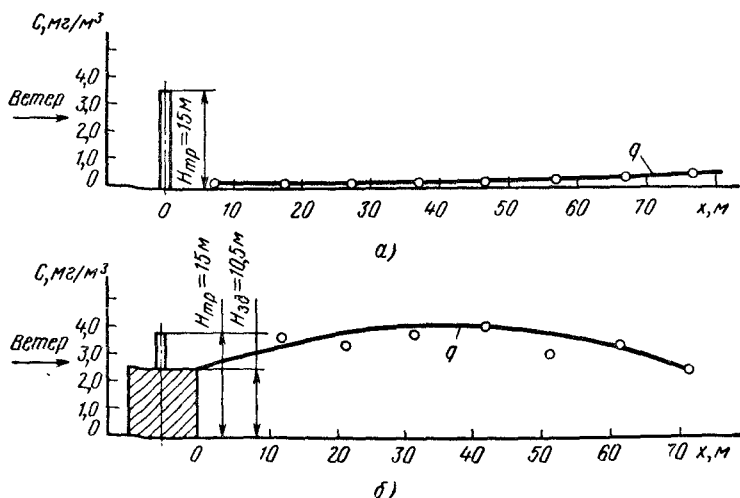


Рис. 5.1. Концентрации вредных веществ в приземном слое:

а — при выбросе загрязненного воздуха через отдельно стоящую трубу; б — при выбросе через трубу, установленную над зданием

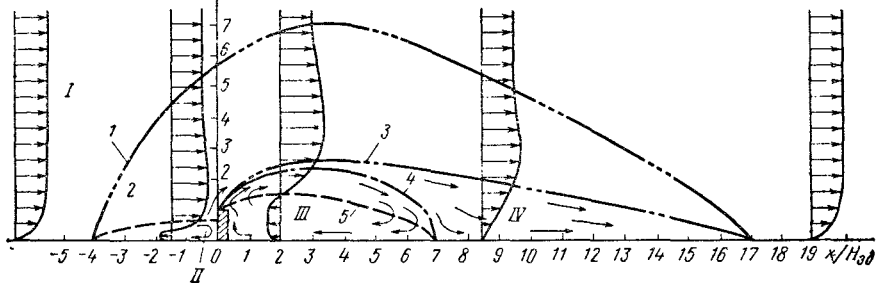


Рис. 5.2. Основные зоны потока вблизи преграды (узкого здания), обдуваемой ветром:

I — невозмущенный первичный поток; *II* — зона подпора (циркуляционная); *III* — зона аэродинамической тени (циркуляционная); *IV* — зона следа; *I* — граница зоны возмущения; *2* — граница зоны подпора; *3* — граница зоны следа ($\frac{v}{v_0} = 0,95$); *4* — граница циркуляционной зоны аэродинамической тени; *5* — линия нулевых скоростей в зоне аэродинамической тени

но через трубу, расположенную над зданием (затененный источник). В обоих случаях скорость ветра была 3,1 м/с и выбрасывалось одинаковое количество вредного газа 2 кг/ч.

Как по виду, так и по величине кривые концентрации сильно разнятся. При выбросе загрязненного воздуха через отдельно стоящую трубу концентрации в приземном слое в непосредственной близости от трубы незначительны. Они возрастают по мере удаления от трубы, достигая максимума примерно на расстоянии двадцати высот трубы.

При выбросе вредных веществ над зданием за ним образуется высокая их концентрация, максимум которой (при $H_{тр}/H_{зд} \approx 1,5$) наблюдается на расстоянии около четырех высот здания. При этом величины концентрации, особенно вблизи здания за заводской площадке, во много раз (до сорока) больше, чем при выбросе через отдельно стоящую трубу.

Это объясняется различным характером воздушного потока, в котором происходит распространение пассивной примеси, поэтому сначала рассмотрим аэродинамику обтекания ветром зданий.

Ветер, обдувая здания, наталкивается на него как на преграду. Поток ветра деформируется и вокруг здания образуются зоны с течениями, отличающимися от течения в невозмущенном потоке.

Условно следуя за рекомендациями, приведенными в [42], можно выделить следующие характерные зоны (рис. 5.2):

- I* — зона невозмущенного потока;
- II* — зона повышенного давления перед зданием (зона подпора);
- III* — зона аэродинамической тени над зданием и за зданием;
- IV* — зона аэродинамического следа за зданием вне зоны аэродинамической тени.

В зоне I невозмущенного потока наблюдается логарифмический профиль скоростей, определяемый степенью шероховатости подстилающей поверхности. Вокруг здания граница невозмущенного потока принимается исходя из условия, чтобы вектор скорости потока не более чем на 5% отличался от вектора скорости на той же высоте в удалении от здания.

II зона (зона подпора) является циркуляционной. У поверхности земли направление потока обратное главному направлению.

III зона также является циркуляционной и у поверхности земли наблюдаются обратные потоки. Границы циркуляционных зон II и III определяются из условия

$$\int_0^{z_{\text{гp}}} v dz = 0, \quad (5.4)$$

где v — скорость потока в сечении на расстоянии x в точке с ординатой z ; $z_{\text{гp}}$ — высота границы циркуляционной зоны в сечении z .

IV зона ограничивается линией, проходящей через переднюю кромку здания, с которой происходит срыв потока в соответствующей изотаксе $\frac{v}{v_0} = 0,95$ (где v_0 — скорость ветра в невозмущенном потоке).

При таком условии размеры следа ограничены, длина его вдоль оси составляет около $17 H_{\text{зд}}$.

Тсoretически след (зона, в которой скорости отличаются от скоростей в невозмущенном потоке) простирается до бесконечности.

Скорости в следе асимптотически очень медленно с увеличением расстояния от преграды приближаются к скорости в невозмущенном потоке. Но на большем расстоянии от преграды скорости мало разнятся от соответствующих им в невозмущенном потоке. Поэтому при решении практических задач следует ограничить зону следа изотаксой, заданной так, чтобы имеющийся дефицит скорости не влиял существенно на обтекание последующих зданий и распределение концентраций вредных веществ.

На рис. 5.2 показаны границы зон в вертикальной плоскости для здания бесконечной длины. Практически можно считать, что при $l \geq 10 H_{\text{зд}}$ в средней части в пределах $-\frac{l}{4} < y < \frac{l}{4}$ картина течения соответствует представленной на рис. 5.2.

Наибольшие концентрации вредных веществ в приземном слое следует ожидать в циркуляционной зоне III. При длине здания $l \geq 10 H_{\text{зд}}$ и малой ширине (тонкая преграда) размеры зоны III ($h_{\text{ат}}/H_{\text{зд}}$ и зоны IV ($h_{\text{ас}}/H_{\text{зд}}$) следующие:

$x/H_{\text{зд}}$	0	1	2	3	4	5	6	6,5	7
$h_{\text{ат}}/H_{\text{зд}}$	1	1,75	2,2	2,1	2,0	1,8	1,4	1,0	0
$h_{\text{ас}}/H_{\text{зд}}$	1	1,75	2,3	2,5	2,5	2,4	2,35	2,25	2,2

Примечание. $h_{\text{ат}}$ и $h_{\text{ас}}$ — соответственно высота аэродинамической тени и аэродинамического следа в данной точке.

Опытами В. В. Полякова и В. П. Титова в объемном гидравлическом лотке установлено значительное влияние обтекания торцов зданий на общую картину обтекания и на распределение концентрации вредных веществ за зданием. Особенно это влияние сказывается при $l \leq 10 H_{зд}$.

Если длина здания меньше 10-кратной его высоты, то граница аэродинамического следа и аэродинамической тени понижается, так как чем меньше длина здания, тем больше воздуха обтекает его с торцов.

Ориентировочно границу аэродинамической тени можно определить, помножив ее превышение над зданием $(h_{ат} - H_{зд})$ на уменьшающий коэффициент $\sqrt{0,1 \frac{l}{H_{зд}}}$.

Значения уменьшающего коэффициента в зависимости от отношения длины здания к его высоте приведены ниже:

$l/H_{зд}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Уменьшающий коэффициент	0,32	0,45	0,55	0,64	0,71	0,78	0,84	0,9	0,95	1,0

С увеличением ширины здания высота аэродинамического следа и аэродинамической тени также понижаются. Это объясняется тем, что широкое здание создает дополнительное сопротивление обратному потоку воздуха в циркуляционной зоне (аэродинамической тени) и увеличивает разрежение над зданием.

В зависимости от относительной ширины здания $b/H_{зд}$ на ординаты границы зон, следует вводить второй понижающий коэффициент:

$b/H_{зд}$	1	2	3	4
Понижающий коэффициент:				
для зданий $l = (6 \div 10) H_{зд}$	1	0,9	0,75	0,5
» » $l = (3 \div 6) H_{зд}$	1	0,93	0,85	0,75

Координаты границы зоны подпора при $l \geq 10 H_{зд}$ следующие:

$x/H_{зд}$	0	-1	-2	-3	-4
$h_п/H_{зд}$	0,7	0,5	0,4	0,3	0

При $l < 10 H_{зд}$ высоту границы зоны подпора следует умножить на уменьшающий коэффициент $\sqrt{0,1l/H_{зд}}$.

При обтекании широкого здания (ширина $b > 2,5 H_{зд}$) картина течения несколько отличается (рис. 5.3). Аэродинамическая тень, образуемая вследствие срыва потока с передней острой кромки здания a , заканчивается на крыше здания.

Необходимо отметить, что с увеличением ширины здания (размер b) высота зоны аэродинамической тени уменьшается. Как указывалось выше, это объясняется тем, что широкое здание создает сопротивление обратному потоку воздуха в циркуляционной зоне III. По тем же причинам уменьшается высота и протяженность следа IV.

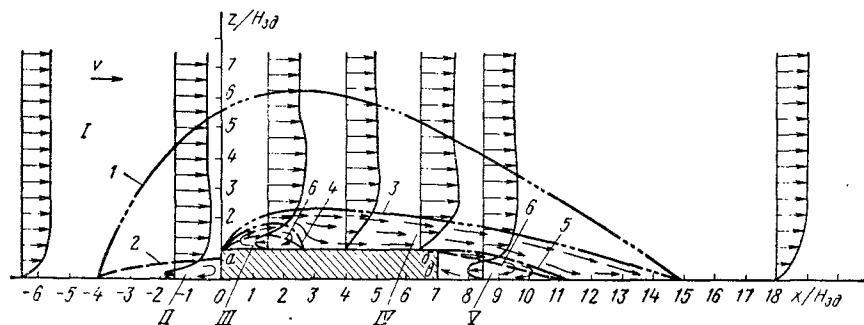


Рис. 5.3. Основные зоны потока вблизи широкого здания, обдуваемого ветром:

I — невозмущенный первичный поток; *II* — зона подпора; *III* — зона аэродинамической тени, образующейся при срыве потока с передней кромки здания; *IV* — зона следа; *V* — зона аэродинамической тени, образующейся при срыве потока с задней кромки здания; *1* — граница зоны возмущения; *2* — граница зоны подпора; *3* — граница зоны следа ($\frac{v}{v_0} = 0,95$); *4* — граница циркуляционной зоны аэродинамической тени; *5* — граница циркуляционной зоны аэродинамической тени *V*; *6* — линия нулевых скоростей в зонах аэродинамической тени

За границей зоны *III* в пределах следа *IV* обратных потоков нет, а профиль скоростей над зданием неравномерен. Только на протяжении 10—12 высот здания профиль скорости приближается к первоначальному, если считать за подстилающую поверхность крышу здания.

У задней кромки широкого здания *б* происходит второй срыв потока и образование второй аэродинамической циркуляционной зоны.

Распространению вредных веществ вокруг широких зданий и группы из двух зданий посвящены специальные работы [23], представляющие определенный интерес, однако возможность использования их результатов затруднена из-за ограничений, поставленных авторами. Эти ограничения следующие:

а) рассматриваются здания примерно равной высоты, расположенные один за другим по направлению ветра;

б) не учитываются влияние на распространение вредных веществ разности температур выбрасываемого в атмосферу загрязненного воздуха и окружающей среды и вертикальной составляющей скорости выброса загрязненного воздуха в атмосферу, вследствие чего искусственно пришлось ограничить рассматриваемый процесс скоростью ветра 1 м/с;

в) принимается, что источник располагается на оси симметрии здания и высота его не более $0,2 H_{зд}$.

Следует заметить, что на машиностроительных заводах выбросы в зданиях большой ширины во многих случаях располагаются по периметру здания, а не по оси его симметрии. Так, на одном заводе литейный цех был размещен в здании большой ши-

рипы. Две вагранки в этом цехе были установлены в одном углу здания (рис. 5.4).

Выброс газов из вагранок оказался в пределах зоны аэродинамической тени, образующейся у передней кромки здания при ветре по стрелке v (рис. 5.4). Это привело к тому, что в противоположном конце здания в землеприготовительном отделении, куда наружный воздух поступал через окна на фасаде, концентрации окиси углерода превысили предельно допустимые в 8—10 раз. Можно высказать предположение, что в данном случае у приточных окон на фасаде здания создались более неблагоприятные условия, чем если бы выбросы из вагранок были бы расположены около оси симметрии здания (ось $a-a$).

По предложению М. Ф. Бромлея и автора [8] выброс из вагранок был поднят выше зоны аэродинамической тени. Этим было достигнуто значительное снижение концентрации окиси углерода у земли и представилась возможность использовать аэрацию здания, что ранее было невозможно из-за больших концентраций СО в наружном воздухе.

При расположении точечных источников (труб или шахт) на крыше широкого здания вне аэродинамической тени расчет концентрации вредных веществ над крышей можно производить по формулам для незатененных труб. При этом следует принимать за расчетную высоту $H_{\text{тр}} - H_{\text{зд}}$. Такой расчет рекомендуется применять при отсутствии на крыше фонарей или других надстроек, а также в отдельных случаях, когда надстройки можно условно рассматривать как здания и крышу, как поверхность земли.

Концентрацию вредных веществ в циркуляционной зоне V от этих же источников можно с некоторым запасом определить как концентрацию на линии b (рис. 5.3) у места срыва потока с наветренной стороны.

Таким образом, можно рассчитать загрязнение приточного воздуха на крыше и в зоне V . Это необходимо при устройстве забора воздуха с крыши или с торцовых фасадов здания.

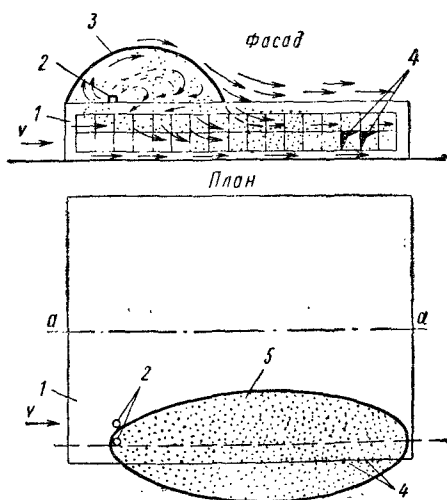


Рис. 5.4. Загрязнение наружного воздуха при выбросе СО из вагранки в зону аэродинамической тени:

1 — здание; 2 — трубы вагранок; 3 — граница зоны аэродинамической тени; 4 — окна землеприготовительного отделения; 5 — зона загрязнения СО, выбрасываемым из вагранок

При наличии на крыше фонарей, надстроек или в том случае, если широкое здание разновысотное, определение возможного загрязнения воздуха на крыше и в приземном слое следует проводить путем физического моделирования в аэродинамической трубе процесса распространения примеси для данного конкретного случая.

При расположении источников загрязнения воздуха в зоне I или в зоне IV забор воздуха с фасадов устраивать не следует.

При обоих взаимопротивоположных направлениях ветра в воздухе около фасадов зданий могут быть высокие концентрации вредных веществ.

5.4. РАСЧЕТ РАССЕЙВАНИЯ В АТМОСФЕРЕ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ НИЗКИХ ЗАТЕНЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Низкими источниками считаются такие, на распространение из которых выбрасываемых вредных веществ существенное влияние оказывает деформация потока ветра зданиями. Выше на рис. 5.2 и 5.3 показано, как меняется поток ветра при обтекании здания, а на рис. 5.1 приведено сравнение распределения концентраций вредных веществ приземном слое при выбросе из низкого источника (см. рис. 5.1, б) и из высокого источника, на распространение вредных веществ из которого деформация потока ветра зданием практически не сказывается (см. рис. 5.1, а).

На распространение вредных веществ в атмосфере влияют факторы, общие для высоких и низких источников и специфические для каждого источника. К общим для обоих видов источников относятся следующие факторы: высота и диаметр трубы, скорость и направление выхода из нее газовойдушной смеси и превышение ее температуры над температурой окружающей среды, количество выбрасываемого вредного вещества, скорость и направление ветра.

Для низких выбросов дополнительным специфическим фактором является изменение потока ветра зданиями: изменение направления и скорости ветра, образование циркуляционных зон и зон повышенных скоростей. Начальная турбулентность потока ветра больше сказывается на распространении вредных веществ из высоких источников и значительно меньше из низких. Вызванная обтеканием здания турбулентность является доминирующей в зоне распространения вредных веществ из низких выбросов.

На основе имеющегося экспериментального опыта следует считать низкими источники высотой до $2,5 H_{ад}$.

Излагаемый в книге метод расчета рассеивания вредных веществ из низких источников является дальнейшим развитием

применявшихся методов расчета [12, 41]. Дополнительно в нем учитывается скорость, направление и температура газозадушной смеси, выходящей из источника, и предлагается за расчетную скорость ветра принимать опасную скорость, при которой будут иметь место максимальные концентрации вредного вещества в приземном слое атмосферы на заводской площадке. Таким образом, метод расчета для низких источников, во-первых, приближается к методу расчета рассеивания вредных веществ из высоких источников по СН 369—74, во-вторых, позволяет производить расчет рассеивания для объектов, расположенных в местностях, где преобладают скорости ветра меньше 1 м/с, и, в-третьих, дает возможность находить более экономичные инженерные решения устройства низких выбросов.

Рассмотрим сначала уточненный метод расчета рассеивания вредных веществ из низких затененных труб или шахт.

За исходную для расчета концентрации вредных веществ (мг/м³) в приземном слое воздуха на заводской площадке примем формулу, полученную исходя из теории равномерностей:

$$c_m = \frac{KM}{vH_{зд}}, \quad (5.5)$$

где M — количество выбрасываемого вредного вещества, мг/с; v — скорость ветра в невозмущенном потоке на высоте флюгера 10 м, м/с; $H_{зд}$ — высота здания, м; K — численный коэффициент.

Проведенные в последние годы экспериментальные исследования дали возможность установить зависимость численного коэффициента K от превышения выброса загрязненного воздуха над зданием K_h и от соотношения размеров здания $K_{лг}$:

$$K = K_h K_{лг}. \quad (5.6)$$

Для коэффициента K_h установлена опытная зависимость при $\bar{h}_3 < 1,2$:

$$K_h = 2,0e^{-0,61\bar{h}_3^2}, \quad (5.7)$$

где $\bar{h}_3$ — относительная эффективная высота превышения факела загрязненного воздуха, выходящего из трубы, над зданием

$$\bar{h}_3 = \frac{h_{тр} - H_{зд} + \Delta h}{H_{зд}}, \quad (5.8)$$

где $h_{тр}$ — высота трубы от уровня земли, м; Δh — превышение факела над устьем трубы м.

В формуле (5.7) учитывается не только высота трубы, но и подъем факела над устьем трубы за счет сил инерции, выходящей из трубы струи с направленной вверх вертикальной составляющей скорости W , м/с.

Значения коэффициента φ

$\bar{h} = \frac{h_{\text{т.}} - H_{\text{зд}}}{H_{\text{зд}}}$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,2
φ	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	1,4

Примечание. Для зданий, расположенных среди застройки и для широких впадин одной высоты $\varphi = 1,2$. Для зданий, находящихся в зоне аэродинамической тени впереди стоящего здания или в зоне подпора $\varphi = 0,6$.

Исходя из общих соображений распространения турбулентных струй в сносящем потоке, высота подъема факела над устьем трубы может быть определена формулой

$$\Delta h = \frac{\alpha D \omega}{\varphi v}, \quad (5.9)$$

где D — диаметр устья трубы, м; α — коэффициент, зависящий от степени турбулентности атмосферы (находится в пределах $\alpha = 1,5 - 1,9$; меньшие значения соответствуют большей степени турбулентности атмосферы; при скорости ветра до 2 м/с рекомендуется принимать $\alpha = 1,9$, при большей скорости ветра меньшее значение α); φ — коэффициент скорости, учитывающей поле скоростей над зданием, обдуваемым ветром (значение коэффициента φ см. табл. 5.2).

В табл. 5.3 представлена опытная зависимость

$$K_{lt} = f(l/H_{\text{зд}}). \quad (5.10)$$

Таблица 5.3

Величины коэффициентов K_{lt} и K_{lf} , учитывающих изменение максимальной концентрации в приземном слое от относительной длины зданий ($l/H_{\text{зд}}$)

$l/H_{\text{зд}}$	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10
K_{lt}	1,2	1,3	1,15	1,0	0,8	0,65	0,5	0,35	0,28	0,23
K_{lf}	—	0,9	1,0	1,15	1,3	1,45	1,65	1,8	2,1	2,2

Примечание. K_{lf} — коэффициент, учитывающий отношение размеров здания при расчете максимальной концентрации вредного вещества, выбрасываемого из фонаря.

С учетом формул (5.6) — (5.10) формула (5.5) примет вид

$$c_m = \frac{-0,61 \left(\bar{h} + \frac{\alpha D \omega}{H_{зд} v} \right)^2}{v H_{зд}^2}, \quad (5.11)$$

где

$$\bar{h} = \frac{h_{тр} - H_{зд}}{H_{зд}}. \quad (5.12)$$

Продифференцировав функцию (5.11) по скорости v , приравняв ее производную нулю, получим уравнение для определения опасной скорости ветра, решив которое при $\alpha = 1,9$ найдем, что опасная скорость ветра

$$u_m = \frac{3,8 D \omega}{\varphi H_{зд}} B, \quad (5.13)$$

где

$$B = \frac{1}{\sqrt{\bar{h}^2 + 3,3 - \bar{h}}}. \quad (5.14)$$

Численное значение коэффициента B , зависящее от $\bar{h}$, приведено в табл. 5.4.

Как видно из формулы (5.13), опасная скорость ветра увеличивается с увеличением диаметра трубы D , через которую выбрасывается в атмосферу загрязненный воздух, и вертикальной составляющей скорости его выхода из трубы W , т. е. так же, как указано и в СН 369—74.

С увеличением высоты здания опасная скорость уменьшается, что аналогично отмеченному в СН 369—74 уменьшению опасной скорости ветра при увеличении высоты трубы.

С увеличением же превышения трубы над зданием $\bar{h} = \bar{h}_{тр} - 1$ величина опасной скорости возрастает.

Подставляя выражение для опасной скорости в формулу (5.14), получим

$$c_m = \frac{0,53 M \varphi E K_{лТ}}{D \omega H_{зд}} \text{ мг/м}^3, \quad (5.15)$$

где

$$0,53 = \frac{2,0}{3,8}; \quad E = \frac{\sqrt{\bar{h}^2 + 3,3 - \bar{h}}}{e^{0,15(\sqrt{\bar{h}^2 + 3,3 - \bar{h}} + \bar{h})^2}} \text{ (см. табл. 5.4)}. \quad (5.16)$$

В табл. 5.5 приведены рассчитанные по формуле (5.13) величины опасных скоростей ветра для случая выброса вредных

Значения коэффициента B

$\bar{h}$	B	E	$\bar{h}$	B	E
0	0,55	1,11	0,7	0,8	0,44
0,05	0,57	1,04	0,8	0,84	0,37
0,1	0,58	1,0	0,9	0,89	0,31
0,2	0,62	0,88	1,0	0,93	0,26
0,3	0,65	0,78	1,1	0,97	0,24
0,4	0,68	0,68	1,2	1,02	0,18
0,5	0,72	0,59			
0,6	0,77	0,51			

Таблица 5.5

Значения опасных скоростей ветра

D	$\bar{h}$	ω	φ	u_m
м	—	м/с	—	м/с
1,0	0,5	8	1,1	2,15
0,5	0,5	8	1,1	1,08
0,6	0,2	16	1,0	2,25
0,3	0,2	16	1,0	1,12
0,2	0,2	6	1,0	0,28
0,15	0,2	6	1,0	0,22

веществ через трубы над зданием с высотой $H_{зд} = 10$ м при разной высоте труб, их диаметре и вертикальной составляющей скорости выхода из них загрязненного воздуха.

Как видно из табл. 5.5, опасные скорости ветра меняются в зависимости от конкретных условий в большом диапазоне (на один порядок) и, следовательно, принимать одно значение расчетной скорости ветра во всех случаях, как это делалось ранее, не следует.

Приведем пример расчета концентрации в приземном слое атмосферы за узким зданием с высотой $H_{зд} = 15$ м. Превышение трубы над зданием 1 м, $\bar{h} = 0,067$ и количество вредного вещества, выбрасываемого вытяжной вентиляционной установкой $M = 1$ г/с, расход воздуха $L = 2000$ м³/ч = 0,555 м³/с.

Расчет опасной скорости ветра и концентрации вредного вещества в приземном слое атмосферы произведем для трех вариантов:

а) при скорости выхода загрязненного воздуха из трубы $W = 5$ м/с; на трубе зонта нет и воздух выходит из трубы вертикально направленной струей;

б) выход воздуха из трубы осуществляется вертикально вверх со скоростью, определенной из условия, что опасная скорость ветра $u_m = 1$ м/с;

Таблица 5.6

Результаты расчета опасной скорости ветра и максимальной концентрации вредных веществ

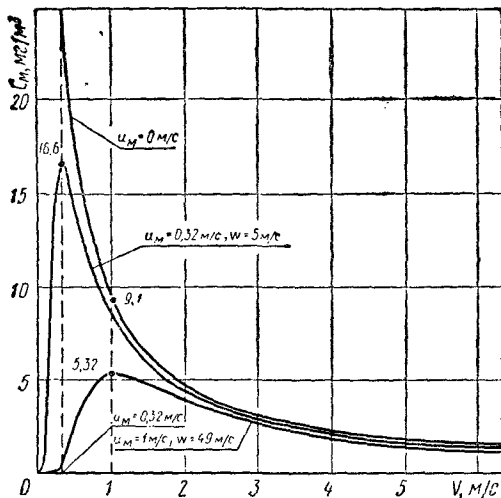
№ варианта	L , м ³ /с	$H_{зд}$, м	$\bar{h}$	φ	D , м	ω , м/с	B	E	u_m , м/с	c_m , мг/м ³
а б в	0,555	15	0,067	0,85	0,375	5	0,57	1,03	0,32	16,6
					0,12	49			1,0	5,32
					—	0			0	∞

Примечания: 1. При заданной скорости ω выхода воздуха из трубы ее диаметр определяется по формуле $D = \sqrt{\frac{4L}{\pi\omega}}$ (5.17).

2. При заданной опасной скорости ветра выходной диаметр конфузора на трубе D и скорость выхода воздуха ω определяются путем совместного решения уравнений (5.15) и (5.17).

3. В случае установки на трубе зонта диаметр трубы не влияет на распространение вредных веществ.

Рис. 5.5. Зависимость максимальной концентрации в приземном слое от скорости ветра



в) на трубе установлен зонтик; вектор скорости выходящего из трубы загрязненного воздуха направлен горизонтально; вертикальная составляющая скорости $W \approx 0$.

В табл. 5.6 приведены результаты расчета опасной скорости ветра и максимальной концентрации вредных веществ по формулам (5.13) и (5.15).

По формуле (5.15) для всех трех вариантов были определены максимальные концентрации в приземном слое при разных скоростях ветра от 0 до 6 м/с*.

По результатам расчетов (рис. 5.5) можно сделать следующие выводы.

1. Расчет максимальной концентрации вредных веществ, не учитывающим подъема струи выходящего из трубы малого диаметра загрязненного воздуха, при скорости ветра $v = 1$ м/с, как правило, занижает расчетную концентрацию в 1,5—2 раза.

2. Для того чтобы за расчетную скорость ветра принимать в этих случаях $v = 1$ м/с, необходимо, чтобы был факельный выброс с вертикальными составляющими скоростями выхода из трубы порядка 20—50 м/с.

3. Расчет по формулам, не учитывающим подъема струи, не ориентирует проектировщиков на правильное устройство выброса. По этим формулам получаются одинаковые расчетные концентрации как при отсутствии на трубах зонтов, так и тогда, когда они есть.

* Кроме приведенного примера была проведена серия подобных расчетов для разных значений $H_{зд}$, $\bar{h}$, L , w и выявлены зависимости, аналогичные приведенным на рис. 5.5.

Установка зонтов приводит к значительному загрязнению приземного слоя атмосферы, поэтому, как правило, зонты на трубах, через которые выбрасывается загрязненный воздух, ставить не следует.

4. Вертикальная составляющая скорости выхода загрязненного воздуха из трубы существенно влияет на величину концентрации вредных веществ в приземном слое при малых скоростях (до 2 м/с). С увеличением скорости ветра это влияние уменьшается и при $v = 5 \div 6$ м/с различие составляет единицы процента.

Исходя из предпосылок, аналогичных примененным при выводе формулы для расчета рассеивания вредных веществ из труб, находящихся в зоне аэродинамической тени, рассмотрим уточненный метод расчета рассеивания вредных веществ из аэрационных фонарей. За исходную примем формулу

$$c = \frac{Km}{H_{зд}v} \text{ мг/м}^3, \quad (5.18)$$

где m — количество вредных веществ, выбрасываемых через обе створки фонаря на 1 пог. м длины, мг/см; $H_{зд}$ — высота здания, м; v — скорость ветра в невозмущенном потоке на высоте флюгера 10 м, м/с; K — коэффициент.

Введем в формулу поправки:

а) поправку K_Q , учитывающую подъем Δh выходящего из фонаря воздуха за счет его перегрева. Подъем Δh можно выразить формулой

$$\Delta h = \frac{\mu Q}{v_1^3}, \quad (5.19)$$

где μ — опытный коэффициент, $\text{м}^5/\text{с}^2 \text{ ккал}$; v_1 — средняя скорость ветра над фонарем в пределах одной высоты здания ($v_1 = \varphi v$, где φ — коэффициент скорости); Q — количество теплоизбытков в воздухе, уходящем через фонарь на 1 пог. м его длины, $\text{ккал/м} \cdot \text{с}$.

В цехах с незначительными влаговыведениями

$$Q = Lc_p (t_{yx} - t_0), \quad (5.20)$$

где L — количество воздуха, выбрасываемого через створки с обеих сторон фонаря на 1 пог. м его длины, $\text{м}^3/\text{м} \cdot \text{с}$; C_p — объемная теплоемкость при постоянном давлении и нормальных условиях, $\text{ккал/м}^3 \cdot ^\circ\text{С}$; t_{yx} — температура воздуха, уходящего через фонари; t_0 — температура наружного воздуха;

б) поправку $K_{l\phi}$, учитывающую отношение размеров здания $l/H_{зд}$:

$$K_{l\phi} = f(l/H_{зд}). \quad (5.21)$$

Опытная зависимость $K_{l\phi} = f(l/H_{зд})$ приведена в табл. 5.3;

в) поправку, ограничивающую расчетную концентрацию в приземном слое величиной концентрации в выбросе $c_{yx} = \frac{m}{L} \cdot$

В данном случае вводимая в формулу (5.18) последняя поправка существенная, так как концентрации в выбросе невелики и не превышают 1,5 ПДК. При технологических и вентиляционных выбросах через трубы концентрации значительно выше ПДК. Поэтому для упрощения расчетов без существенной ошибки такая поправка при выбросе загрязненного воздуха через трубы может не вводиться.

С учетом поправок формула (5.18) примет вид

$$c_m = \frac{K_Q K_{I\Phi} m}{(H_{зд} + \Delta h) v + K_Q K_{I\Phi} L} =$$

$$= \frac{K_Q K_{I\Phi} m}{H_{зд} v + \frac{\mu Q}{\varphi^3 v^2} + K_Q K_{I\Phi} L} \text{ мг/м}^3. \quad (5.22)$$

Формула (5.22) имеет преимущества перед ранее применяемыми формулами. В ней устранены противоречия, свойственные формулам, по которым при $v = 0$ величина концентрации вредного вещества получалась равной бесконечности и приходилось искусственно вводить ограничение расчетной скорости.

В формуле (5.22) при $v = 0$ $Q \neq 0$ первый член в знаменателе будет равен нулю, второй — бесконечности и величина $C_m = 0$.

При скорости ветра и количестве избыточного тепла, стремящихся к нулю, величина c_m будет не больше концентрации вредных веществ в воздухе, уходящем через фонарь:

$$c_m \leq c_{yx}.$$

Опасная скорость ветра, при которой концентрация в приземном слое максимальна, может быть определена, если продифференцировать зависимость (5.22) по v и приравнять производную нулю.

Поскольку уравнение дифференцируется только по v , то воздухообмен L будем искать как $f(v)$ при других постоянных значениях величин, определяющих воздухообмен:

$$\frac{dc_m}{dv} = \frac{K_Q K_{I\Phi} m}{H_{зд} v + \frac{\mu Q}{\varphi^3 v^2} + K_Q K_{I\Phi} L(v)} \times$$

$$\times \left(H_{зд} - \frac{2\mu Q}{\varphi^3 v^3} + K_Q K_{I\Phi} \frac{dL}{dv} \right) = 0, \quad (5.23)$$

откуда

$$H_{зд} - \frac{2\mu Q}{\varphi^3 v^3} + K_Q K_{I\Phi} \frac{dL}{dv} = 0 \quad (5.24)$$

и

$$u_m = \varphi \sqrt[3]{\frac{2\mu Q}{H_{зд} + K_Q K_{I\Phi} \frac{dL}{dv}}}. \quad (5.25)$$

Если приточные и вытяжные отверстия находятся в зоне разрежения, то, как правило, воздухообмен L мало зависит от скорости ветра [8] и $\frac{dL}{dv} = 0$.

При расположении приточных отверстий в зоне положительного давления (на наветренной стороне), а вытяжных окон в зоне разрежения воздухообмен возрастает с увеличением скорости ветра и эта зависимость может быть выражена уравнением

$$L^2 = \frac{C}{L} + Dv^2, \quad (5.26)$$

где C и D — параметры, характеризующие конкретные условия аэрации цеха (см. гл. 2 п. 5).

При больших значениях $H_{зд}$ может оказаться, что второй член в знаменателе формулы (5.25) будет мал по сравнению с первым и тогда формула (5.25) упрощается до вида

$$u_m = \varphi \sqrt[3]{\frac{2\mu Q}{H_{зд}}}. \quad (5.27)$$

Для отдельно стоящего здания с фонарем в зоне аэродинамической тени, по имеющимся опытным данным [12], о величине максимальной концентрации вредных веществ в приземном слое можно судить по значению произведения опытных коэффициентов:

$$\varphi \sqrt[3]{2\mu} = 1,5 \text{ (м}^5/\text{с}^2 \cdot \text{ккал)}^{1/3} \quad (5.28)$$

и, следовательно, опасная скорость ветра для этого случая равна

$$u_m = 1,5 \sqrt[3]{\frac{Q}{H_{зд}}}. \quad (5.29)$$

Считая, что для фонарей, расположенных в зоне аэродинамической тени, $\varphi \approx 1$ (см. табл. 5.4), найдем значение опытного коэффициента $\mu = 1,68 \text{ м}^5/\text{с}^2 \cdot \text{ккал}$.

В общем случае опасная скорость ветра равна

$$u_m = 1,5\varphi \sqrt[3]{\frac{Q}{H_{зд} + K_Q K_{лф} \frac{dL}{dv}}}. \quad (5.30)$$

или

$$u_m = 1,5\varphi \sqrt[3]{\frac{Q}{H_{зд}}}, \quad (5.31)$$

где φ — коэффициент скорости (см. табл. 5.2).

Для фонарей, находящихся на зданиях большой ширины вне циркуляционной зоны III коэффициент $\varphi = 1,2$.

Коэффициент K_Q был определен по опытным данным, приведенным во Временных указаниях [12], в которых для разных значений теплонпряженностей аэрируемых цехов даны коэффициенты пропорциональности K_Q в формуле (5.22).

Было установлено, что в формуле (5.22), в которой учитывается влияние подъема выходящего из фонаря нагретого воздуха, коэффициент K_Q имеет постоянное значение, равное $K_Q = 2,9$.

С учетом найденных значений K_Q и μ формула (5.22) примет вид

$$c_m = \frac{2,9K_{\phi}m}{H_{зд}v + 1,68Qv^{-2} + 2,9K_{\phi}L} \text{ мг/м}^3. \quad (5.32)$$

По формуле (5.32) можно определить концентрации вредного вещества в приземном слое за зданием с фонарем при различных скоростях ветра.

Если взять упрощенную формулу для расчета опасной скорости ветра (5.31) и подставить ее в формулу (5.32), то получим при $\varphi = 1$

$$c_m = \frac{2,9K_{\phi}m}{2,25Q^{1/3}H_{зд}^{2/3} + 2,9K_{\phi}L}. \quad (5.33)$$

По упрощенной формуле (5.31) опасная скорость ветра получается несколько (на 5—10%) меньше, чем по формуле (5.30). При этом расчетная максимальная концентрация занижается на [3—8%], что допустимо, так как она находится в пределах точности производимых расчетов.

Необходимо отметить, что максимальная концентрация вредных веществ обратно пропорциональна не первой степени высоты здания, а $H_{зд}^{2/3}$, т. е. с увеличением высоты здания максимальная концентрация уменьшается в меньшее число раз, чем это предполагалось ранее.

На заводских площадках, как правило, бывает несколько низких источников. Приземная концентрация от N низких источников определяется так же, как и от высоких источников по СН 369—74.

Представляет интерес максимальная концентрация, создаваемая в наружном воздухе на заводской площадке.

При выбросе загрязненного воздуха через трубы, устье которых находится в зоне аэродинамической тени $h_{тр}/H_{зд} < 2,5$, максимальные концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы наблюдаются на расстоянии $x_m = (3 \div 5) H_{зд}$, несколько увеличивалась с увеличением относительной высоты трубы $\frac{h_{тр}}{H_{зд}}$.

На рис. 5.6 представлен обобщенный график изменения концентрации по оси факела на разных относительных расстояниях $\frac{x}{H_{зд}}$ от заветренной стороны здания, учитывающий изменение места максимальной концентрации от отношения $\frac{h_{тр}}{H_{зд}}$.

При выбросе загрязненного воздуха через аэрационный фонарь наибольшая концентрация вредного вещества наблюдается

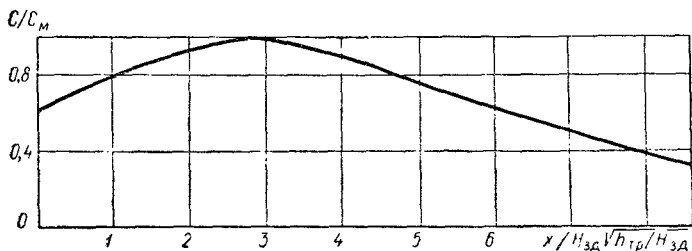


Рис. 5.6. Обобщенный график зависимости c/c_m от относительного расстояния

$$x/H_{зд} \sqrt{\frac{h_{тр}}{H_{зд}}}$$

на расстоянии $2,5 H_{зд}$ от заветренной стороны здания. На заветренной стороне здания ($x = 0$) концентрация равна 60% максимальной. При $x/H_{зд} > 2,5$ расчет концентрации по оси, перпендикулярной длинной стороне фонаря, можно определить по формуле

$$c = c_m e^{-0,1 \left(\frac{x}{H_{зд}} - 2,5 \right)}. \quad (5.34)$$

Все вышеприведенные формулы соответствуют случаю отдельно стоящего здания. Наличие последующих по потоку ветра зданий несколько увеличивает концентрации за рассматриваемым зданием, на крыше которого расположен источник выделения вредных веществ. Примерно это увеличение при $x_{кп}/H_{зд} > 1$ может быть оценено поправкой

$$K_{x_{кп}} = \left(1 + \frac{0,5 H_{зд}}{x_{кп}} \right), \quad (5.35)$$

где $x_{кп}$ — расстояние между корпусами, м.

Концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы на расстоянии y по перпендикуляру к оси факела выброса ориентировочно можно определить по формуле

$$c_y = S_2 c_x. \quad (5.36)$$

Безразмерный коэффициент S_2 такой же, как и для высоких труб (рис. 5.7).

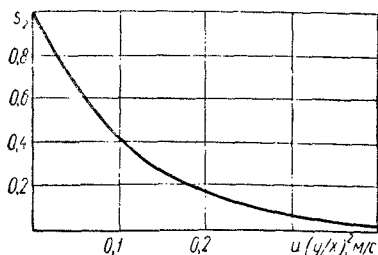


Рис. 5.7. График для определения значений безразмерного коэффициента S_2

В каждом межкорпусном пространстве будет свой максимум концентрации вредных веществ.

Так же, как это рекомендовано делать для высоких выбросов, следует определить для всех источников, расположенных на крыше первого потока здания для доминирующих вредных веществ максимальные концентрации c_m и опасные скорости ветра u_m .

Если по какому-либо вредному веществу сумма максимальных приземных концентраций от всех источников, расположенных на рассматриваемом здании с учетом фона, образующего за счет выбросов из зданий, расположенных вверх и по потоку, окажется меньше или равной ПДК

$$\sum c_m + c_f \leq c_{\text{пдк}}, \quad (5.37)$$

то дальнейшие расчеты не проводят, так как можно считать, что в этом случае загрязнение наружного воздуха в межкорпусном пространстве не превысит допустимого по санитарным нормам. Если условие (5.37) не соблюдается, то определяется средне-взвешенная опасная скорость ветра u_{mc} от источников, расположенных на рассматриваемом здании. По этой расчетной опасной скорости ветра u_{mc} определяются максимальные концентрации C_{mi} и проверяется условие (5.37). Если и в этом случае не соблюдается условие (5.37), то при расчетной скорости u_{mc} с использованием формул (5.34) и (5.35) и графиков, приведенных на рис. (5.6) и (5.7), определяется поле концентраций вблизи возможного места максимальных концентраций. Полученная наибольшая концентрация принимается за максимальную c_m . Если с учетом фоновой концентрации c_m превышает ПДК, то принимаются меры к уменьшению количества выбрасываемых вредных веществ, к увеличению высоты труб и другие мероприятия по обеспечению чистоты воздушной среды.

В качестве фоновой концентрации можно принимать концентрацию на навстречной стене рассматриваемого здания. Так, например, при определении концентрации в межкорпусном пространстве между вторым и третьим зданиями (рис. 5.8) следует принимать концентрацию вредного вещества, образующуюся в плоскости $a-a$ от выбросов на крыше первого здания, если впереди этого здания нет другого с источниками выделения вредных веществ.

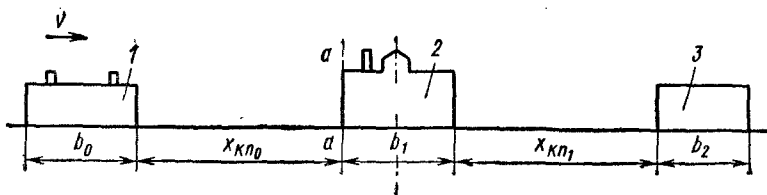


Рис. 5.8. Определение фоновой концентрации

Путем последовательного расчѐта загрязнения в междокорпусных пространствах, начиная с первого по направлению ветра здания, можно подсчитать концентрации на всей заводской площадке с любым количеством зданий.

При больших размерах участка, занимаемого заводом, на концентрации в приземном слое на заводской площадке будут сказываться и концентрации, образующиеся от высоких источников (труб). В этом случае формула (5.15) примет вид

$$\sum c_n + \sum c_v c_{\phi} \leq c_{\text{пдк}}, \quad (5.38)$$

где c_n и c_v — соответственно концентрации от низких и высоких источников.

Предложенный метод расчѐта рассеивания вредных веществ от низких источников, учитывающий опасную скорость ветра, не только дает приближение расчетных концентраций к действительно возможным, но и ориентирует проектировщиков на лучшие инженерные решения устройств выброса загрязненного воздуха.

Так, пользуясь методикой определения опасной скорости ветра, проектировщики видят целесообразность объединения однородных выбросов. С увеличением расхода воздуха возрастает диаметр трубы, что приводит к уменьшению концентрации вредных веществ в приземном слое, так как максимум концентрации будет при большой скорости ветра [см. формулу (5.15)] и при этом значение максимума концентраций будет меньше.

Представляется также возможность оценить целесообразность в каждом конкретном случае устройства факельных выбросов.

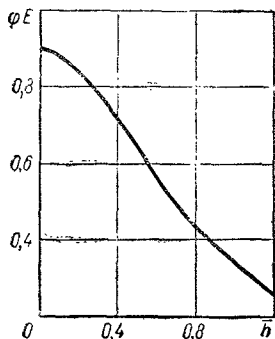
В местностях с большим числом штилевых дней и малыми средними скоростями ветра целесообразно устройство факельных выбросов. В этих условиях энергия, затрачиваемая на выброс воздуха, используется эффективно, так как подъем факела при малых скоростях ветра значительный.

В местностях, где преобладают сильные ветры, нецелесообразно устройство факельных выбросов, а экономичнее устройство высоких труб.

Определяя опасную скорость ветра, можно оценить целесообразность устройства аэрационных фонарей.

В местностях со значительной продолжительностью штилей и при малых скоростях ветра выброс загрязненного вредными веществами воздуха из малотеплонапряженных цехов может привести к значительному загрязнению приземного слоя атмосферы. Поэтому рекомендуется в местностях с длительностью штилей более 15% фонари ставить только в горячих цехах с высокой теплотонапряженности порядка более 80 ккал/м³·ч в цехах с пролетами 12 м и более 40 ккал/м³·ч в цехах с пролетами 24 м.

Рис. 5.9. График зависимости произведения φE от $\bar{h}$



В местностях с продолжительностью штилей более 50% устанавливать фонари целесообразно только в крупных (с пролетами более 24 м) высокотеплонапряженных (более 80 ккал/м³·ч) цехах.

В местностях с большими скоростями ветра и малым числом штилевых дней аэрационные фонари можно ставить и в менее теплонапряженных цехах. При этом необходимо, чтобы аэрационные фонари были незадуваемые и приточные окна располагались на наветренной незатененной стороне здания. В этом случае в большую часть времени скорость ветра будет больше опасной и концентрации в приземном слое будут значительно меньше ПДК.

Очень часто в практике проектирования необходимо решать обратные задачи, например:

1) определять, какой предельно допустимый выброс вредных веществ может быть, чтобы максимальная концентрация вредных веществ не превышала ПДК

$$c_m \leq c_{\text{пдк}}; \quad (5.39)$$

2) какую высоту трубы необходимо запроектировать, чтобы при заданном количестве выбросов вредных веществ M в данных конкретных условиях было соблюдено условие (5.39).

Такие задачи могут быть решены однозначно только в случае одного источника выделения данного вредного вещества.

Если выброс загрязненного воздуха производится через низкую затененную трубу, то предельно допустимый выброс данного вещества через эту трубу исходя из зависимости (5.15) может быть определен по формуле

$$\text{ПДВ}_{\text{тр}} = \frac{c_{\text{пдк}} D \omega H_{\text{зд}}}{0,54 \varphi E K_{\text{т}}}. \quad (5.40)$$

То же при выбросе загрязненного воздуха через фонарь, исходя из зависимости (5.33):

$$\text{ПДВ}_{\text{ф}} = \frac{c_{\text{пдк}} (2,25 Q^{1/3} H_{\text{зд}}^{2/3} + 2,9 K_{\text{лф}} L) l_{\text{ф}}}{2,9 K_{\text{лф}}}, \quad (5.41)$$

где, кроме ранее обозначенных величин, $l_{\text{ф}}$ — длина фонаря, м.

Формулу (5.41) можно упростить, если не учитывать второе слагаемое в числителе (естественный воздухообмен L).

Тогда с некоторым запасом

$$\text{ПДВ}_{\text{ф}} = \frac{0,78 Q^{1/3} H_{\text{зд}}^{2/3} c_{\text{пдк}} l_{\text{ф}}}{K_{\text{лф}}}. \quad (5.42)$$

При решении второй задачи необходимую высоту трубы при заданном количестве выбросов вредных веществ M также, исходя из зависимости (5.15), можно определить по формуле

$$\varphi E = \frac{c_{\text{ПДК}} D \omega H_{\text{зд}}}{0,54 M K_{\text{лТ}}}. \quad (5.43)$$

Если в рассматриваемом случае коэффициент φ имеет постоянное значение (см. примечание к табл. 5.2), то по определенному произведению φE находится значение E , а по табл. 5.4 соответствующее этому значению E величина $\bar{h}$.

В случае отдельно стоящего узкого здания, при котором $\varphi = f(\bar{h})$, величина $\bar{h}$ определяется по графику рис. 5.9 для данного произведения φE .

По найденному значению величины $\bar{h}$ необходимая высота трубы находится по формуле

$$h_{\text{тр}} = H_{\text{зд}} (1 + \bar{h}). \quad (5.44)$$

Если величина $\varphi E < 0,25$, то нельзя выбрасывать вредные вещества в зону аэродинамической тени. При величине $\varphi E > 0,9$ выбросы можно делать на уровне крыши.

ОТОПЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

6.1. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Задача отопления и вентиляции производственных помещений состоит в поддержании нормируемых метеорологических условий и чистоты воздуха в рабочей зоне. Эти метеорологические условия представляют собой совокупность температуры, влажности и подвижности воздуха, а также лучистого теплообмена, обеспечивающих необходимый тепловой баланс в организме работающих. Температурно-влажностное состояние воздушной среды, как показали многочисленные отечественные и зарубежные исследования, оказывает существенное влияние на производительность труда и заболеваемость рабочих.

Нормативными документами [28, 29] у нас в стране установлены допустимые и оптимальные параметры микроклимата, которые зависят от величины удельных избыточных тепловыделений, категории работ по тяжести и наружных климатических условий. Допустимые метеорологические условия следует поддерживать в рабочей зоне производственных помещений во время проведения основных и ремонтных работ. В цехах, где на одного работающего приходится более 50 м^2 площади пола, вне рабочих мест допускается пониженная температура воздуха. Оптимальные параметры в рабочей зоне обеспечиваются при наличии соответствующих требований (например, в помещениях пультов управления), а также в тех случаях, когда это не приводит к значительным дополнительным затратам.

В ряде зарубежных стран, в частности в США, в качестве нормируемой величины принята эффективная эквивалентная температура, которая имеет ряд недостатков. При разработке соответствующего нормативного документа для стран СЭВ за основу приняты советские нормы микроклимата.

В холодный период года необходимые температурные условия в производственных помещениях в рабочее время могут быть обеспечены системами воздушного отопления, совмещенными с вентиляцией, а также водяным, паровым, газовым или электрическим отоплением. При этом частично теплопотери могут быть

возмещены путем поступлений тепла от производственного оборудования.

При расчете теплопотерь особое внимание следует уделять учету инфильтрации наружного воздуха через щели и неплотности в притворах окон, фрамуг фонарей, дверей и ворот под действием ветрового и теплового напора [31]. Особенно это существенно в современных зданиях, имеющих значительную высоту, большие площади остекления и размеры открывающихся ворот.

В нерабочее время осуществляется дежурное отопление путем включения части нагревательных устройств основной системы отопления или переключения установок воздушного отопления и вентиляции на рециркуляцию. Дежурное отопление должно обеспечивать температуру воздуха в помещении 5°C , а при наличии особых требований — и более высокую температуру.

Выбор систем отопления следует производить в зависимости от строительной и теплотехнической характеристик здания, его назначения. Наиболее универсальным для производственных помещений больших размеров является воздушное отопление, как правило, совмещенное с вентиляцией. Системы парового и водяного отопления применяют обычно в цехах небольшой высоты. В больших цехах местные нагревательные приборы, обогреваемые водой или паром, могут быть использованы как дополнительное устройство для локализации холодных потоков у окон. Для обогрева рабочих мест и временных построек успешно внедряются системы лучистого отопления с помощью инфракрасных газовых и реже электрических нагревателей.

6.2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ

Ограждающие конструкции зданий должны обладать требуемыми теплозащитными свойствами и быть в достаточной степени воздухо- и влагонепроницаемыми. Теплозащитные свойства ограждений характеризуются сопротивлением их теплопередаче и теплоустойчивостью.

Общее термическое сопротивление при теплопередаче, когда по направлению движения тепла имеются последовательно соединенные элементы, равно сумме термических сопротивлений отдельных элементов и может быть определено по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_{вп}}{\lambda_{вп}} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_n}, \quad (6.1)$$

где α_n — коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$; α_n — коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, $\text{ккал}/\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^{\circ}\text{C}$; $\frac{\delta_1}{\lambda_1}$, $\frac{\delta_2}{\lambda_2}$, $\frac{\delta_{вп}}{\lambda_{вп}}$, $\frac{\delta_n}{\lambda_n}$ — термические сопротивления

отдельных слоев ограждающей конструкции и замкнутых воздушных прослоек, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}/\text{ккал}$; δ — толщина слоя многослойной конструкции, м; λ — коэффициент теплопроводности материала, $\text{ккал}/\text{м} \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}$ (принимается по СНиП II-A.7—71).

Для предотвращения возможности конденсации влаги температура внутренних поверхностей наружных ограждений, за исключением остекления, должна быть выше точки росы. Кроме того, необходимо, чтобы у людей, находящихся в непосредственной близости от ограждений, не было неприятного ощущения из-за повышенной теплоотдачи. Это обеспечивается, если сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций, определенное по формуле (6.1), будет не менее сопротивления теплопередаче, $R_0^{\text{тр}}$ ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot ^\circ\text{C}/\text{ккал}$), отвечающего санитарно-гигиеническим требованиям и определяемого по формуле

$$R_0^{\text{тр}} = \frac{n(t_{\text{в}} - t_{\text{н}})}{\Delta t_{\text{н}} \alpha_{\text{в}}}, \quad (6.2)$$

где n — коэффициент уменьшения расчетной разности температур для наружных ограждений; $t_{\text{в}}$ — расчетная температура внутреннего воздуха, $^\circ\text{C}$; $t_{\text{н}}$ — расчетная наружная температура $^\circ\text{C}$; $\Delta t_{\text{н}}$ — нормируемый температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждений, $^\circ\text{C}$.

Расчетная температура воздуха в помещении, как уже отмечалось, зависит от интенсивности выполняемой людьми работы, тепловыделений в помещении и принимается по СН 245—71 [28].

Температура наружного воздуха при определении $R_0^{\text{тр}}$ принимается согласно СНиП II-A.6—72 с учетом массивности ограждающих конструкций: для массивных ограждений — средняя температура наиболее холодной пятидневки; для легких ограждений — средняя температура наиболее холодных суток; для ограждений средней массивности — средняя из указанных выше температур.

Перепад между температурой воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения $\Delta t_{\text{н}}$ нормируется в зависимости от назначения помещения.

В табл. 6.1 приведены значения $\Delta t_{\text{н}}$, которые обеспечивают достаточно удовлетворительные условия пребывания людей в помещении. Коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждения могут приниматься в зависимости от их назначения и конструкции. Сопротивление теплопередаче конструкций оконных проемов следует принимать в зависимости от разности расчетных температур внутреннего и наружного воздуха и назначения помещения по данным СНиП II-A.7—71.

Требования к наружным ограждениям в отношении их теплоустойчивости, воздухо- и влагопроницаемости подробно изложены в СНиП II-A.7—71 и в настоящем разделе не рассматриваются.

Нормируемая разность температур

Помещения	Δt_n °С, не более	
	для наруж- ных стен	для покрытий и чердачных перекрытий
Отапливаемые помещения производственных зда- ний с расчетной относительной влажностью воздуха менее 50%	10	8
То же, от 50 до 60%	8	7
Помещения производственных зданий с избыточ- ными тепловыделениями и расчетной относи- тельной влажностью внутреннего воздуха не бо- лее 45%	12	12
Помещения производственных зданий (промышлен- ных, сельскохозяйственных и других предприя- тий) с расчетной влажностью внутреннего воз- духа выше 60%:		
а) в которых не допускается конденсация влаги на внутренних поверхностях стен и потолков	$t_v - t_p$	$t_v - t_p - 1$
б) в которых не допускается конденсация вла- ги на внутренних поверхностях потолков	7	$t_v - t_p - 0,5$

Примечание. Температурный перепад между расчетной температурой воздуха и температурой поверхности пола производственных зданий с постоянными рабочими местами, если на них не предусмотрены специальные мероприятия против охлаждения ног работающих, следует принимать равным $2,5^\circ\text{C}$. На участках, где отсутствуют постоянные рабочие места, Δt_n не нормируется.

6.3. ВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

Системы воздушного отопления производственных помещений получили широкое распространение. В качестве теплоносителя в них обычно используется горячая вода или пар. Применение для подогрева воздуха газа допускается в зданиях I и II степени огнестойкости для производств категории Г и Д при условии удаления продуктов горения наружу или обеспечения требований по чистоте воздуха в отапливаемом помещении средствами вентиляции.

Централизованные системы воздушного отопления применяются наряду с децентрализованными (отопительные агрегаты).

Рециркуляция воздуха находит достаточно широкое применение, способствуя повышению экономичности систем отопления. Допускается рециркулировать воздух помещений, в которых нет вредных выделений или имеются в воздухе вещества IV класса опасности в концентрациях не выше 0,3 ПДК [28]. В помещениях с производствами категорий А, Б и Е рециркуляция не допускается.

Для оценки эффективности отопления особое значение имеет характер распространения тепла по помещению, определяемый

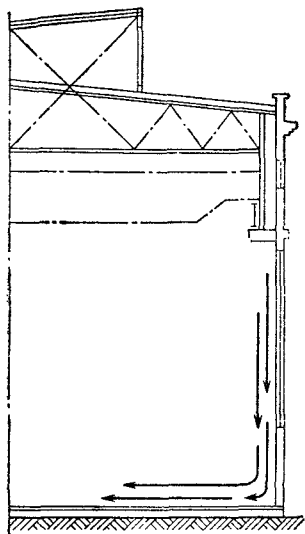
воздушными течениями. Если циркуляция возникает благодаря естественной конвекции, как это имеет место, например, в случае использования нагревательных приборов, то происходит медленное распространение тепла. Следствием этого является значительный температурный градиент по высоте помещения, достигающий $0,5\text{--}1^\circ\text{C}/\text{м}$ при небольшой тепловой нагрузке помещений и $2\text{--}3^\circ\text{C}/\text{м}$ при значительной тепловой нагрузке [3]. Наличие градиента температуры вызывает не только дополнительные затраты тепла на поддержание требуемой температуры воздуха в рабочей зоне, но и приводит к повышенным теплопотерям через перекрытие. Доля потерь тепла через перекрытие велика и для промышленных зданий большого объема со световыми фонарями может достигать 75% затрат тепла на отопление.

Достаточно равномерное распределение тепла как по высоте, так и по площади помещения может быть обеспечено с помощью сосредоточенной подачи воздуха мощными струями, создающими циркуляцию воздуха во всем объеме помещения. Необходимым условием при расчете сосредоточенной подачи является учет неизотермичности воздушных струй. С учетом этого условия в ряде случаев не представляется возможным подать необходимое количество тепла централизованной приточно-отопительной системой и дополнительно тепло вносится воздушно-отопительными агрегатами, которые также используются для дежурного отопления. Следует отметить, что для выпускаемых промышленностью отопительных агрегатов характерна подача воздуха с относительно небольшими скоростями и значительной избыточной температурой, что приводит к всплыванию нагретого воздуха вверх за счет подъемной силы в струе. Особенно это ощутимо в агрегатах марки АПВС, для которых значение характеризующего гравитационные силы в струе критерия Архимеда на истечении Ar_0 составляет $0,02\text{--}0,10$. Несколько лучшую по этому показателю характеристику имеют агрегаты марки АПС и СТД-300. Однако и они нуждаются при эксплуатации в регулировании направления истекающей нагретой струи в зависимости от избыточной температуры. Более подробно вопросы воздушного отопления рассмотрены для конкретных цехов совместно с системами приточной вентиляции.

6.4. СИСТЕМЫ ВОДЯНОГО И ПАРОВОГО ОТОПЛЕНИЯ

Системы водяного и парового отопления высокого или низкого давления обычно применяются в производственных помещениях высотой до 5 м. В больших цехах они используются в случае необходимости для локализации холодных потоков у окон. Выбор системы отопления, вида и параметров теплоносителя определяется тепловой инерцией ограждающих конструкций, характером

Рис. 6.1. Схема движения холодных потоков воздуха у наружных ограждений



и назначением помещения. Следует иметь в виду, что теплоноситель целесообразно принимать тот же, который используется для технологических нужд, если это не противоречит гигиеническим, экономическим и техническим требованиям [29]. Температура теплоносителя не должна превышать 150°C для горячей воды и 130°C для пара; в помещениях с производствами категорий А, Б, В и Е она не должна быть выше 80% значения температуры воспламенения газов, паров и пыли, могущих соприкасаться с горячими поверхностями элементов системы отопления. В помещениях, где возможно присутствие в воздухе веществ,

способных к самовоспламенению при соприкосновении с горячими поверхностями, а также к самовозгоранию или взрыву при контакте с водой, не допускается устройство систем с местными нагревательными приборами.

Схемы разводки теплоносителя к нагревательным приборам могут быть двухтрубные, однетрубные, вертикальные проточные или горизонтальные. Системы должны выполняться самостоятельными, не связанными с подачей тепла для технологических нужд, а также в приточные вентиляционные камеры и др. Для помещений, в которых могут резко меняться потери тепла через ограждения и поступления тепла от солнечной радиации и технологического оборудования, предусматриваются отдельные регулируемые системы или ветви.

В качестве нагревательных приборов используются радиаторы, конвекторы, отопительные панели, ребристые трубы; выбор приборов обосновывается экономическими, гигиеническими и эстетическими соображениями.

Для помещений категорий А, Б, В и Е рекомендуются нагревательные элементы из гладких стальных труб, допускающие легкую их очистку.

Нагревательные приборы должны быть расположены преимущественно под световыми проемами по возможности по всей длине. Тогда нагретые конвективные потоки позволяют парализовать холодные токи воздуха, возникающие в помещении у холодных поверхностей наружных ограждений (рис. 6.1). Это особенно существенно при расположении рабочих мест вблизи (на расстоянии до 2 м) от окон и наружных стен.

6.5. ГАЗОВОЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОТОПЛЕНИЕ

В последние десятилетия в нашей стране и особенно за рубежом получили распространение системы лучистого отопления газовыми горелками инфракрасного излучения.

Такие системы применяют для поддержания требуемых параметров воздуха по всей площади цеха. Однако наиболее эффективны и экономичны они в производственных цехах, где на больших площадях занято небольшое количество обслуживающего персонала и представляется возможным ограничиться только локальным отоплением рабочих мест, а также в недостаточно теплоизолированных полуткрытых помещениях, на открытых площадках и при эпизодическом отоплении помещений кратковременного пользования. Не допускается применение этих систем в помещениях с производствами, отнесенными по пожарной опасности к категориям А, Б, В, Е, в помещениях, в которых находятся материалы, способные под воздействием инфракрасных лучей изменять свойства и разлагаться с образованием токсичных или взрывоопасных веществ, а также в зданиях III, IV и V степеней огнестойкости.

При инфракрасном отоплении основное количество тепла поступает в виде лучистой энергии, излучаемой раскаленными до 800—900° С керамическими или металлическими насадками. При таких температурах максимум интенсивности излучения соответствует инфракрасной части спектра электромагнитных колебаний с длиной тепловых волн около 1,5—4 мкм.

Энергия, излучаемая горелками, распространяется в пространстве прямолинейно и может быть направлена на поверхности ограждающих конструкций и оборудования, находящиеся в отапливаемой зоне, которыми эта энергия частично поглощается, а частично отражается.

При лучистом отоплении воздух в помещении в основном нагревается за счет вторичной конвективной отдачи тепла от нагретых поверхностей стен, пола и оборудования; нагрев же воздуха непосредственно от излучения незначителен.

Газовые горелки инфракрасного излучения имеют высокий коэффициент прямой отдачи лучистой энергии, достигающий 60—65%. Коэффициент полезного действия систем отопления газовыми горелками инфракрасного излучения достигает 90—99%.

Проектирование газопроводов и других устройств газоснабжения для систем отопления и местного обогрева необходимо осуществлять в соответствии с Правилами безопасности в газовом хозяйстве Госгортехнадзора СССР и СНиП I-Г.8—66, II-Г.2—66, III-Г.2—66.

Устройство горелок инфракрасного излучения независимо от их типа в принципе одинаково и они имеют общие элементы, отличающиеся лишь различными конструктивными особенностями.

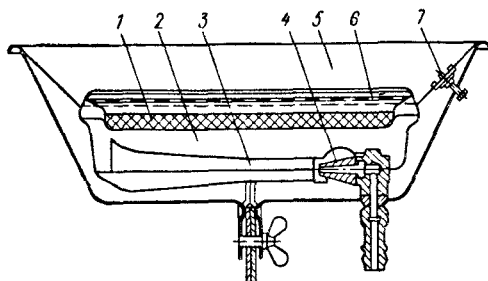


Рис. 6.2. Схема газовой горелки инфракрасного излучения:

1 — керамическая насадка; 2 — камера смешения; 3 — инжектор-смеситель; 4 — сопло; 5 — рефлектор; 6 — металлическая сетка; 7 — устройство для дистанционного зажигания горелки

На рис. 6.2 показана принципиальная схема горелки. В настоящее время серийно выпускается ряд инфракрасных излучателей, технические характеристики которых приведены в табл. 6.2.

Принцип устройства газовых горелок, выпускаемых за рубежом, в основном идентичен описанному выше: они отличаются лишь оформлением и конструкцией отдельных узлов и деталей. Особый интерес представляют установки инфракрасного излучения для обогрева рабочих мест во взрывоопасной среде, разработанные фирмой «Асей» (Франция). Тепловая мощность такой установки, состоящей из двух горелок типа INE-8000, достигает 4500 ккал/ч.

Газовые горелки инфракрасного излучения могут подвешиваться к перекрытию, к фермам или крепиться на стенах помещения. В помещениях высотой до 4 м горелки должны располагаться на расстоянии 0,3—0,4 м от потолка. В помещениях выше 4 м высота подвеса горелок определяется условиями производства. Но при этом расстояние от горелок до сгораемых конструкций должно быть не менее 1 м.

Зажигание горелок может осуществляться переносными запальниками или дистанционно. Теплопроизводительность системы отопления можно регулировать в зависимости от наружной температуры путем отключения части излучателей. Не допускается осуществлять регулировку путем изменения давления газа перед горелками.

В системах газового отопления очень важно обеспечить условия надежной и безопасной работы горелок, особенно при их групповом расположении. С этой целью системы обеспечиваются автоматикой, предназначенной для группового дистанционного розжига, контроля горения и отключения газа в случае неисправности горелок. В настоящее время Саратовским заводом «Газ-аппарат» выпускаются автоматы типа «Искра» АЗКГ-II и усовершенствованная модель АЗКГ-IIА. Автоматика типа «Искра» позволяет осуществлять повторный розжиг горелок при погасании одной из них; также она может быть использована для регулирования температуры воздуха в отапливаемом помещении при подключении к ней датчика температуры.

Технические характеристики газовых горелок инфракрасного излучения

Тип горелки	Природный газ $Q_p^H = 8500$ ккал/м ³						Сжиженный газ $Q_p^H = 22\ 000$ ккал/м ³						Завод-изготовитель					
	Тепловая нагрузка, ккал/ч		Расход газа, м ³ /ч		Давление газа, кгс/м ²		Температура поверхности керамики, °С		Тепловая нагрузка, ккал/ч		Расход газа, м ³ /ч			Давление газа, кгс/м ²		Температура поверхности керамики, °С		
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max		min	max	min	max	
«Звездочка»	1 400	2 100	0,16	0,25	80	160	740	900	1 000	2 300	0,52	0,09	200	500	720	900	1,12	Казанский 3-д «Газопарат»
ГИИВ-1	2 000	3 200	0,24	0,35	100	200	750	920	1 700	2 800	0,08	0,115	150	400	720	900	3,2	То же
ГИИВЛ	2 400	4 500	0,28	0,53	70	250	750	920	2 200	4 000	0,1	0,18	150	500	720	900	1,7	»
ГК-27 VI	6 400		0,75		130	200	850	900	6 400		0,29		300		850	900	3,4	«Газопарат»
с керамической насадкой																		«Газопарат» (г. Саратов)
ГК-27 VI с металлической насадкой	5 500		0,635		130	200	750	800	4 500		0,204		300		750	800	3,9	То же
ГИИС-20-01-00-00	22 000		—		130	200	—	—	20 000		—		300		—	—	20	»
ГК-1-38	20 000±1 000		2,36±0,05		130		850	950	20 000±1 000		0,9±0,05		300		850	950	10,0	Экспериментальный «Газавтомат» (г. Саратов)

В случае применения систем отопления с газовыми излучателями необходимо предусматривать общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию, обеспечивающую содержание окиси углерода в воздухе производственных помещений не выше 6 мг/м^3 при условии, что технологический процесс в них не сопровождается выделением окиси углерода.

В помещениях при устройстве газового отопления без отводов продуктов сгорания необходимо предусматривать общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию с естественным или механическим побуждением, причем удаление воздуха надо осуществлять из верхней зоны выше уровня расположения горелок. При сжигании в горелках сжиженного газа необходимо устраивать дополнительную вытяжку из нижней зоны помещения, которая используется в аварийных случаях.

Расчет систем газового инфракрасного отопления и местного обогрева может быть выполнен на основании «Временных указаний по расчету, проектированию и устройству систем газового инфракрасного отопления» и «Временных указаний по расчету, проектированию и устройству систем местного обогрева газовыми горелками инфракрасного излучения в крупногабаритных зданиях и сооружениях».

Стоимость капитальных затрат на устройство систем газового отопления, а также расходы на их эксплуатацию значительно ниже, чем в системах отопления при теплоносителе паре или воде. Экономический эффект при отоплении газовыми горелками инфракрасного излучения определяется тем, что в этой системе обеспечивается сжигание дешевого газа и получение тепла непосредственно там, где оно требуется. Кроме того, экономичность этих систем повышается еще и потому, что комфортные условия для человека достигаются при температуре воздуха в помещении на несколько градусов ниже, чем при других системах отопления.

Экономический эффект при применении систем отопления горелками инфракрасного излучения по сравнению с конвективными системами отопления составляет 25—35%.

Системы электрического отопления подразделяются на лучистые и лучисто-конвективные. В системах лучистого отопления применяются инфракрасные излучатели направленного действия, которые подразделяются на две группы:

светлые, которые, имея температуру излучающей поверхности около 2000°C , испускают свет и инфракрасные лучи и могут быть использованы для одновременного освещения и отопления помещений;

темные, которые почти не испускают свет и обычно имеют температуру поверхности $900\text{—}1100^\circ \text{C}$.

Основные характеристики излучателей с металлической оболочкой, выпускаемых одним из горьковских заводов, приведены в табл. 6.3.

Основные характеристики ламп-термоизлучателей ЭС и темных излучателей

Наименование	Тип лампы	Номинальные электрические параметры		Основные размеры, мм		Диаметр резьбового цоколя, мм	Диаметр излучающего стержня, мм	Срок службы, ч
		Напряжение, В	Мощность, Вт	Диаметр	Длина			
Лампы-термоизлучатели ЭС	ЭС—1	127	500	180	267	40	—	2000
	ЭС—3	127	250	180	267	40	—	2000
	ЭС—3	220	500	180	267	40	—	2000
Темные излучатели	1	200	700	950	100	—	10	—
	2	70	400	435	100	—	10	—
	3	127	600	950	100	—	10	—
	4	220	700	950	100	—	10	—

Расчет систем инфракрасного электрического отопления может быть выполнен в соответствии с рекомендациями, приведенными в Справочнике проектировщика [32].

Для оценки экономичности электрического инфракрасного отопления можно привести данные западногерманских специалистов, которые считают, что при использовании электрического оборудования для этих целей расход энергии составит ~60 % от энергии, расходуемой при конвективном способе отопления.

Условия применения и наиболее экономичного использования систем электрического инфракрасного отопления в основном те же, что и для систем с газовыми инфракрасными излучателями.

Лучисто-конвективное отопление помещений осуществляется с помощью электроконвекторов, электрорадиаторов и электропечей.

Размещение электронагревательных приборов выполняется так же, как и в системах водяного или парового отопления. Техническая характеристика электрических нагревательных приборов приведена в табл. 6.3.

В нашей стране пока еще ограничено использование электроэнергии для целей отопления и поэтому устройство таких систем возможно при условии технико-экономического обоснования и с разрешения соответствующего энергообъединения. В первую очередь их следует применять в районах ГЭС, а также в местах, где отсутствуют местные тепловые ресурсы, а доставка топлива очень дорога.

ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОТОПЛЕНИЕ ЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

7.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС И САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧУГУНО- И СТАЛЕЛИТЕЙНЫХ ЦЕХОВ

Последние десятилетия характеризуются строительством в стране вместо традиционных мелких литейных значительного числа крупных цехов, протяженность которых измеряется сотнями метров. Запроектированы и построены большие литейные цехи автомобильных заводов, заводов тракторных и сельскохозяйственных машин, металлургических и станкостроительных предприятий и в других отраслях промышленности.

Основным способом на ближайшие годы остается литье в песчаные формы (около $\frac{2}{3}$ всего литья). Однако более широко, чем в предыдущие годы, применяется литье в кокили, оболочковые формы и по выплавляемым моделям.

Технология чугуночного и стального литья характеризуется способом производства с высоким уровнем механизации всех операций.

За последние годы значительно изменился состав формовочных и стержневых смесей. Применение жидконаливных самоотверждающих смесей (ЖСС) и смесей холодного твердения (ХТС) значительно облегчили и ускорили процесс формования. Отпала необходимость в сушильных камерах. Вместо 24 ч твердение формовочных смесей ЖСС происходит за 20—60 мин. Значительно уменьшились усилия для выбивки опок и освобождения отливок от формовочной смеси. Благодаря этому ускорился технологический цикл литья.

Следует отметить, что в новые формовочные смеси входят высокотоксичные компоненты. ЖСС содержит хромовый ангидрид, ХТС — различные органические смолы. В процессе производства чугуна и стали часть этих веществ поступает в воздух.

Всесоюзный научно-исследовательский институт охраны труда в г. Свердловске проводил изучение динамики и количества вредных веществ, выделяющихся при твердении формовочной смесью ХТС (табл. 7.1) и при заливке металла в формы. Под влиянием тепла жидкого металла из формовочных смесей, содержащих фенолформальдегидную смолу ОФ-1, выделяется окись углерода,

Выделения вредных веществ за 8 часа из формовочной смеси
холодного твердения (ХТС), мг

Смола	Марка	Фенол	Формальдегид	Метанол	Фурфурол	Ацетон
Фенолформальдегидная	ОФ-1	0,45	0,85	2,77	—	87,26
»	ОФ-1а	0,32	0,79	—	—	—
Фенолфурановая	ФФ-1ф	0,41	0,46	4,05	0,36	—
Карбамидная	УКС-Л	—	0,49	86,9	0,36	—

Примечание. Формовочная смесь содержит 200 г кварцевого песка и 4 г смолы.

бензол, фенол, формальдегид, метанол; при работе с карбамидной смолой УКС-Л — окись углерода, формальдегид, метан, цианиды, аммиак и др. Максимальные выделения, по данным СИОТ, превышают средние в 1,3—1,5 раза и наблюдаются к концу первого часа после заливки. Поэтому при расчете высоту выбросов концентраций в приземном слое следует определять, учитывая неравномерность выделений во времени.

В последние годы учеными определена значительная токсичность фенола; его предельно допустимая концентрация с 1975 г. утверждена 0,3 мг/м³, т. е. в 17 раз меньше существовавшей ранее нормы 5 мг/м³. В связи с этим при работе с материалами, содержащими фенол, теперь невозможно с помощью общеобменной вентиляции снизить концентрации в зоне дыхания до необходимой величины. Поэтому все работы со стержневыми смесями ХТС необходимо проводить в зоне действия местной вытяжной вентиляции.

Изменился состав и песчано-глинистых формовочных смесей (ПГС). В настоящее время в них не вводят олифу, уайт-спирит и ряд других веществ, а добавляют молотый уголь, жидкое стекло, раствор едкого натра, древесные опилки.

Формовочные смеси на 70—90% состоят из отработанной (горелой) земли, а в стержневых смесях содержится такое же количество кварцевого песка и глины, поэтому технологический процесс в складах шихты и формовочных материалов, а также в смесеприготовительном отделении изменился незначительно.

В современных литейных цехах источником тепла является электрическая энергия. Мазут, каменный уголь, дрова используются крайне редко. Применяют в основном электродуговые печи для плавки стали, в ряде случаев используют высокочастотные и индукционные печи. При варке стали в электродуговых печах выделяются пыль и газы (табл. 7.2), количество которых

Количественный и качественный составы газов, выделяющихся при работе электродуговых печей

Показатели	Периоды работы печи		
	Плавление	Окисление	Восстановление
Содержание газов, %:			
CO ₂	8—14	14—20	7—20
CO	8—12	11—18	30—70
O ₂	0,5—2	0—0,5	0—0,08
NO ₂	75—79	66—70	18—57
Количество газов на 1 т стали, м ³ /ч	10—35	100—250	25—50
Температура газов на выходе из печи, °C	500—1300	1600—1200	1600—1200
Вынос пыли на 1 т стали кг/ч	0,15—0,6	2,3—3,6	0,3—1,3
Давление под сводом печи, кг/м ²	0—2	2—4	2—6
Продолжительность периодов работы, %	37—40	15—18	33—35

Примечания: 1. Максимальные выделения окиси углерода и пыли относятся к жароупорным и нержавеющей сталям.

2. Продолжительность заправки печи 8—10%.

зависит от периодов работы печи [38]. Скорость выбивания газов из печи пропорциональна давлению, образующемуся под сводом, и равняется 15—25 м/с.

Устройства для очистки воздуха от пыли выбираются, как известно, в зависимости от фракционного и химического состава пыли. Следует отметить, что при плавке стали составы пыли зависят от сорта выплавляемой стали и периода работы печи, поэтому их по возможности следует уточнить у технолога.

Ниже приводится примерный химический состав пыли в %: 56,8 FeO₃; 10,0 Mn₂O₃; 5,0 Al₂O₃; 6,9 SiO₂; 6,9 CaO; 5,8 MgO, остальное — хлориды, окись хрома и фосфора. Плотность пыли 4,54 г/см³.

Средний фракционный состав пыли в окислительный период характеризуется следующими данными:

Размер частиц, мкм	0—2	2—4	4—6	6—8	8—10	10 и выше
Содержание, %	52,2	22,5	6,2	7,3	2,5	9,3

При этом 10—12% тепла, образующегося в электропечи, удаляется с дымовыми газами, а около 10% поступает в помещение через ограждения печи.

При разливе металла в земляные формы кроме тепла выделяется окись углерода. Необходимо обратить внимание, что санитарными нормами, утвержденными в 1971 г., установлена более низкая предельно допустимая концентрация окиси углерода

в рабочей зоне — 20 мг/м^3 вместо 30 мг/м^3 . В связи с этим величина удельных воздухообменов, рекомендованная до 1971 г., требует корректировки.

При плавке стали в индукционных печах выделяется незначительное количество газов, а пыли в 5—6 раз меньше, чем при работе электродуговых печей. Образуется более крупная пыль и ее возможно улавливать в циклонах.

Большое количество пыли образуется при выбивке спок, транспортировке горелой смеси, приготовлении формовочных смесей. За последние годы на ряде предприятий произведена автоматизация землеприготовления, применены установки гидравлической или гидроабразивной очистки отливок и ряд других мероприятий по снижению пылевыведений. Однако до настоящего времени местная вытяжная вентиляция продолжает оставаться решающим фактором в деле улучшения условий труда.

7.2. ТЕНДЕНЦИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Совершенствование технологического процесса и создание крупных литейных цехов (Волжского и Камского автомобильных заводов и др.) вызвало изменение строительных решений зданий. Для сокращения длины коммуникаций трубопроводов, заливочных конвейеров, транспортеров формовочной и горелой смеси в настоящее время предусматривают размещение всех отделений в одном корпусе, в так называемом блокированном цехе (см. гл. 14). Такие здания в плане имеют прямоугольную форму и значительную протяженность, плоскую хорошо проветриваемую крышу без фонарей. При строительстве литейных отказались от бывших традиционных П и Ш-образных в плане зданий. Эти здания, имея развернутый периметр, предусматривали широкое использование аэрации через фрамуги в фонарях и в окнах.

Опыт применения аэрации показал, что естественным путем воздух может поступать в помещения на глубину не более 30 м. Поэтому в блокированных корпусах с помощью аэрации можно проветривать только крайние пролеты, а в остальных используют механическую приточно-вытяжную вентиляцию. Для освещения цехов используют зенитные фонари.

Удаление воздуха с помощью механической вентиляции дает возможность применять устройства для очистки воздуха и выбрасывать его на высоте, определенной из условия обеспечения концентраций веществ в приземном слое, не превышающих предельно допустимые.

Признано целесообразным строительство двухэтажных литейных цехов с расположением на первом этаже конвейеров обработанной формовочной смеси, различных коммуникаций.

В литейных, запроектированных Гипроавтопромом, в последнее время предусматривают значительное увеличение площадей

и объемов зданий. Если раньше на 1 т жидкого металла, выпущенного в течение часа, приходилось около 20 тыс. м³ объема здания, то теперь 30 тыс. м³ и более.

7.3. МЕСТНЫЕ ВЫТЯЖНЫЕ УСТРОЙСТВА

В литейных цехах, как уже отмечалось, имеется значительное количество источников выделения вредных газов, паров и пыли, для локализации которых необходимо предусматривать местную вытяжную вентиляцию. Наиболее неблагоприятными с точки зрения выделения вредных веществ являются, как известно, плавка стали, заливка металла в формы, выбивка опок и транспортировка горелой смеси. Остановимся на решении местной вытяжной вентиляции при этих процессах.

От электродуговых печей наиболее простым в эксплуатации вытяжным устройством, получившим широкое распространение в 50—60 годах, являются шахты, расположенные над печами (рис. 7.1, а). Шахты имеют свесы, спускающиеся на 2—3 м ниже перекрытия. Удаление воздуха из шахт осуществлялось либо через жалюзи, дефлекторы, либо осевыми вентиляторами.

Количество воздуха, удаляемого от электродуговых печей, нормируется в зависимости от емкости печи. Так, например, через ширму над 5-тонной печью следует удалить 65 000 м³/ч воздуха.

Решая вопрос оздоровления условий труда в цехе, указанный способ не предусматривал очистку удаляемого воздуха от пыли,

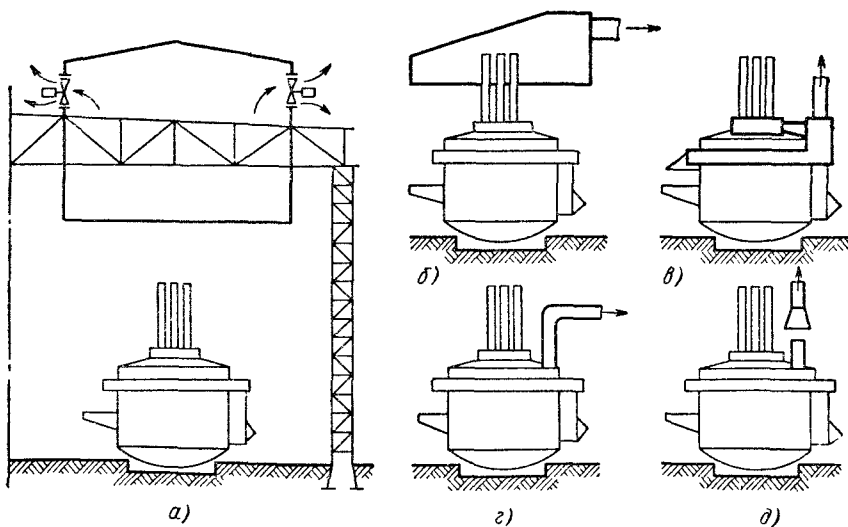


Рис. 7.1 Схема вентиляции электродуговых печей

что приводит к загрязнению атмосферы, поэтому устройство вытяжных шахт не может быть рекомендовано.

Более удачным местным укрытием следует считать зонты различной конструкции, размещаемые над печью (рис. 7.1, б). Зонты выполняются, как правило, поворотными или передвижными. Удаление воздуха производится вентилятором. Скорость в открытом отверстии укрытия должна быть не менее 2 м/с. В зависимости от конструкции зонта и его расположения от 5-тонной печи следует удалять воздух 25 000—45 000 м³/ч.

Опыт эксплуатации поворотных зонтов, расположенных над электродуговыми печами марки ДС-5мт (пятитонные) на Ленинградском заводе «Большевик», показал хорошую эффективность (до 99%) при удалении 25 900 м³/ч воздуха. Температура удаляемого воздуха составляла 160—180° С, что дало возможность применять центробежные вентиляторы общепромышленного назначения. В рассматриваемом случае был применен центробежный вентилятор типа ЦП7-40.

Рядом советских и зарубежных авторов было предложено устройство кольцевых отсосов от щелей, образуемых электродами и корпусом печи (рис. 7.1, в), а также от сливного желоба. Недостатком такой конструкции явилось быстрое прогорание стенок кольцевых отсосов и выход установки из строя. В связи со сложностью изготовления и ремонта воздухоприемников данный способ получил ограниченное распространение.

На некоторых заводах проводились опыты по непосредственному удалению дымовых газов из печи через специальный патрубок без подсоса воздуха из помещения (рис. 7.1, г). В этом случае количество удаляемых дымовых газов будет минимальным и составит для пятитонной печи 800—900 м³/ч. Недостатками такого способа является: непостоянство количества удаляемого воздуха в разные периоды работы печи (см. табл. 7.2); отсутствие дожигания окиси углерода; возможность образования взрывоопасных концентраций окиси углерода в воздуховоде.

Следовательно, данный способ удаления дымовых газов не может быть рекомендован.

Указанные выше недостатки отпадают, если предусмотреть разрыв между патрубком печи 2 и подвижным зонтом 3 (см. рис. 7.1, д и 7.2). Такая схема предложена ГПИ «Сантехпроект» (г. Москва) и успешно эксплуатируется на ряде заводов. Изменяя расстояние между патрубком и зонтом, можно регулировать количество транспортируемого воздуха, оставляя его постоянным в разные периоды работы печи. Перемещение зонта осуществляется пневмоприводом 4 с пульта управления печью.

В связи с подмешиванием воздуха на участке воздухопровода 5 происходит дожигание окиси углерода. Снижение температуры смеси до 60—400° С происходит благодаря дополнительному поступлению воздуха через патрубок 7.

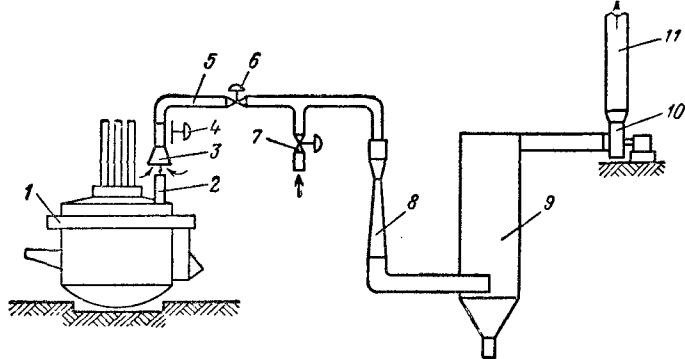


Рис. 7.2. Схема очистки воздуха, удаляемого от электродуговых печей:

1 — электродуговая печь; 2 — патрубок; 3 — подвижный зонт; 4 — механизм перемещения зонта; 5 — воздуховод зоны дожигания окиси углерода; 6 — регулирующий клапан; 7 — трубопровод с клапаном для подмешивания воздуха; 8 — труба Вентури; 9 — каплеуловитель; 10 — вентилятор; 11 — выброс

Следовательно, вытяжная установка должна обеспечить удаление дымовых газов, образующихся в печи, L_r ($\text{нм}^3/\text{ч}$) и при дожигании окиси углерода L_d ($\text{нм}^3/\text{ч}$) в воздуховоде, а также воздуха, поступающего из помещения для снижения температуры смеси L_n ($\text{нм}^3/\text{ч}$). Величина L_n определяется из уравнения

$$(L_r + L_d) t_r + L_n t_n = (L_r + L_d + L_n) t_c, \quad (7.1)$$

где t_r — температура газов, $^{\circ}\text{C}$; t_n — температура воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$; t_c — температура смеси, $^{\circ}\text{C}$.

Для удаления дымовых газов от пятитонной печи и снижения температуры газозвушной смеси до 100°C необходимо удалить воздуха $825 + 605 + 18\,600 = 20\,030 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Сопоставим количество воздуха, которое следует удалять при различных способах вентиляции 5-тонной электродуговой печи. Если за основной принять воздухообмен при вентиляции по схеме (рис. 7.1, д), то необходимый воздухообмен будет большим по схеме а в 3,25 раза, по схеме б — в 2,25 и по схеме в — в 1,5 раза.

Воздух, удаляемый от электропечей, перед выбросом в атмосферу подлежит очистке. Государственным проектным институтом «Сантехпроект» разработана схема очистки дымовых газов от электродуговых печей (рис. 7.2) и предложена методика расчета основных элементов. Для очистки воздуха от пыли предусматривают коагулятор — трубу Вентури 8 и центробежный каплеуловитель 9. Степень очистки воздуха от пыли 95—97%. Высота выброса определяется, исходя из условий рассеивания пыли в атмосфере согласно данным, приведенным в гл. 5.

Для очистки воздуха от пыли могут применяться также рукавные фильтры и электрофильтры. При сухом улавливании

уменьшается аэродинамическое сопротивление системы, расходуется меньше электроэнергии. Коэффициент полезного действия превышает 99%. Срок службы рукавных фильтров 14—18 тыс. ч.

Вентиляция выбивных решеток решается различными способами, но наиболее эффективным и экономичным являются накатные устройства. При укладке и съеме изделий укрытие сдвигают с решетки, а перед выбивкой подвигают. Укрытия выполняют секционными.

Как известно, долговечность местного отсоса при хорошей эффективности зависит от удачной его конструкции, не мешающей проведению технологического процесса, а также от надежности и легкости перемещения подвижных частей. Таким условиям отвечает конструкция накатного устройства выбивной решетки размером $6,4 \times 4,5$ м, предложенная инж. Г. А. Синициным, и находящаяся в эксплуатации продолжительное время (рис. 7.3). Укрытие состоит из двух секций, передвигаемых на колесиках по рельсам. Подключение укрытия к вентилятору осуществляется с помощью телескопического воздуховода 3. Практическое отсутствие пыли в цехе достигается при удалении от укрытия $42\,000\text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха. В этом случае удельные выделения вредных веществ составляют $1450\text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ на 1 м^2 решетки, что меньше рекомендуемого ($1500\text{—}2000\text{ м}^3/\text{ч}$).

Укрытия транспортера горячей отработанной формовочной смеси имеют различную конфигурацию. Основным недостатком большинства укрытий является ограничение зоны обслуживания при ремонте и уборке материала, который просыпается на холостую ветвь и на пол. На рис. 7.4 приведен схематический чертеж укрытия транспортера с надвижными секциями, разработанного

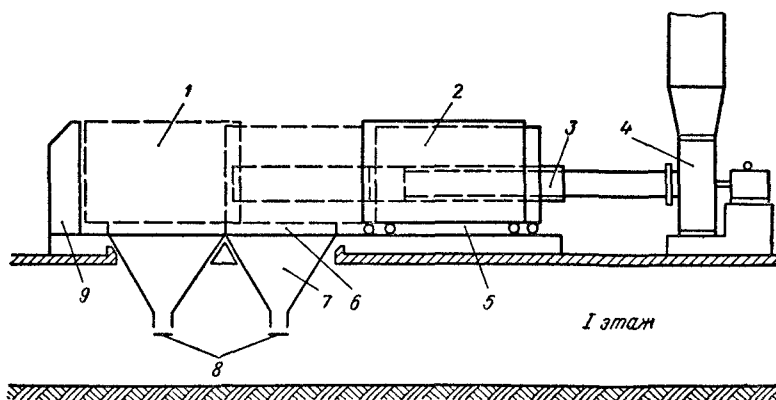


Рис. 7.3. Накатное вентиляционное укрытие выбивной решетки:

1 — накатное укрытие в рабочем положении; 2 — накатное укрытие в собранном положении; 3 — телескопический воздуховод; 4 — вентилятор; 5 — рельсовые пути; 6 — выбивная решетка; 7 — бункер; 8 — транспортер обратной земли; 9 — упор накатного укрытия

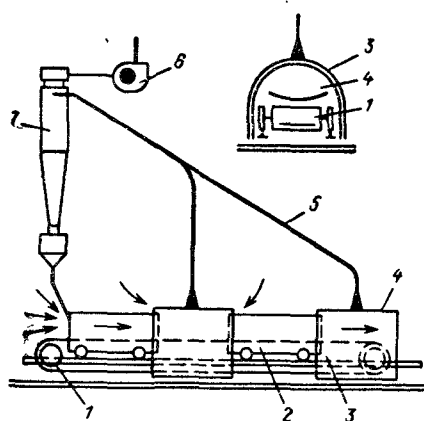


Рис. 7.4. Вентиляция транспортера обратной земли:

1 — транспортер; 2 — подвижные секторы укрытия; 3 — неподвижные секторы; 4 — шторы боковые; 5 — воздуховоды; 6 — вентилятор; 7 — пылеулавливающее устройство

ВНИИЦветметом. Укрытие состоит из подвижных элементов, перемещаемых по рельсам, и стационарных секций, через которые осуществляется отсос воздуха. Скорость в щелях укрытия принимается в пределах 1,5—2,0 м/с. Места отсосов рекомендуется сосредотачивать при наклонных транспортерах

и горячем транспортирующем материале в верхней части, при горизонтальных лентах — в сторону сбрасывания материала. По ходу движения ленты наблюдается эжекция воздуха движущимися материалом и лентой. Количество воздуха на 1 м длины ленты может быть определено в зависимости от ширины ленты b (м) и скорости воздуха в щелях v (м/с) по выражению

$$L = b(b + 1)v. \quad (7.2)$$

Места заливки при конвейерном литье оснащают наклонными панелями равномерного всасывания, через которые удаляют по 4000 м³/ч воздуха с 1 м длины панели. После заливки формы поступают в охлаждающий коридор, оборудованный также местной вентиляцией.

При литье на плацу устройство местной вытяжной вентиляции необходимо, если стержни были изготовлены из смесей ЖСС или ХТС. При применении песчано-глинистых смесей (ПГС) разбавление окиси углерода, выделяющейся при заливке, может быть осуществлено общеобменной вентиляцией.

Вентиляция при изготовлении стержней необходима в связи с применением новых формовочных смесей, содержащих вредные вещества. В настоящее время используют специальные ящики (рис. 7.5), размеры которых зависят от длины и ширины изделий.

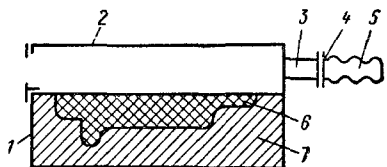


Рис. 7.5. Вентиляция стержневого ящика при формовке смесей холодного твердения:

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — воздуховод; 4 — фланец; 5 — гибкий шланг; 6 — формовый стержень; 7 — модель

При формировании стержней из смеси ХТС ящики имеют патрубок для подключения к вытяжной вентиляции с помощью гибкого шланга. Вентиляция должна обеспечить скорость в открытом проеме ящика не менее 0,7 м/с. Учитывая взрывоопасность выделяющихся паров, количество удаляемого воздуха принимается таким, чтобы концентрации этих веществ были не более 50% нижнего предела взрывоопасности.

Учитывая токсичность и взрывоопасность выделяющихся веществ, вытяжную систему оборудуют резервным вентиляционным агрегатом и блокировкой на случай остановки основного вентилятора. Установку следует эксплуатировать не менее 3 ч после подключения последнего стержневого ящика.

7.4. ОБЩЕОБМЕННАЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Большинство отделений литейного цеха имеют значительные теплоизбытки, для поглощения которых предусматривается общеобменная приточно-вытяжная вентиляция.

Способы обработки приточного воздуха, подаваемого в плавильные, заливочные и другие отделения, определяются внешними метеорологическими условиями и теплонапряженностью отдельных участков цеха. В зимнее и переходное время года возможно ограничиться только подогревом приточного воздуха. В теплое время года в северных районах страны достаточно подавать наружный воздух без его обработки. В средней полосе и в жарких, но сухих районах страны необходимо предусматривать обработку наружного воздуха водой в адиабатическом режиме. В жарких и влажных районах страны допустимые метеорологические условия в помещении достигаются только при использовании искусственно охлажденной воды или естественных источников холодной воды.

В плавильных, заливочных и формовочно-заливочных отделениях приточный воздух, как правило, подается непосредственно в рабочую зону через полочные или тому подобные воздухо-распределители, а также горизонтальными струями на уровне не более 4 м от пола. Удаление воздуха производится из рабочей или верхней зоны через местные отсосы и из верхней зоны через фрамуги фонарей.

Рабочие места у заливочного конвейера следует оборудовать подачей приточного воздуха по всему фронту заливки металла через воздухо-распределители панельного типа (см. гл. 2).

В стержневые, смесеприготовительные, формовочные отделения, в которых выделяется пыль, приточный воздух следует подавать через воздухо-распределители, расположенные выше рабочей или обслуживаемой зоны, через перфорированные воздухо-воды, конусные с продольной щелью и другие аналогичные воздухо-проводы.

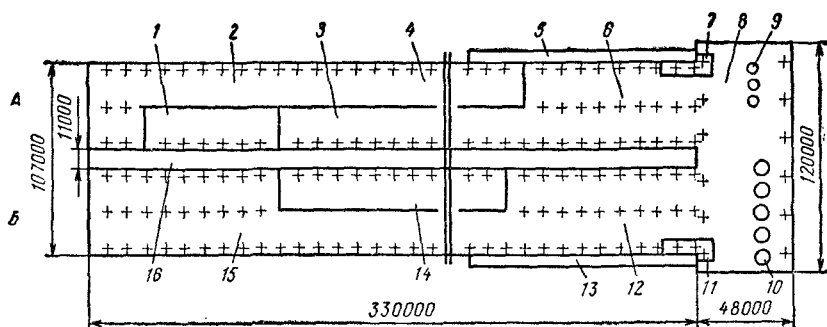


Рис. 7.6. План чугуносталелитейного цеха: А — чугунолитейный цех;

1 — смесеприготовительное отделение; 2 — обрубочно-очистное отделение; 3 — стержневое отделение; 4 — выбивное отделение; 5 — охлаждающая галерея; 6 — формовочно-заливочное; 7 — участок заливки на конвейере; 8 — плавильное отделение; 9 — вагранки; Б — сталелитейный цех; 10 — электропечи; 11 — участок заливки на конвейере; 12 — формовочное отделение; 13 — охлаждающая галерея; 14 — стержневое отделение; 15 — обрубочно-очистное отделение; 16 — вставка

В качестве примера рассмотрим вентиляцию блока цехов чугунных и стальных отливок, план которого показан на рис. 7.6. Проект вентиляции выполнен под руководством инж. Ю. М. Фомина и Е. А. Гуткиной.

Корпус состоит из четырех продольных и двух поперечных пролетов. В двух продольных пролетах расположены чугунолитейный цех, в двух других пролетах — сталелитейный. В поперечных пролетах расположено плавильное отделение, общее для обоих цехов. Цехи разделены между собой вставкой шириной 11 м, в которой находятся вспомогательные службы, приточные и вытяжные установки.

В плавильном отделении установлены три вагранки для плавки чугуна и шесть электродуговых сталеплавильных печей. Вагранки оборудованы устройством для дожигания окиси углерода, электродуговые печи — установками для дожигания СО и очистки воздуха от пыли по схеме, приведенной на рис. 7.2.

Через местные отсосы, которыми оборудованы основные источники вредных выделений, удаляется 535 тыс. м³/ч воздуха, что создает трехкратный воздухообмен в час. В помещении имеют место теплоизбытки, для поглощения которых из верхней зоны необходимо удалять 850 тыс. м³/ч воздуха. Максимальная теплонапряженность отделения составляет 15 ккал/ч·м³.

Приточный воздух подается механическим путем в рабочую зону через полочные воздухораспределители; часть воздуха поступает для душирования рабочих мест на заливочных площадках.

В теплый период года для борьбы с теплоизбытками воздухообмен увеличивают до семикратного в час. Воздух подается вентиляционными установками через фрамуги окон и удаляется через фрамуги фонарей.

В смесеприготовительном отделении с помощью местной вытяжной вентиляции удаляется 90 тыс. м³/ч воздуха (табл. 7.3). Приточный воздух в объеме 80 % от вытяжки подается в верхнюю зону через конусные воздухопроводы с продольной щелью переменной высоты, остальные 20 % воздуха подаются в смежные отделения.

В формовочном отделении производят изготовление форм, их сушку, а также заливку чугуна на плацу и в кессоне. От основного оборудования предусмотрена местная вытяжка (табл. 7.3). Общеобменная вытяжка осуществляется через фонари.

Таблица 7.3

Количество воздуха, удаляемого от местных отсосов

Наименование оборудования	Количество	Характер укрытия	Количество удаляемого воздуха, тыс. м ³ /ч
Плавильное отделение			
Электродуговые печи ДСП-6	5	Зонт (см. рис. 7.2)	140
Вагранки	2	Зонт над загрузочным отверстием	40
Заливочные конвейеры . .	2	Панели равномерного всасывания	150
Охлаждающая галерея . .	2	Из укрытия галерей	123
Стенд для сушки ковшей	1	Укрытие	52
Рекуператор	1	Технологическая	19
Прочее	—	—	11
Всего . . .	—	—	535
Смесеприготовительное отделение			
Бегуны смешивающие . . .	6	От кожуха	24
Дробилка валковая ДДЗ-1м	1	От укрытия	5
Сито полигональное . . .	4	» »	9
Грохот ГЖ-2	1	» »	9
Транспортеры горелой земли		От укрытия	32
Пересыпки		» »	6
Бункер для материалов . .			5
Всего . . .	—	—	90
Формовочное отделение			
Камерные сушила	2	От сушила	18
Кессон для заливки механизированный	1	Из укрытия	40
Транспортеры земли . . .		» »	19
Пересыпки		» »	4
Всего . . .	—	—	81

Наименование оборудования	Количество	Характер укрытия	Количество удаляемого воздуха, тыс. м³/ч
Стержневое отделение			
Установка приготовления ЖСС	1	От бункеров	2
Камера окраски	1	Из камеры	14
Шлифовальные станки	2	Укрытие	2
Электросушило	1	Зонт	8
Всего . . .	—		26
Выбивное отделение			
Выбивная решетка	2	Накатное укрытие	50
Транспортеры горелой земли	—	Укрытие	12
Пересыпки	—	»	7
Всего . . .	—	—	69

Приточный воздух подается сосредоточенно в верхнюю зону через патрубки с направляющими решетками.

Кратность воздухообмена в теплый период года — восемь обменов в час. В летний период года в крайние пролеты, имеющие наружные стены, воздух поступает через фрамуги окон естественным путем. Во внутренние пролеты воздух подается вентиляционными установками с механическим побуждением.

7.5. ВЕНТИЛЯЦИЯ ЦЕХОВ ЛИТЬЯ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Метод точного литья по выплавляемым моделям находит широкое применение в отечественном машиностроении. Этот метод литья освоен и продолжает совершенствоваться многими заводами страны.

Основными преимуществами метода точного литья, способствующими его распространению в различных отраслях промышленности, являются: высокая точность отливок по сравнению с обычным литьем; возможность получения деталей сложной конфигурации; резкое сокращение механической обработки; возможность применения сплавов, которые не поддаются ковке, штамповке, а также сплавов, с трудом допускающих механическую обработку.

Методом литья по выплавляемым моделям изготавливают, как правило, мелкие сложные детали массой до 1,5 кг.

Технологический процесс получения точных отливок заключается в следующем. Сначала изготавливают модель путем заливки легкоплавкой смеси в специально приготовленную пресс-форму, внутренняя полость которой представляет точное воспроизведение будущей металлической отливки. Полученную модель после соответствующего покрытия заформовывают в опоку. Затем медленным и постепенным нагревом модель вытапливают, после чего производят обжиг опоки. При обжиге опоки материал покрытия модели и наполнитель опоки превращаются в прочную керамическую форму с гладкой поверхностью.

В образовавшуюся таким образом форму заливают расплавленный металл, после охлаждения которого полученные отливки выбивают из опок.

Многие производственные операции при литье по выплавляемым моделям связаны с выделением тех или иных вредных веществ, загрязняющих воздушную среду помещений.

Так, при изготовлении моделей и сборке их в агрегаты в воздух помещения выделяются непредельные углеводороды и акролеин. Кроме того, углеводороды могут выделяться при вытапливании моделей и обжиге опок.

Процесс нанесения покрытия на модели сопровождается загрязнением воздушной среды кварцевой пылью и этилсиликатом, а при сушке моделей в аммиачной среде — парами аммиака.

Формовка и выбивка опок при применении сухого наполнителя также сопровождаются поступлением в воздух кварцевой пыли.

При извлечении форм из прокаточных печей и заливке в них металла работающие подвергаются воздействию лучистого тепла значительной интенсивности.

В 50-х годах на основе обследования ряда действующих цехов точного литья по выплавляемым моделям на предприятиях г. Ленинграда ВНИИОТом были разработаны «Временные санитарные правила для цехов или участков точного литья по выплавленным моделям». В этих правилах были изложены проверенные в производственных условиях рекомендации по устройству местных вытяжных отсосов и общеобменной приточно-вытяжной вентиляции.

За последующие два десятилетия производство отливок по выплавляемым моделям бурно растет; запроектированы и действуют мощные цехи с массовым производством точных отливок. Появились ряд автоматов и автоматических линий для этого вида литья, выпускаемых Тираспольским заводом литейных машин им. С. М. Кирова.

ГПИ «Сантехпроект» совместно с институтом «Гипростанок» на базе обследования цехов точного литья по выплавляемым моделям на Горьковском автомобильном заводе, Московском автомобильном заводе им. Лихачева и Ростовском заводе «Ростсель-

маш», а также накопленного опыта проектирования разработаны «Рекомендации по проектированию отопления и вентиляции производственных предприятий машиностроительной промышленности. Цехи точного литья по выплавляемым моделям». Серия АЗ-446-4 (М., 1970).

Остановимся кратко на основных решениях вентиляции в цехах точного литья по выплавляемым моделям.

Приготовление модельных составов, в которые входит парафин и цезерин, рекомендуется производить на автоматах мод. 651 (производительностью 60 л/ч) и мод. 652 (производительностью 250 л/ч). Бак для расплавления компонентов следует держать под вытяжкой с удалением $\sim 600 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха (скорость в рабочем проеме 0,7 м/с). В цехах малой мощности изготовление моделей производится вручную с помощью шприцов, а в цехах массового производства посредством автоматических машин мод. 653 и 654. Полученные детали припаиваются в блоки.

Рабочие места сборки моделей в блоки рекомендуется оборудовать вытяжными шкафами типа витринных отсосов (скорость в рабочем проеме шкафа $\sim 0,6 \text{ м/с}$) или вытяжными панелями равномерного всасывания (скорость в габаритном сечении панели 0,7—0,8 м/с).

Для образования огнеупорного покрытия (керамической обложки) блоки окунают в обмазку, представляющую собой сметанообразную суспензию, состоящую из связующего раствора (этилсиликат, жидкое стекло и др.) и пылевидного кварца, после чего блоки обсыпают кварцевым песком. Рекомендуется нанесение трех—пяти слоев. Ванны окунания оборудуют бортовыми отсосами ($L = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$), а от пескосыпа, входящего в состав автомата по обмазке и обсыпке модельных блоков (мод. 664), через два встроенных патрубка рекомендуется удалять $\sim 1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха.

Для сушки блоков рекомендуется предусматривать конвейерные сушильные камеры по чертежам НИИТАвтопрома с искусственной вентиляцией, способствующей ускорению сушки. Рекомендуемая скорость движения воздуха внутри камеры 0,3—0,35 м/с.

При воздушно-аммиачной сушке применяют камеры специальной конструкции, в цехах большой мощности камеры мод. 612А. В цехах малой производительности могут найти применение специальные вентилируемые шкафы.

Ванны для выплавки моделей в горячей воде следует оборудовать бортовыми отсосами с удалением $\sim 2000 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 открытой поверхности ванны. Иногда применяют, особенно в цехах небольшой мощности, выплавку моделей в электропечах при $t = 250 \div 280^\circ \text{С}$. Для улавливания выделяющихся при этом вредных веществ над загрузочной дверкой печи необходимо устройство вытяжного зонта-козырька. Скорость воздуха в приемном отверстии козырька должна быть не менее 0,5 м/с. Более точный расчет вытяжного устройства такого типа приведен в гл. 8.

Обжиг (прокалка) полученных керамических оболочковых форм производится при $t = 850 \div 950^\circ \text{C}$ в конвейерных печах (при механизированном производстве) или в камерных печах. Над загрузочными проемами печей также необходимо устройство местных вытяжных устройств типа зонтов-козырьков.

Для плавки металлов применяют индукционные печи различной мощности. Над печами следует предусматривать поворотные зонты. Объем удаляемого воздуха от зонта $1800\text{—}2000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Заливку металла в формы, установленные в опоки с заполнителем-песком, производят на рабочих местах, оборудованных местной вытяжной вентиляцией, по типу вытяжных панелей равномерного всасывания. Для ускорения охлаждения опок и для уменьшения тепловыделений в цех опоки рекомендуется охлаждать на конвейерных линиях в вентилируемых укрытиях или в вентилируемых шкафах с решетчатыми полками. В цехах точного литья по выплавляемым моделям массового производства применяют агрегаты для обжига, заливки и охлаждения (мод. 675А), оборудованные местными отсосами. Суммарный объем удаляемого от агрегата воздуха: $48\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ — на участке обжига и заливки и $35\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ — на участке охлаждения.

В цехах точного литья наряду с приведенными выше производственными операциями выполняются операции, применяемые также и в других производствах и требующие оборудования соответствующей вытяжной вентиляцией. К таким операциям относятся выбивка опок, выварка отливок в щелочи, отрезка литниковых систем, термическая обработка отливок и др. Рекомендации по устройству местной вытяжной вентиляции на этих операциях приводятся в [32] и в Рекомендациях по вентиляции цехов точного литья по выплавляемым моделям (серия АЗ-4464).

Запыленный воздух, удаляемый местными вытяжными вентиляционными установками от мест просеивания и размельчения наполнительных смесей, формовки, выбивки опок и других рабочих мест, на которых производственные операции связаны с выделением пыли, должен быть перед выбросом его в атмосферу подвергнут очистке. В качестве пылеочистных устройств могут быть рекомендованы циклонные промыватели или пылеуловители вентиляционные мокрые типа ППМ [25].

Приточная вентиляция во всех помещениях должна возмещать объем воздуха, удаляемый механической вытяжной вентиляцией.

Подачу воздуха в производственных помещениях цехов точного литья рекомендуется осуществлять в рабочую зону через воздухораспределители ВП, ВПП или в направлении рабочей зоны.

У рабочих мест, подвергающихся интенсивному лучистому тепlopоступлению (у мест заливки металла, у загрузочных отверстий прокалочных печей при ручном их обслуживании), следует предусматривать душирующие установки.

7.6. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРИ ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ

Литье в оболочковые формы применяют для отливки из чугуна и стали сравнительно крупных деталей (до 25 кг), имеющих менее сложную, чем при литье по выплавляемым моделям, конфигурацию, например отливки крупных ребристых цилиндров автомобильных, тракторных и мотоциклетных двигателей.

Процесс получения отливок в оболочковые формы осуществляется значительно быстрее, чем при литье по выплавляемым моделям. Отсюда и стоимость капитальных вложений на 1 т годовых отливок в оболочковые формы в 4—5 раз ниже, чем стоимость отливок по выплавляемым моделям. Класс точности отливок в оболочковые формы ниже, чем по выплавляемым моделям.

При литье в оболочковые формы многие операции, связанные с плавкой и заливкой металла, охлаждением опок, их выбивкой, обработкой полученных отливок, аналогичны таковым при литье по выплавляемым моделям.

Специфичным является процесс изготовления оболочковых форм. В качестве исходного материала для форм служат песчано-смоляные смеси, в состав которых наряду с кварцевым песком входит бакелитовая смола (4—5%), уротропин (0,4—0,5%) и стеарит цинка (0,4—0,5%). Процесс изготовления полуформ заключается в следующем. На модельные плиты, воспроизводящие полуформу будущей детали, наносится сперва облицовочный слой песчано-смоляной смеси (толщиной 5—8 мм), а затем наполнительный слой. Общая толщина оболочки 15—20 мм. Затем полученные полуформы после просушки в печи при $t = 400^\circ \text{C}$ склеиваются, схватываются зажимными приспособлениями и идут под заливку металлом. Формы размером более 300—400 мм рекомендуется заливать с опорным материалом, которым может служить песок или дробь.

Для изготовления оболочковых полуформ в цехах с серийным и массовым производством рекомендуется устанавливать автоматические линии НИИТАвтопрома.

В процессе изготовления оболочковых форм основным вредным веществом, загрязняющим воздушную среду помещения, является фенол.

Фенол выделяется также и на участках заливки и охлаждения форм. Столы приготовления оболочковых форм, а также места заливки в них металла и охлаждения рекомендуется оборудовать местными отсосами, выполняемыми в виде вытяжных панелей. Объем воздуха, удаляемого на 1 м² габаритной площади панели при расположении источника выделения вредных веществ на расстоянии от нее не более 0,7—0,8 м, составляет $\sim 3000 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$. На участках механической обработки полученных отливок и их термообработки, так же как и при литье по выплавляемым моделям, необходимо предусматривать местную вытяжную вентиляцию.

В производственных помещениях цехов литья по выплавляемым моделям и литья в оболочковые формы наряду с местными вытяжными устройствами следует предусматривать в соответствии с требованиями СНиП II.33—75 общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию. На участке изготовления выплавляемых моделей предусматривают кондиционирование воздуха.

Выпуск приточного воздуха осуществляется в соответствии с рекомендациями, изложенными в п. 3.1.

Весьма часто литье в оболочковые формы и по выплавляемым моделям осуществляется в одном корпусе специального литья. Краткое описание примера такого решения приводится ниже.

Корпус размещается в четырехпролетном двухэтажном здании (рис. 7.7) шириной 108 м (четыре пролета по 24 м со вставкой посередине) и длиной 157 м. Высота первого этажа 7 м, высота второго этажа до нижней затяжки ферм 10,8 м.

Основные производства цехов литья по выплавляемым моделям и в оболочковые формы расположены на втором этаже, план которого приведен на рис. 7.7.

На первом этаже размещаются термообрубные отделения литья по выплавляемым моделям, выбивное отделение оболочковых форм, отделение зачистки, ремонтно-механические мастерские, мотор-генераторная, стоянка электрокар и др.

Производственные помещения оборудуют приточно-вытяжной вентиляцией. Отопление основных производственных помещений—воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией с частичным использованием нагревательных приборов «Москва-140АО».

Приточные и вытяжные камеры располагают во вставке на отметке 16,2 м высотой 6 м. Приточные камеры выгораживают от вытяжных камер перегородками. Для забора наружного воздуха запроектирован общий воздухозаборный короб сечением 9×4 м (забор воздуха с торцов короба), прокладываемый на всю длину корпуса.

Приточные воздуховоды на первом этаже прокладывают под перекрытием и в теле основных балок; на втором этаже приточные воздуховоды монтируют в фермах. Вытяжные воздуховоды по возможности также прокладывают в теле балок и в междуферменном пространстве.

Литье по выплавляемым моделям. Отделение приготовления моделей располагается в выгороженном из общего объема помещения площадью ~ 1000 м². Установленные в помещении автоматы для изготовления моделей и сборки их в блоки оборудованы местными вытяжными устройствами. Суммарная производительность 58 500 м³/ч.

Для постоянного поддержания требуемой технологией температуры воздуха помещение оборудуют системами кондиционирования. Раздача кондиционированного воздуха осуществляется в верхнюю зону рассредоточенно через воздухораспределители ВДПМ.

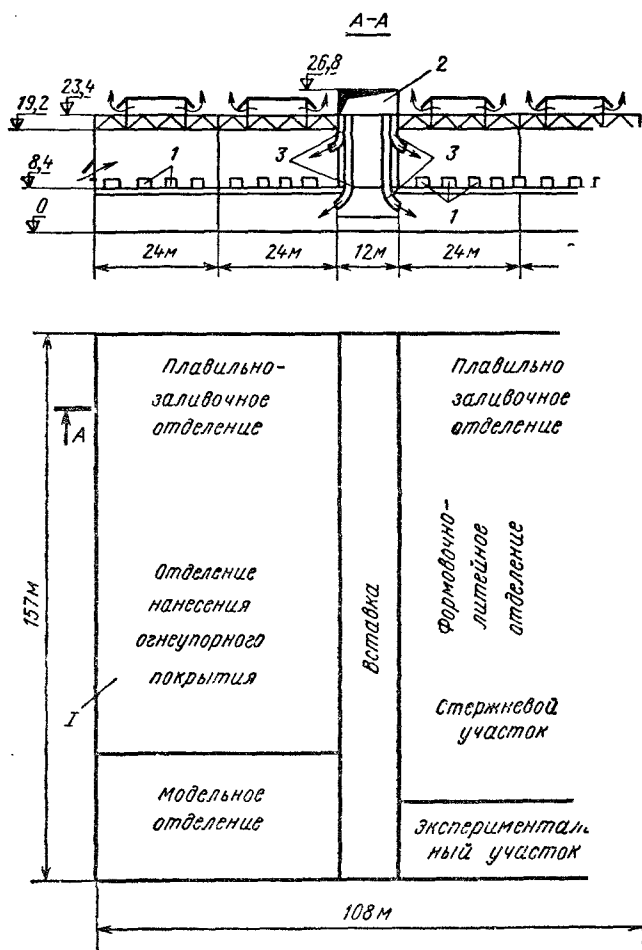


Рис. 7.7. Разрез и план корпуса специального литья:

1 — источники тепло- и газовыделений; 2 — магистральный приточный канал; 3 — ковыпускные устройства

Отделения нанесения огнеупорного покрытия и выплавки модельного состава размещают на площади $\sim 2000 \text{ м}^2$.

Автоматические установки для приготовления и нанесения облицовочного состава оборудуют местными отсосами. Объем местной вытяжки $43\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Кроме местной вытяжки в этом отделении предусматривают общеобменную вытяжную вентиляцию из верхней зоны из расчета двукратного воздухообмена ($\sim 66\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$). Общеобменная вытяжка осуществляется крышными вентиляторами.

Приточный воздух в объеме, компенсирующем местную и общеобменную вытяжку, подается в верхнюю зону поворотными патрубками типа ПП.

Отделение проковки, заливки и выбивки форм размещается на площади $\sim 1700 \text{ м}^2$.

В отделении установлены индукционные высокочастотные плавильные печи ИСТ-0,16, три заливочных конвейера и три линии обжига, формовки и охлаждения. От всего оборудования, выделяющего вредные вещества, предусматриваются местные отсосы. Суммарная производительность местной вытяжки $322\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Во все периоды года этот объем компенсируется воздухом, подаваемым четырьмя приточными камерами в рабочую зону через трехсторонние воздухораспределители и воздухораспределители ПП.

В летний и переходный периоды года для поглощения теплоизбытков дополнительно предусматривают подачу наружного воздуха (на глубину до 24 м) через открывающиеся фрамуги окон в наружных стенах и при помощи осевых вентиляторов, забирающих воздух из магистрального короба.

Вытяжка в летний и переходный периоды года (в объеме ~ 500 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$) осуществляется через фонари.

Термообрубные отделения размещают в первом этаже здания. Местная вытяжка предусмотрена от плит для отрезки литников, очистных машин, обдирочно-шлифовальных станков, столов для заварки, нагревательных электропечей, закалочных ванн, охладительных камер и другого оборудования. Суммарный объем местной вытяжки $180\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Воздух, удаляемый от пылящего оборудования, очищается в мокрых циклонах-промывателях. Приточный воздух в объеме, компенсирующим вытяжку, подается во все периоды года. Раздача воздуха осуществляется рассредоточенно через воздухораспределители типа ВДПМ, установленные на отрывную раздачу осесимметричными струями. Дополнительно в летний период года осевыми вентиляторами из общего воздухозаборного короба подается $145\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха. Общеобменная вытяжка осуществляется крышными вентиляторами.

Литье в оболочковые формы. Отделение приготовления форм и стержней, плавильно-заливочное и термообрубное отделения размещены в общем зале второго этажа (см. рис. 7.7) и занимают площадь $\sim 4000 \text{ м}^2$.

В отделении приготовления форм и стержней установлены полуавтоматы для приготовления оболочковых полуформ, линии сборки и склеивания, машины для изготовления оболочковых стержней, столы для окраски стержней.

В плавильно-заливочном отделении размещают индукционные тигельные печи ИСТ-0,4, стенды для подогрева и сушки ковшей, заливочный конвейер. В термообрубном отделении установлены плиты для отрезки литников, обдирочно-шлифовальные станки,

практические станки, нагревательные печи, закалочные баки, т. е. практически такое же оборудование, что и в термообрубном отделении производства литья по выплавляемым моделям.

Основные вредные вещества: тепловыделения, пары фенола, пыль. От всего производственного оборудования, выделяющего вредности, предусматривается устройство местных отсосов. Суммарный объем местной вытяжки составляет 275 000 м³/ч. Воздух, удаляемый от пылящего оборудования, очищается в циклонах-промывателях.

Приточный воздух подается в объеме, компенсирующем вытяжку (275 000 м³/ч) четырьмя приточными установками. Раздача воздуха осуществляется рассредоточенно в верхнюю зону воздухо-распределителями ВДПМ, установленными на отрывную подачу. В плавно-заливочном отделении у печей осуществляется воздушное душирование.

В летний период года дополнительно через открывающиеся фрамуги окон подается воздуха ~170 000 м³/ч и осевыми вентиляторами из воздухозаборного короба 120 000 м³/ч воздуха. В переходный период года осевыми вентиляторами подается 40 000 м³/ч. Удаление воздуха из цеха, за исключением местной вытяжки, осуществляется через фонари.

7.7. ВЕНТИЛЯЦИЯ КАБИНЫ КРАНОВЩИКА

Кабины кранов, особенно в горячих цехах, продолжают оставаться рабочими местами с неблагоприятными условиями труда. Крановщик, находясь в верхней зоне производственного помещения, подвергается зачастую одновременному воздействию высокой температуры окружающего воздуха и интенсивному облучению, а также воздействию тонкодисперсной пыли и различных вредных газов (СО, SO₂ и др.). Для обеспечения в кабинах требуемых параметров воздуха необходимо в первую очередь выполнять их достаточно герметичными с теплоизолированными стенками и полом, а в отдельных случаях для защиты от теплового излучения предусматривать экранирование наружных поверхностей.

Но и при выполнении упомянутых мероприятий величина теплопритока может достигать 3000—5000 ккал/ч. Поэтому для создания благоприятных климатических условий внутри кабины следует проектировать специальные приточные установки. Вентиляционные установки для обслуживания рабочих мест машинистов кранов подразделяются на два вида: установки, работающие на наружном воздухе, и установки, работающие на воздухе, забираемом из цеха. Установки первого вида применяются в цехах, где наряду с пылью и высокой температурой верхняя зона помещений загрязнена вредными газами. К таким цехам относятся кузнечно-прессовые, термические, литейные.

Если неблагоприятные условия труда крановщиков обусловлены только повышенной температурой и загрязнением воздушной

среды пылью, могут применяться установки, забирающие воздух из цеха с последующей его обработкой (охлаждением, увлажнением, очисткой, а в отдельных случаях и нагревом).

Установки, работающие на наружном воздухе. Система вентиляции кабин крановщиков с подачей наружного воздуха является наиболее рациональной для кабин, стационарно связанных с фермой крана. В этих системах воздух подается в кабину через распределительный короб, прокладываемый вдоль всего пути движения крана. В настоящее время известно несколько различных способов подачи воздуха из воздухо-распределительного короба в кабину. Общим элементом для них является челночный патрубок, перемещающийся вдоль щели короба. Щель воздухо-раздающего короба может перекрываться двустворчатым резиновым клапаном, бесконечной лентой, размещаемой внутри короба, либо лентой, уложенной внутри короба и приподымаемой перемещающимся роликом. Известны также конструкции воздухо-раздающего короба с гидравлическим затвором и некоторые другие.

Для вентиляции кабины крановщика наружным воздухом ВНИИОТом предложена вентиляционная установка с двустворчатым резиновым клапаном, перекрывающим продольную щель в магистральном воздухо-распределительном коробе. Такие установки нашли распространение на предприятиях страны. На основании данных натурных обследований, материалов ВНИИОТ и одного из проектных институтов были разработаны типовые чертежи вентиляции кабины крановщика наружным воздухом.

На рис. 7.8 показан общий вид такой установки с расположением воздухо-распределительного короба над краном [18]. В этой установке наружный воздух, соответствующим образом подготовленный в приточной камере (в зависимости от температуры и чистоты атмосферного воздуха он подогревается, охлаждается, увлажняется и фильтруется), нагнетается центробежным вентилятором в воздухо-распределительный короб. Последний в нижней части имеет две резиновые уплотнительные ленты, перекрывающие продольную щель, между которыми перемещается воздухо-приемник. Воздух подается в кабину через соединительный воздуховод, который жестко соединен с ней. Подача воздуха в кабину во избежание прямого действия воздушной струи на крановщика, как правило, осуществляется вдоль ограждений кабины (потолка или стен).

Для осуществления эффективной вентиляции кабины крана она должна быть закрытой; открывающиеся проемы должны быть минимальными. Объем воздуха, подаваемого в кабину, определяется из условия обеспечения в ней необходимого подпора. При полностью закрытой кабине объем воздуха определяется по тепловому балансу, однако для предотвращения инфильтрации через неплотности в ограждениях загрязненного воздуха из цеха объем воздуха должен приниматься не менее $500 \text{ м}^3/\text{ч}$.

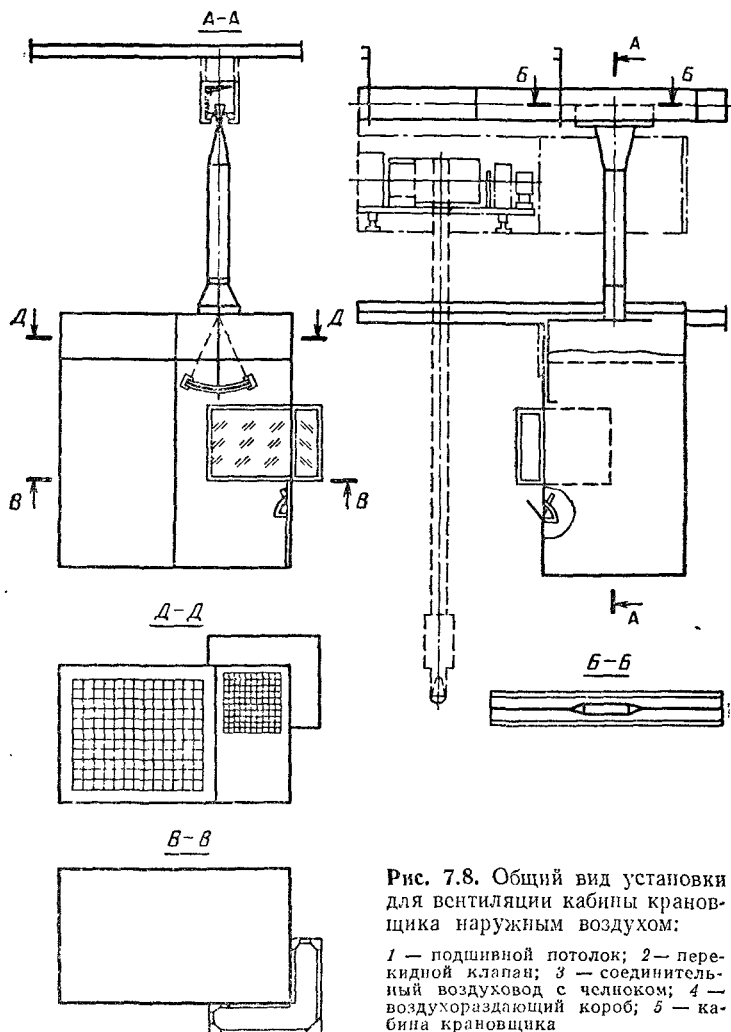


Рис. 7.8. Общий вид установки для вентиляции кабины крановщика наружным воздухом:

1 — подшивной потолок; 2 — перекидной клапан; 3 — соединительный воздуховод с челноком; 4 — воздухораспределительный короб; 5 — кабина крановщика

При наличии открытых проемов в остеклении кабины объем подаваемого в нее воздуха необходимо принимать исходя из условия обеспечения скорости выхода его через открытые проемы в пределах 0,7—1,5 м/с в зависимости от расположения проемов.

Необходимое давление воздуха (в кг/м²) в воздухораспределительном коробе перед воздухоприемником может быть определено по формуле

$$p = 25\xi L_0^2, \quad (7.3)$$

где L_0 — количество воздуха, подаваемое в кабину, м³/ч; ξ — безразмерный коэффициент аэродинамического сопротивления при-

соединения воздухоприемника к кабине, который может быть принят равным: 2,5 — при расположении воздухораспределительного короба над кабиной, 4,0 — при расположении его сбоку.

В кузнечном цехе одного из ленинградских заводов в 1955 г. по предложению ВНИИОТа осуществлена установка для вентиляции кабины крановщика наружным воздухом, подаваемым через воздухораспределительный короб, подвешенный к фермам перекрытия над кабиной крана. Общий вид установки показан на рис. 7.8. Длина воздухораспределительного короба 35 м, сечение 300×350 мм. Патрубок-челнок имеет вытянутое сечение размером 400×80 мм и снабжается наконечником, имеющим форму, соответствующую отверстию, образуемому при раздвигании резиновых лент. Для выявления утечек воздуха через неплотности по длине воздуховода и в месте прохода наконечника между резиновыми лентами были проведены испытания на специальном стенде на заводе при давлениях внутри короба в пределах 10—95 кгс/м².

На основании экспериментальных исследований установлено, что утечки воздуха в м³/ч из воздухораспределительного короба ориентировочно могут быть определены по формуле

$$L_1 = 4l \sqrt{p}, \quad (7.4)$$

где l — длина воздухораспределительного короба, м; p — давление внутри короба, кгс/м².

Утечки (м³/ч) через неплотности, образующиеся в месте нахождения воздухоприемника, могут быть подсчитаны по формуле

$$L_2 = 20 \sqrt{p}. \quad (7.5)$$

Исходя из этого, суммарное количество воздуха (м³/ч), которое необходимо подать в воздухораспределительный короб, может быть определено по формуле

$$L = nL_0 + (n \cdot 20 + 4l) \sqrt{p}, \quad (7.6)$$

где L_0 — количество воздуха, подаваемого в кабину одного крана, м³/ч; n — количество кранов, обслуживаемых вентиляционной установкой.

Дальнейший опыт эксплуатации установок такого типа показал, что фактические утечки при обычно имеющем место качестве монтажа и эксплуатации значительно больше. Поэтому зачастую для обеспечения подачи в кабину требуемого количества воздуха объем приточного воздуха, подаваемого в короб, приходится увеличивать в 2—3 раза по сравнению с полученным по формуле (7.6).

При монтаже установок для вентиляции кабины крановщика следует учитывать опыт ряда куйбышевских заводов, описанный М. И. Пончек в статье «Практика монтажа и эксплуатации систем вентиляции кабин крановщиков» («Водоснабжение и санитарная техника», 1965, № 12).

Интересен опыт наладки системы челночной вентиляции в литейном цехе ленинградского завода «Большевик». Установка смонтирована в 1964 г. и успешно эксплуатируется до настоящего времени, обслуживая две кабины мостовых кранов.

Воздухораспределительный короб длиной 58 м проложен сбоку вдоль подкрановых путей. Размеры короба 600×400 мм. Воздухораздаточная продольная щель расположена в боковой стенке короба.

Как показывает опыт эксплуатации, эффективность и надежность работы установки для вентиляции кабины крановщика наружным воздухом во многом зависит от качества монтажа. Для обеспечения качественного монтажа короба и его установки в строго параллельном положении относительно путей крана на

Таблица 7.4

Технические характеристики автономных крановых кондиционеров

Технические данные	Тип кондиционера				
	КТ 1.0-4.1 т	КТ 1.0-4.2 т	КТ 1.0-4.3 т	СКК-4ПрА	СКК-4ПсА
Производительность по воздуху, м ³ /ч	1000			1400	
Количество цехового воздуха, подаваемого в кабину машиниста, м ³ /ч	40—75			50	
Холодопроизводительность при температуре окружающего воздуха +60° С, ккал/ч	3000			4500	
Производительность по теплу, ккал/ч	—	—	—	3610	3540
Холодильный агент	Фреон-142				
Свободное давление, кгс/м ²	25				
Ток	Переменный 50 Гц	Переменный 60 Гц	Постоянный	Переменный 50 Гц	Постоянный
Напряжение, В:					
в силовой цепи	380	415	220	220/380	220
в цепи управления				220	
Мощность электродвигателя компрессора, кВт	5,1	4,3	4,13	10	11
Мощность электродвигателя вентилятора, кВт	—	—	—	2,2	2,2
Мощность электродвигателя, кВт	—	—	—	4,0	4,0
Масса кондиционера, кг	455	455	455	850	1100

заводе «Большевик» короб изготовлен из стали толщиной 4 мм с фланцами жесткости из уголка 50×50 мм через 2 м.

Короб собирался звеньями по 20 пог. м длиной внизу по полу цеха с тщательной рихтовкой.

Звенья подняты на проектную отметку, состыкованы и весь короб закреплен на металлоконструкциях жестко с особо тщательной выверкой по горизонтали. Для уплотнения воздухо-раздающей щели в боковой стенке короба заводом использована транспортерная лента ЛТ 2Р-400-3Б толщиной $\delta = 4$ мм (без стыков). Воздухозаборные челноки закреплены жестко. Смонтированная таким образом установка успешно эксплуатируется в течение 12 лет.

Установки, работающие на воздухе, забираемом из цеха. В случае подачи в кабину крановщика воздуха, забираемого из цеха, агрегат для его обработки размещается непосредственно на кране. Как правило, воздух очищают от пыли, охлаждают, а если необходимо, и нагревают. Известно несколько конструкций крановых автономных кондиционеров отечественного производства, выпускаемых Домодедовским машиностроительным заводом «Кондиционер». Технические данные автономных крановых кондиционеров приводятся в табл. 7.4.

При обслуживании кабин автономными крановыми кондиционерами требуется еще большая их герметизация, чем при установках, работающих на наружном воздухе. В кабину подается сравнительно небольшое количество воздуха, забираемого из цеха, и поэтому суммарная площадь щелей, через которые он вытекает из кабины, должна быть минимальной.

ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОТОПЛЕНИЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫХ И ТЕРМИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

8.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫДЕЛЯЮЩИЕСЯ ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

В кузнечно-прессовых цехах изготавливаются поковки и штамповки для деталей и изделий машиностроения. Производственный процесс в кузнечно-прессовых цехах состоит из отдельных технологических операций: резки холодных заготовок металла, а иногда и правки заготовок, нагрева металла под ковку или горячую штамповку в нагревательных печах до температуры 1100—1250° С;ковки металла на молотах различного типа (паровых, воздушных, механических, приводных и др.) и на ковочных машинах; штамповки, вырубки или правки кованных изделий на горячих прессах (механических, гидравлических и др.).

В термических цехах осуществляется обработка металлических слитков и заготовок отштампованных изделий для придания им определенных химических, механических и металлографических свойств путем цементации, закалки, азотирования, цианирования, отжига, отпуска и нормализации.

Нагрев деталей может осуществляться в печах, а также в ваннах с расплавленными солями хлористого натрия или хлористого бария. Для этой же цели в последнее время начали применять установки для нагрева изделий токами высокой частоты.

Термические печи подразделяются по принципу действия на периодического и непрерывного действия; по характеру среды в рабочем пространстве на вакуумные, с восстановительной или науглероживающей атмосферой и др.; по источнику тепловой энергии на пламенные, пламенные с радиационными трубами и электрические; по технологическому назначению на цементационные, азотирования, закалки и т. п.; по конструкции рабочего пространства на муфельные, шахтные, камерные, конвейерные и др.

При термической обработке изделия покрываются слоем окалины и для ее снятия в термических цехах предусматривают гидрокоструйные или дробеструйные установки.

В современных термических цехах массового и крупносерийного производства в последнее время получили распространение многооперационные агрегаты, в которых наиболее просто и на-

дежно осуществляется механизация и автоматизация технологических процессов термической обработки.

Вредными веществами в кузнечно-прессовых и термических цехах являются в основном лучистое и конвективное тепло, выделяющееся от горячих поверхностей нагревательных печей, молотов, прессов, нагретых изделий, а также через открытые отверстия печей. При работе печей на жидком или газообразном топливе воздух может загрязняться, кроме того, окисью углерода и сернистым газом, проникающими в помещения через неплотности в печах и газоходах.

В процессековки и штамповки изделий в воздух помещения поступает также пыль окалины, сдуваемая сжатым воздухом с поверхности матриц, штампов и поковок, и масляный аэрозоль, образующийся под воздействием высокой температуры из веретенного масла, применяемого для смазки штампа.

В термических цехах воздух помещения может загрязняться цианистым водородом, аммиаком, парами масла и воды.

Количество выделяющихся в воздух помещений тепла, влаги и вредных веществ и распределение их по зонам, а также распределение по зонам температур воздуха, концентраций вредных веществ и влагосодержания воздуха следует принимать по технологическим данным или по нормам технологического проектирования. При отсутствии таких данных допускается определять их по материалам натурных обследований аналогичных предприятий или по санитарным характеристикам, указанным в паспортах технологического оборудования.

Для определения необходимого воздухообмена в помещениях количество тепла и вредных веществ, поступающих в них, можно также принимать по укрупненным данным ГПИ «Сантехпроект» [32], приведенным в табл. 8.1.

Тепловыделения в печных залах термических цехов в тех случаях, когда металл для остывания поступает в другие помещения, будут менее указанных в табл. 8.1 и их следует принимать в размере 25% тепла расходуемого топлива.

У нагревательных печей, прессов, молотов, ванн, закалочных баков и на некоторых других участках цехов рабочие подвергаются тепловому облучению, интенсивность которого может быть принята у нагревательных печей, прессов, молотов, печей и ванн с электродно-соляным подогревом ($t = 1280^\circ \text{C}$), агрегатов для заковки и цианирования изделий, колодцев для охлаждения изделий $1200\text{—}1800 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$; у шахтных цементационных электропечей, печей-ванн с электродно-соляным подогревом ($t = 850\div\div 900^\circ \text{C}$), тигельных печей-ванн с газовым подогревом, шахтных газовых печей, агрегатов для отпуска изделий, столов для напайки твердых сплавов, на местах складирования изделий после пресования, у пультов управления и в кабинах крановщиков $600\text{—}1200 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$; у масляных закалочных ванн, шахтных отпускных электропечей, камерных газовых печей с выдвижным подом,

Основные выделяющиеся в производстве вредные вещества

Цехи	Помещения	Применяемое топливо	Выделяющиеся вредные вещества	Измеритель	Валовое количество выделяющихся вредных веществ
Кузнечно-прессовый	Пролеты с молотами	Газ или мазут	Тепло	Процент от тепла топлива, расходуемого на печи	53
		Электроэнергия	Тепло	1 ккал на 1 кВт установочной мощности печей	530
		Газ или мазут	Оксид углерода	1 г на 1 кг условного топлива	7,0
		Мазут	Сернистый газ	1 г на 1 кг условного топлива	5,2
	Пролеты с прессами и ковочными машинами	Газ или мазут	Тепло	Процент от тепла топлива, расходуемого на печи	45
		Электроэнергия	Тепло	1 ккал на 1 кВт установочной мощности печей	530
		Газ или мазут	Оксид углерода	1 г на 1 кг условного топлива	3,0
		Мазут	Сернистый газ	1 г на 1 кг условного топлива	2,2
	Пролеты с молотами и прессами (при выбросе продуктов сгорания в цех)	Газ	Тепло	Процент от тепла топлива, расходуемого на печи	97
			Оксид углерода	1 г на 1 кг условного топлива	20

Цехи	Помещения	Применяемое топливо	Выделяющиеся вредные вещества	Измеритель	Валовое количество выделяющихся вредных веществ
Термический	Печные залы для обработки заготовок после обдирки и прессовых поковок (заводы тяжелого машиностроения)	Газ или мазут	Тепло	Процент от тепла, расходуемого на печи	55
		Электроэнергия	Тепло	1 ккал на 1 кВт установочной мощности печей	320
		Газ	Оксид углерода	1 г на 1 м ³ газа	3,8
		Мазут	Оксид углерода	1 г на 1 кг мазута	4,8
		Мазут	Сернистый	1 г на 1 кг мазута	3,1
	Печные залы для обработки деталей в чистом виде (автотранспортные и станкостроительные заводы)	Газ	Тепло	Процент от тепла топлива, расходуемого на печи	41
		Электроэнергия	Тепло	1 ккал на 1 кВт установочной мощности печей	495
		Газ	Оксид углерода	1 г на 1 м ³ газа	24
	Отделение цианирования	Газ	Тепло	Процент от тепла, расходуемого на ванны	24
		Газ	Цианистый водород	1 г/ч на один агрегат цианирования	6
	Помещение установок ТВЧ	Электроэнергия	Тепло	1 ккал на 1 кВт установочной мощности агрегатов ТВЧ	70

Цехи	Помещения	Применяемое топливо	Выделяющиеся вредные вещества	Измеритель	Валовое количество выделяющихся вредных веществ
Термический	Помещение хранения баллонов для азотирования	—	Аммиак	1 г/ч на один баллон	0,015
	Испарительная азотирования	—	Аммиак	1 г/ч на один испаритель	27

Примечания: 1. Количество выделяющегося сернистого газа дано при условии использования мазута с содержанием серы не более 0,5%.

2. Количество выделяющихся вредных веществ дано без учета удаляемых через местные отсосы. При устройстве у загрузочных отверстий нагревательных печей зонтов-козырьков количество тепла и газов, поступающих в помещение, следует принимать соответственно на 10 и 50% менее указанных в таблице.

селитровых и щелочных ванн с газовым подогревом, у мест складирования изделий после отковки 300—600 ккал/м²·ч.

Интенсивность теплового облучения на рабочих местах приведена при условии закрытых заслонок у нагревательных печей. При открытых заслонках она увеличивается примерно в 3 раза.

8.2. МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ И ТРЕБОВАНИЯ К ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫМ РЕШЕНИЯМ

Метеорологические условия в рабочей зоне производственных помещений следует принимать согласно СНиП II.33—75. В кузнечно-прессовых цехах, печных залах и в отделениях высокотемпературного циннирования они могут быть приняты как для помещений, характеризующихся значительными избытками явного тепла (более 20 ккал/м³·ч) и тяжелой категорией работ; в отделениях низкотемпературного циннирования, очистки и некоторых других — как для помещений, характеризующихся незначительными избытками явного тепла (20 ккал/м³·ч и менее) и категорией работ средней тяжести. Для производственных помещений, имеющих высоту более 6 м, если технологические источники выделения тепла расположены в пределах 6 м, характеристику по избыткам явного тепла следует определять, исходя из условного объема помещения, имеющего высоту 6 м.

Для создания нормальных метеорологических условий в рабочей зоне производственных помещений большое значение имеет архитектурно-планировочное решение здания. Очень важно выбрать его рациональную конфигурацию и правильно разместить в нем помещения с меньшими и большими выделениями вредных веществ. При строительстве цехов в южных районах необходимо располагать их длинной осью с запада на восток. При таком решении количество тепла, поступающего в помещение за счет солнечной радиации, будет минимальным. Имсющиеся на южной стороне световые проемы могут быть защищены козырьками. Целесообразно из условия обеспечения хорошей аэрации эти цехи размещать в отдельно стоящих одноэтажных зданиях шириной не более 60 м. При расположении цеха в блокированном здании его следует, как правило, размещать у наружных стен, если это не противоречит технологическому процессу, отделяя от остальных помещений перегородками, не доходящими до пола, для обеспечения частичного притока воздуха из смежных помещений. Устройство пристроек к наружным стенам цехов нежелательно, но в отдельных случаях их допускается предусматривать при условии, что площадь проемов для притока воздуха, оставшаяся в этих стенах, будет достаточна для обеспечения необходимого естественного воздухообмена.

Так как технологические процессы гидropескоструйной и дробеструйной очистки, цианирования, получения контролируемых атмосфер, приготовления твердого карбюризатора и некоторые другие сопровождаются выделением разнохарактерных вредных веществ, то их необходимо размещать в изолированных от основного термического цеха помещениях.

8.3. ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ И МЕТОДЫ БОРЬБЫ С НИМИ

На производственных участках у нагревательных печей, прессов и закалочных баков рабочие подвергаются интенсивному воздействию конвективного тепла и тепловому облучению, которые могут вызывать перегрев тела работающих и приводить к резкому ухудшению их самочувствия. Поэтому в кузнечно-прессовых и термических цехах для оздоровления условий труда необходимо разрабатывать комплекс защитных средств и мероприятий, позволяющих значительно снизить неприятное воздействие лучистого и конвективного тепла на человека. Эти мероприятия различны по своему характеру и могут быть условно разделены на четыре группы.

К первой группе относятся мероприятия, позволяющие устранить источники выделения тепла или значительно снизить интенсивность излучения. С этой целью на заводах внедряются новые технологические процессы термической и химико-термиче-

ской обработки, которые, способствуя применению механизации и автоматизации, позволяют значительно облегчить труд рабочих.

На ряде машиностроительных заводов получили распространение индукционные нагреватели, в которых нагрев заготовок осуществляется токами высокой частоты. Применение в кузнице московского Автомобильного завода имени Ленинского Комсомола индукционного нагрева заготовок позволило значительно улучшить условия труда, так как воздух на рабочих местах не загрязнялся продуктами неполного сгорания топлива (окисью углерода, сернистым газом и др.). Кроме того, при нагреве заготовок на высокочастотных установках значительно уменьшается интенсивность теплового облучения. Например, на рабочем месте прессовщика при нагреве заготовок шатуна токами высокой частоты интенсивность теплового облучения в 3—7 раз меньше, чем при нагреве в газовых печах.

На ряде предприятий в термических цехах создаются участки с автоматизированными и механизированными ковочными агрегатами, с непосредственной термической обработкой штамповок, что исключает необходимость применения повторного нагрева их для нормализации и отжига.

Для улучшения условий труда у нагревательных печей их рекомендуется располагать таким образом, чтобы обслуживающие рабочие не подвергались действию тепла одновременно от загрузочных окон двух или более печей.

Для сокращения теплопоступления в помещение все нагретые поверхности технологического оборудования и ограждений следует тщательно изолировать. Температура их на рабочих местах не должна превышать 45° С.

Ко второй группе могут быть отнесены различные устройства, защищающие рабочих от прямого воздействия лучистой энергии: водяные завесы-экраны, устанавливаемые в рабочих окнах печей для нагрева металла, стационарные и передвижные непрозрачные экраны, устанавливаемые на пути тепловых лучей от нагретых изделий, часто имеющие устройства для циркуляции охлаждающей воды, полупрозрачные цепные экраны с водяной пленкой. К этой же группе может быть отнесена и специальная, отражающая лучистую энергию одежда.

К третьей группе следует отнести мероприятия, способствующие восстановлению работоспособности рабочих. Для этого в цехах на небольшом расстоянии от постоянных рабочих мест предусматривают специальные комнаты или кабины для периодического отдыха работающих, в которых имеются полудуши для обмывания верхней половины тела и питьевые фонтанчики. В последнее время получили распространение системы радиационного охлаждения на рабочих местах и в местах отдыха рабочих. При этом охлаждается как поверхность кожи, так и глубоко лежащие ткани, и может быть полностью снят или значительно ослаблен

перегревающий эффект нагретого воздуха или источников радиационного нагревания.

На ферросплавном заводе Челябинского электрометаллургического комбината была оборудована специальная комната отдыха, в которой поддерживалась температура 16—19° С, а температура двух охлаждаемых стен колебалась в пределах от 2 до 5° С. Рабочие во время отдыха подвергались одновременному действию радиационного и конвективного охлаждения. Несмотря на то, что температура в комнате была на 15—20° С ниже, чем температура воздуха в цехе, случаев простудных заболеваний не отмечалось. Поэтому целесообразно шире применять установки радиационного охлаждения как для рабочих мест, так и для комнат отдыха рабочих.

К четвертой группе относятся средства, увеличивающие теплоотдачу тела человека. К ним относятся различные конструкции установок воздушного душирования.

8.4. ОРГАНИЗАЦИЯ ВОЗДУХООБМЕНА

Для обеспечения нормируемых метеорологических условий в помещениях кузнечных и термических цехов, кроме комплекса технологических мероприятий, позволяющих значительно сократить количество выделяющихся вредных веществ, необходимо предусматривать вентиляцию, обеспечивающую удаление или растворение остаточного количества этих веществ. В цехах устраивают приточно-вытяжную вентиляцию. Удаление воздуха осуществляется через местные отсосы от оборудования и путем общеобменной вытяжки (обычно из верхней зоны помещения). Приточная вентиляция проектируется в виде воздушных душей и общеобменная.

Местная вытяжная вентиляция. При решении вентиляции необходимо стремиться к тому, чтобы все технологические процессы и оборудование, которые являются источниками выделения вредных веществ, по возможности были оснащены местными отсосами. Типы рекомендуемых местных отсосов приведены в справочной литературе [32].

У нагревательных печей над загрузочными окнами устанавливают либо зонты-козырьки, либо вытяжные комбинированные зонты. На рис. 8.1, а показан зонт-козырек над загрузочным окном нагревательной печи. Такие козырьки предусматривают у нагревательных печей, которые работают на мазуте и газообразном топливе и имеют отвод продуктов горения в дымовой боров. Их же применяют и для камерных электропечей сопротивления. Вытяжные комбинированные зонты (рис. 8.1, б) устанавливают у нагревательных печей, не имеющих борова для отвода продуктов сгорания. Расчет зонтов сводится к определению их размеров и объемов удаляемой смеси продуктов горения (газов) и воздуха.

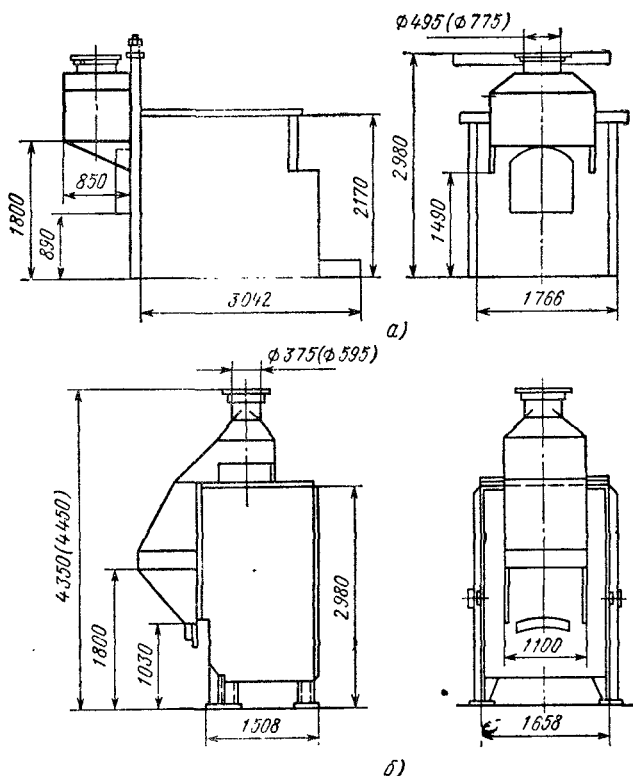


Рис. 8.1. Местные отсосы от нагревательных печей:

а — зонт-козырек над загрузочным отверстием; б — вытяжной комбинированный зонт

Для определения габаритных размеров зонта-козырька (рис. 8.2) необходимо прежде всего определить количество газов, вырывающихся через печное отверстие из печи, и занимаемую ими площадь при входе в зонт. Во избежание чрезмерного окисления металла в печи (в плоскости пода) избыточное давление поддерживается равным нулю. В этом случае давление на уровне верхней кромки печного козырька составит

$$p_1 = h (\gamma_v - \gamma_n), \quad (8.1)$$

где h — высота рабочего отверстия, м; γ_v — объемная масса воздуха в помещении, кг/м³; γ_n — объемная масса газов, выходящих из печи, кг/м³.

Величина среднего избыточного давления в отверстии печи

$$\Delta p = \frac{p_1}{2}. \quad (8.2)$$

Средняя скорость выхода горячих газов из печи при открытой дверце определяется по формуле

$$v_{cp} = \mu \sqrt{\frac{2q \Delta p}{\gamma_n}}, \quad (8.3)$$

где μ — коэффициент расхода, принимаемый равным 0,65; q — ускорение силы тяжести, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

По скорости, размерам отверстия и температуре в печи определяется критерий Архимеда, характеризующий выходящую из печи струю:

$$Ar = \frac{g d_{\text{экв}}^3}{v_{cp}^2} \frac{T_n - T_b}{T_b}, \quad (8.4)$$

где $d_{\text{экв}}$ — диаметр равновеликого отверстия, равный $\sqrt{\frac{4bh}{\pi}}$ м; (здесь b — ширина печного отверстия, м; h — высота печного отверстия, м); T_n — абсолютная температура газов в печи, $^{\circ}\text{C}$; T_b — абсолютная температура воздуха в помещении, $^{\circ}\text{C}$.

Под воздействием гравитационных сил поток вырывающихся из печи газов будет искривляться и ось его пересечет плоскость входного отверстия зонта на расстоянии (в м), определяемом по формуле (см. п. 1.3)

$$x = \sqrt[3]{\frac{y m^2 d_{\text{экв}}^2}{0,63 h Ar}}, \quad (8.5)$$

где y — вертикальное расстояние от середины загрузочного отверстия до уровня всасывающего отверстия зонта (при установке зонта на уровне верхней кромки печного отверстия $y = \frac{h}{2}$ м); m , n — экспериментальные коэффициенты, значения которых для прямоугольного отверстия печи с отношением сторон $\frac{h}{b} = 0,5 \div 1$ могут быть приняты равными соответственно ~ 5 и $\sim 4,2$.

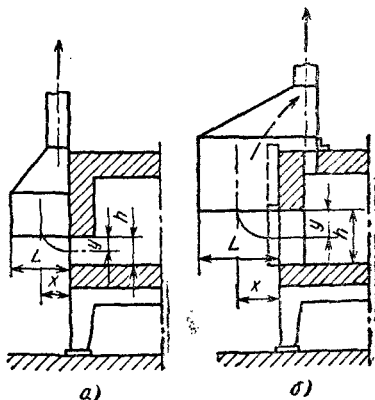
Вылет зонта (расстояние по горизонтали от стенки печи до противоположной стенки зонта) определяется по формуле

$$l = x + \frac{d_x}{2}, \quad (8.6)$$

где d_x — ширина струи на расстоянии x от ее выхода из отверстия, м.

Рис. 8.2. Схемы зонтов у нагревательных печей:

a — у щелевого отверстия при выпуске через него продуктов горения; b — у отверстия, снабженного дверкой, при выпуске продуктов горения через газовые окна



Ширина струи, вытекающей из квадратного или близкого к квадрату отверстия, при $0,5 \leq h/b \leq 2$ может быть определена из выражения

$$d_x = d_{\text{экв}} + 0,44x. \quad (8.7)$$

Ширина зонта b_1 обычно принимается на 150—200 мм больше ширины печного отверстия.

Объем газов, выходящих из отверстия печи, определяется по формуле

$$L_{\text{п}} = v_{\text{ср}} h b. \quad (8.8)$$

Объем смеси удаляемых газов из печи и воздуха, подсасываемого из помещения, определяется по формуле начального участка [17]

$$L_x = L_{\text{п}} + \left[0,085 \frac{x}{d_{\text{экв}}} + 0,0014 \left(\frac{x}{d_{\text{экв}}} \right)^2 \right] L_{\text{п}} \sqrt{\frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{п}}}}. \quad (8.9)$$

Масса газов, удаляемых из печи, составит $L_{\text{п}} \gamma_{\text{п}}$. Масса воздуха, подсасываемого из помещения цеха, определится из выражения

$$G_{\text{в}} = (L_x - L_{\text{п}}) \gamma_{\text{в}}. \quad (8.10)$$

Температура смеси газов и воздуха, подсасываемого из помещения, может быть определена из выражения

$$t_{\text{см}} = \frac{G_{\text{п}} t_{\text{п}} + G_{\text{в}} t_{\text{в}}}{G_{\text{п}} + G_{\text{в}}}. \quad (8.11)$$

Удаляемая через зонт смесь газов и воздуха может выбрасываться в атмосферу системами с естественным побуждением или при помощи вентиляторов. Выбор того или иного способа осуществляется в зависимости от расположения нагревательных печей в кузнечно-прессовом цехе и работы кранового оборудования. Предпочтение следует отдавать системам с естественным побуждением как наиболее экономичным.

При удалении смеси газов и воздуха системами с естественным побуждением температура, вычисленная по формуле (8.11), не должна превышать 300°C , а при удалении с помощью вентиляторов без водяного охлаждения должна приниматься из условия надежной их работы согласно ГОСТ 5976—73 не выше 80°C . Если полученная по формуле (8.11) температура превышает рекомендуемую, то объем воздуха, удаляемого от зонта, соответственно увеличивается и доводится до величины

$$G_{\text{в}} = \frac{G_{\text{п}} (t_{\text{п}} - t_x)}{t_x - t_{\text{в}}}, \quad (8.12)$$

где t_x — температура смеси газов и воздуха, принимаемая в зависимости от способа ее удаления за пределы цеха, $^\circ \text{C}$.

Количество продуктов горения, удаляемых через комбинированный зонт, и их температура обычно принимаются по техноло-

гическим данным либо могут быть определены расчетом горения или по приближенным формулам. Теоретическое количество продуктов горения (нм^3) при сжигании 1 нм^3 газообразного топлива с теплотворной способностью менее 4000 ккал/нм^3 может быть определено по формуле

$$L'_n = \frac{0,725}{1000} \quad (8.13)$$

при теплотворной способности топлива более 4000 ккал/нм^3

$$L'_n = \frac{1,14}{1000} Q_n^p + 0,25, \quad (8.14)$$

где Q_n^p — низшая теплотворная способность газа, ккал/нм^3 .

Количество продуктов горения ($\text{м}^3/\text{ч}$), получаемое в печи, определяется по формуле

$$L_n = L'_n L''_n, \quad (8.15)$$

где L''_n — объем газа, сжигаемого в нагревательной печи, принимаемый по технологическим данным, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Температура продуктов горения ($^{\circ}\text{C}$) может быть определена по формуле

$$t_n = \frac{Q_n^p}{c_n L_n} K, \quad (8.16)$$

где c_n — средняя теплоемкость продуктов горения при давлении 760 мм рт. ст. в пределах от 0° до t_n , $\text{ккал/м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$; L'_n — объем продуктов горения на 1 нм^3 сжигаемого газа, м^3 ; K — пирометрический коэффициент печи, равный $\sim 0,8$.

При наличии в конструкции нагревательной печи рекуператора температура продуктов горения, поступающих в комбинированный зонт, должна приниматься по технологическим данным; обычно она на $300\text{—}400^{\circ}\text{C}$ ниже температуры продуктов горения.

Определив количество продуктов горения и их температуру, можно определить общий объем охлажденных газов, который необходимо удалить через комбинированный зонт от нагревательной печи. Количество воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$), необходимое для охлаждения отходящих газов до требуемой температуры t_x , равняется

$$L_b = \frac{L_n t_n c_n - L_n t_x c_x}{c_x t_x - c_b t_b}, \quad (8.17)$$

где c_n — теплоемкость газов при начальной температуре, $\text{ккал/м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

c_x — теплоемкость газов при температуре смеси, $\text{ккал/м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

c_b — теплоемкость воздуха, $\text{ккал/м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$.

Общий объем охлажденных газов ($\text{м}^3/\text{ч}$) составит

$$L_x = L_n + L_b. \quad (8.18)$$

Рис. 8.3. Поворотный местный отсос от кривошипного ковочно-штамповочного пресса

Общий объем охлажденных газов ($\text{м}^3/\text{ч}$) при температуре смеси t_x будет равен

$$L'_x = L_x \frac{t_x + 273}{273}. \quad (8.19)$$

В системах местной вытяжной вентиляции с естественным побуждением от нагревательных печей следует предусматривать

для каждой печи отдельную вытяжную шахту. Объединение одной вытяжной шахтой группы печей нецелесообразно, так как при бездействии части из них естественная тяга будет резко ухудшаться и, кроме того, часть объема воздуха будет удаляться от неработающих печей. При индивидуальных шахтах объем удаляемого через них воздуха зависит от интенсивности работы технологического оборудования. При форсированном режиме он возрастает, а при остановке значительно сокращается. При разработке устройств с естественным побуждением необходимо стремиться к тому, чтобы вытяжной воздуховод был по возможности вертикальным или имел минимальное количество отводов с углом 135° , так как при наличии горизонтальных участков и отводов с углом поворота 90° резко возрастает сопротивление сети, а это может вызвать необходимость значительного увеличения диа-

Рис. 8.4. Местный отсос от цилиндрической ванны обезжиривания:

а — общий вид; б — деталь бортового отсоса

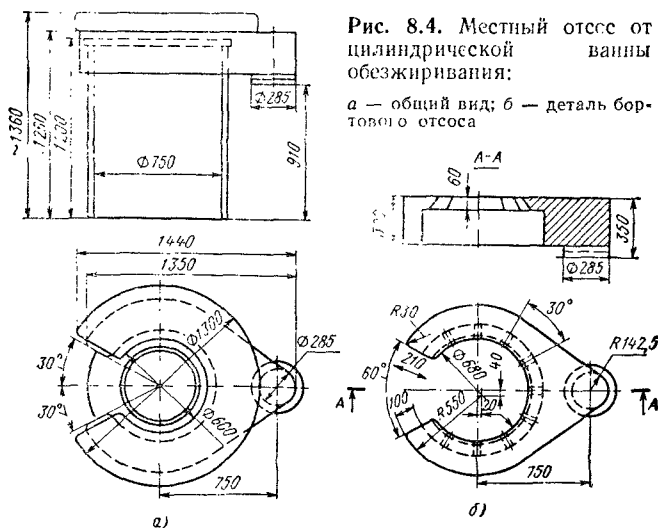


Рис. 8.5. Укрытие для соляной электрованны СВЧ-20/1,5

метра воздуховода, что конструктивно не всегда выполнимо. Для повышения эффективности естественной вентиляции целесообразно вытяжные трубы снабжать дефлекторами.

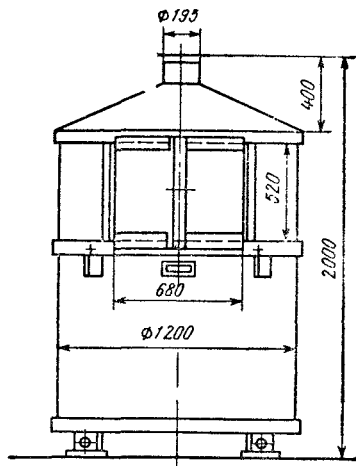
Интересная конструкция местной вытяжной вентиляции от ковочно-штамповочных прессов, разработанная институтом «Гипротракторосельхозмаш», приведена на рис. 8.3. Она выполнена на кузнечно-штамповочном заводе в г. Токмаке. При удалении через поворотные отсосы 2500—3000 м³/ч воздуха содержание масляного аэрозоля и пыли окалины на рабочих местах не превышало величин, регламентируемых СН 245—71 [28].

Целесообразность применения местной вытяжной вентиляции от механических ковочных прессов может быть подтверждена также на примере нового кузнечно-прессового цеха ЗИЛа. При работе местной вентиляции концентрации масляного аэрозоля и пыли в рабочей зоне у прессов снизились соответственно в 12 и 2,3 раза [28].

На рис. 8.4 приведена конструкция бортового отсоса, применяемого для цилиндрических ванн обезжиривания, имеющих диаметр 0,75 м и высоту 1,2 м. Необходимый объем воздуха, удаляемого от такой ванны, составляет 1400 м³/ч, при этом скорость воздуха в щели бортового отсоса равна 3,3 м/с. Такие же ванны применяются и для промасливания изделий, но при этом процессе необходимый объем удаляемого через бортовой отсос воздуха будет равен 2300 м³/ч, а скорость в щели бортового отсоса — 5,3 м/с.

На рис. 8.5 показано укрытие для соляной электрованны с наружным обогревом. Для предотвращения выбивания паров и аэрозолей цианистого углекислого натрия при рабочей температуре $t = 450 \div 500^\circ \text{C}$ скорость движения воздуха в рабочем проеме следует принимать не менее 0,8 м/с.

Системы вытяжной вентиляции в термических цехах, как правило, предусматриваются с механическим побуждением. Самостоятельные вытяжные системы следует предусматривать от баков для закалики изделий в масле, так как при этом процессе иногда возможно возгорание масла. Для обеспечения более надежной и безопасной работы этих систем рекомендуется применять вентиляторы с повышенной защитой от искрообразования (И-01), а на воздуховодах устанавливать огнезащитные клапаны. Не следует проектировать единые вытяжные системы от цианистых ванн



и ванн травления во избежание образования цианистого водорода. Самостоятельные системы следует также предусматривать и для вентиляции помещений хранения цианистых солей.

Источниками, загрязняющими атмосферу в кузнечно-прессовых и термических цехах, являются в основном нагревательные печи, работающие на жидком или газообразном топливе. Вредные вещества, состоящие из продуктов неполного сгорания топлива (окиси углерода и сернистого газа), выбрасываются в атмосферу через дымовые трубы и системами местной вытяжной вентиляции. Специальных устройств для очистки выбрасываемого воздуха не предусматривается. Это объясняется тем, что известные методы нейтрализации сернистого газа при его незначительном содержании в выбрасываемом воздухе известковый, аммиачный, магнетитовый — еще очень дороги и требуют больших расходов извести, воды, аммиака и электроэнергии. Поэтому содержания в атмосферном воздухе вредных веществ в количествах, не превышающих предельно допустимых (максимально разовых) концентраций, принимаемых согласно СН 245—71, обеспечивается в настоящее время путем рассеивания газов.

Кроме нагревательных печей, в термических цехах источниками загрязнения атмосферы являются дробеструйные и дробеметные камеры, в которых производится очистка изделий после термической обработки. По данным различных авторов, содержание пыли в воздухе, удаляемом от камер местными отсосами, колеблется в пределах 2—7 г/м³. В соответствии с дисперсным составом пыль, содержащаяся в удаляемом воздухе, может быть отнесена к III классификационной группе пылей (среднедисперсная). Для очистки воздуха могут быть применены рукавные всасывающие фильтры типа ФВК, выпускаемые промышленностью с поверхностью фильтровальной ткани 30, 60 и 90 м². При выборе фильтров в зависимости от содержания пыли в очищаемом воздухе нагрузка на 1 м² ткани может быть принята в пределах 60—100 м³/ч.

Для очистки воздуха, удаляемого от камер, могут быть использованы и циклоны с водяной пленкой типа ЦВП.

Для повышения эффективности очистки воздуха, выбрасываемого в атмосферу, а также для увеличения срока службы рукавных фильтров можно применять двухступенчатую схему очистки. На первой ступени могут быть установлены циклоны или пылеосадочные камеры.

Шахты и трубы для выброса воздуха в атмосферу системами местной вентиляции следует, как правило, принимать без зонтов (факельный выброс). Необходимая высота выхлопных вентиляционных труб определяется в зависимости от количества и температуры выбрасываемых газов, содержания в них вредных веществ и некоторых других факторов в соответствии с рекомендациями, приведенными в гл. 5.

Местная приточная вентиляция. Перечень рабочих мест в кузнечно-прессовых и термических цехах, на которых следует устраивать воздушные души как необходимое дополнение к общеобменной вентиляции, приведен в п. 8.1. Однако в отдельных случаях воздушные души могут устраиваться на участках длительного пребывания рабочих, даже если на них интенсивность теплового излучения меньше $300 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$. Согласно СНиП II.33—75 поддержание требуемых температуры и скорости движения воздуха на постоянных рабочих местах при тепловом облучении работающих интенсивностью от 150 до $300 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ и при площади излучающих поверхностей в пределах рабочего места более $0,2 \text{ м}^2$ рекомендуется поддерживать путем душирования. В зависимости от возможности изменения качества подаваемого воздуха установки воздушного душирования делятся на четыре типа.

К первому типу относятся установки, подающие наружный обработанный воздух (очищенный, охлажденный в летний и нагретый в зимний периоды). Ко второму типу относятся установки, подающие наружный воздух без его обработки. К третьему типу относятся установки, подающие внутренний воздух цеха, предварительно подвергнутый охлаждению. К четвертому типу относятся установки, подающие внутренний воздух цеха без обработки.

Установки воздушного душирования первого и второго типов выполняются стационарными, а третьего и четвертого типов обычно передвижными или переносными. Стационарные душирующие установки первого типа состоят из оборудования для подачи и обработки (очистки, нагрева и охлаждения) наружного воздуха, разветвленной сети воздухопроводов и приточных душирующих патрубков для подачи воздуха на определенные рабочие места или площадки. Оборудование для подачи и обработки воздуха применяется то же, что и в обычных приточных системах. Иное конструктивное решение имеют лишь патрубки для раздачи воздуха, которые должны предусматриваться поворотными в горизонтальной плоскости, обеспечивающими минимальную турбулентность выходящей струи и возможность изменения направления струи в вертикальной плоскости на угол не менее 30° .

Широкое распространение в таких системах получили душирующие патрубки с поджатым сечением конструкции ЛИОТ, приточные насадки конструкции В. В. Батурина и некоторые другие типы (см. гл. 2). Выбор насадка того или иного типа для душирования зависит от конкретных условий в цехе: размещения технологического оборудования, местоположения рабочего, а также расположения магистрального приточного воздуховода, подающего воздух к насадкам. Насадки конструкции В. В. Батурина, снабженные на выходе решеткой из поворотных лопаток, позволяют менять направление выходной струи в широком диапазоне. В зависимости от местоположения магистрального воздуховода применяются насадки различной конструкции. В табл. 2.2

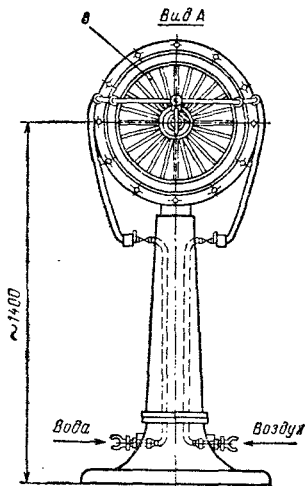
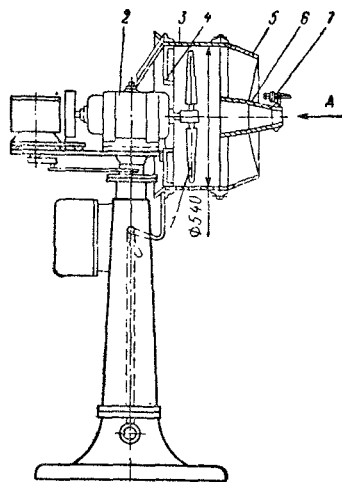


Рис. 8.6. Поворотный аэратор ПЛМ-24:

1 — осевой вентилятор; 2 — электродвигатель; 3 — обечайка; 4 — сетка; 5 — конфузор; 6 — обтекатель; 7 — пневматическая форсунка; 8 — направляющие лопатки

показаны приточные насадки при верхнем и нижнем расположении магистрального воздуховода. Системы, подающие воздух для воздушных душей, не должны совмещаться с другими системами приточной вентиляции.

Конструкций передвижных душирующих установок третьего и четвертого типов разработано много, однако наиболее широкое распространение получил поворотный аэратор ПАМ-24, который может работать как с увлажнением, так и без увлажнения подаваемого воздуха. Аэратор поворотный (рис. 8.6) состоит из рабочего колеса, направляющего аппарата, электропривода, стойки и пусковой электроаппаратуры. На направляющем аппарате установлена форсунка, которая подает распыленную воду в поток воздуха. Сжатый воздух для распыления воды подводится к форсунке по отдельному шлангу. В нижней части стойки осуществлен подвод сжатого воздуха и воды для форсунки. Технические данные поворотного аэратора приведены ниже.

Технические данные поворотного аэратора ПАМ-24

Производительность по воздуху, м ³ /ч	24 000
Габаритные размеры (длина × ширина × высота), мм	1235 × 1030 × 1940
Общая масса, кг	469
Диаметр рабочего колеса, мм	800
Число поворотов стола в минуту	11
Угол поворота стола, град	0—60
Давление воды для форсунок, атм	2—3
Давление воздуха для форсунок, атм	5
Ток	Переменный трех-

Напряжение, В 380

Учитывая сравнительно большую начальную скорость выхода воздуха, составляющую ~ 13 м/с, поворотный аэратор можно использовать для обслуживания рабочих мест или рабочих площадок при условии установки его на расстоянии 10—12 м от них. Поворотный аэратор ПАМ-24 изготавливается Старооскольским механическим заводом. Других передвижных душирующих агрегатов отечественная промышленность в настоящее время не выпускает.

В кузнечно-прессовых и термических цехах на рабочих местах у печей, соляных ванн, молотов и прессов, как правило, следует применять установки первого или второго типов. В кузнечных цехах на рабочих местах у ковочных машин можно применять установки первого и третьего типов при высокой температуре воздуха в цехе или второго и четвертого типов, если избытки тепла в цехе незначительны.

Местную приточную вентиляцию в кузнечных и термических цехах следует также предусматривать и для создания нормальных условий труда крановщиков. Для этой цели применяются вентиляционные системы с подачей наружного обработанного воздуха или крановые кондиционеры. Более подробные сведения о вентиляционных системах для кабин крановщиков даны в гл. 7.

Общеобменная приточно-вытяжная вентиляция. В помещениях кузнечно-прессовых цехов, а также в печных залах, отделениях цианирования и в помещениях установок ТВЧ, в которых основным неблагоприятным фактором является избыточное тепло, воздухообмен рассчитывается из условия ассимиляции теплоизбытков с последующей проверкой его на растворение выделяющихся окиси углерода, сернистого газа и цианистого водорода до ПДК. Воздухообмен в помещениях следует определять для трех периодов года, так как тепловой баланс в эти периоды различен. Как правило, воздухообмен, полученный для летнего периода, бывает достаточным для растворения окиси углерода и сернистого газа. В зимний период года в связи со значительным сокращением теплоизбытков и, следовательно, с уменьшением воздухообмена, рассчитанного на их поглощение, всегда следует проверять достаточность его для растворения газовых вредных веществ до ПДК.

Количество вредных веществ, поступающих в помещение от технологического оборудования, следует принимать в соответствии с рекомендациями, приведенными в п. 8.1. Теплопоступление в помещения от солнечной радиации и людей, а также теплопотери через ограждающие конструкции здания принимаются на основании данных, приведенных в Справочнике проектировщика [32].

На основании приведенных выше данных составляются тепловые балансы и определяются избытки тепла для каждого периода года, однако прежде чем приступить к расчету необходимого воздухообмена для общеобменной вентиляции, следует определить количество тепла, ассимилируемое системами местной

вытяжной вентиляции и системами местного притока (если они имеются в цехе). Количество тепла, удаляемого местной вытяжкой,

$$Q_{\text{мо}} = G_{\text{мо}} \cdot 0,24 (t_{\text{рз}} - t_{\text{пр}}), \quad (8.20)$$

где $G_{\text{мо}}$ — масса воздуха, удаляемого местными отсосами, кг/ч.

Количество тепла, ассимилируемого местной приточной вентиляцией,

$$Q_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} \cdot 0,24 (t_{\text{рз}} - t'_{\text{пр}}), \quad (8.21)$$

где $G_{\text{пр}}$ — масса воздуха, подаваемого местным притоком, кг/ч; $t'_{\text{пр}}$ — температура воздуха, подаваемого местным притоком, °С.

Количество тепла, которое должно быть ассимилировано общеобменной вентиляцией,

$$Q = Q_{\text{изб}} - Q_{\text{мо}} - Q_{\text{пр}}. \quad (8.22)$$

Необходимое количество воздуха (кг/ч), которое следует удалить установками общеобменной вентиляции,

$$G = \frac{Q}{0,24 k_{\text{эф}} (t_{\text{рз}} - t_{\text{пр}})}, \quad (8.23)$$

где $k_{\text{эф}}$ — коэффициент эффективности воздухообмена, характеризующий степень использования приточного воздуха в помещении.

В кузнечно-прессовых цехах при подаче воздуха в рабочую зону через нижние аэрационные проемы или воздухораспределители, когда образующиеся приточные струи затухают в рабочей зоне, $k_{\text{эф}}$ можно определить из выражения

$$k_{\text{эф}} = 1 + \frac{Q_{\text{вз}}}{Q_{\text{рз}}}. \quad (8.24)$$

Коэффициент эффективности воздухообмена при других способах организации вентиляции будет иным и может быть определен по формулам, приведенным в п. 1.6.

При определении необходимого воздухообмена для поглощения теплоизбытков можно пользоваться также величиной m , обратно пропорциональной коэффициенту $k_{\text{эф}}$. В этом случае формула приобретает вид

$$G = \frac{Qm}{0,24 (t_{\text{рз}} - t_{\text{пр}})}. \quad (8.25)$$

При определении необходимого воздухообмена в практических расчетах коэффициент m можно принимать по данным [31], равным для пролетов с молотами 0,4, для пролетов с прессами и ковочными машинами 0,35. Указанные значения m справедливы только при условии организации вентиляции в кузнечном цехе по схеме «снизу вверх».

Воздухообмен в современных кузнечно-прессовых и термических цехах достигает очень больших величин, выражающихся в сотнях тысяч и миллионах кубических метров в час, поэтому его целесообразнее всего осуществлять путем аэрации. Естественный воздухообмен в цехе осуществляется вследствие разности температур наружного и внутреннего воздуха, а также благодаря действию ветра. Обеспечение воздухообмена в течение круглого года путем аэрации следует предусматривать только в таких кузнечно-прессовых цехах, в которых избытки тепла значительно превышают потребности тепла на отопление.

Для поступления наружного воздуха в стенах здания следует предусматривать открывающиеся фрамуги: на наиболее высоких отметках (не ниже 4 м) — для холодного и переходного периодов года; на наиболее низких (от 0,3 до 1,8 м) — для теплого периода года. При значительных теплоизбытках для поступления воздуха могут быть использованы проемы, располагаемые в два и более яруса, а также ворота, при этом предпочтение следует отдавать подаче воздуха через проемы в нижних ярусах.

Если технологическое оборудование, выделяющее тепло, располагается в непосредственной близости от наружной стены, то приточные отверстия в ней следует размещать в разрывах между ними.

В многопролетных цехах поступление наружного воздуха следует осуществлять через проемы в наружных стенах, а также через фонари примыкающих холодных пролетов. Для повышения эффективности аэрации холодные пролеты рекомендуется отделять от горячих перегородками, не доходящими до пола на 2—3 м. Для удаления воздуха из помещения кузнечного цеха следует предусматривать незадуваемые аэрационносветовые П-образные фонари или аэрационные фонари незадуваемого типа, а также незадуваемые шахты, причем фонари целесообразнее применять при равномерном расположении технологического оборудования в цехе, а шахты — при сосредоточенном. Для открывания оконных и фонарных переплетов должны предусматриваться легкоуправляемые с пола или рабочих площадок приспособления или механизмы.

Процесс аэрации здания является нестационарным, он зависит от интенсивности работы технологического оборудования, изменяющихся во времени температуры наружного воздуха, а также скорости и направления ветра. Учесть все эти факторы, влияющие на изменение воздухообмена в цехе, — задача очень сложная, поэтому практически расчет аэрации выполняют по упрощенной схеме, исходя из следующих положений: процесс рассматривается установившимся и факторы, обуславливающие воздухообмен, принимаются неизменными во времени; температура воздуха внутри здания принимается одинаковой на всем его протяжении; инфильтрация воздуха не учитывается; ввиду непостоянства силы и направления ветра при расчете аэрационных проемов

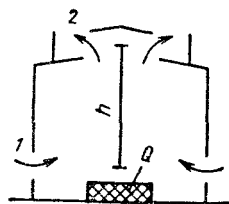


Рис. 8.7. Схема аэрации однопролетного здания:

1 — нижний ряд фрамуг; 2 — верхний ряд фрамуг

учитывается только разность массы воздуха. Наиболее простым является расчет аэрации для однопролетного здания. Рассмотрим однопролетное здание (рис. 8.7), имеющее ряд отверстий в нижней зоне для притока наружного воздуха и открывающиеся фрамуги в фонаре для удаления воздуха. Давление (кг/м^2) в этом случае будет равно.

$$\Delta p_{1,2} = h(\gamma_n - \gamma_v), \quad (8.26)$$

где h — расстояние между осями проемов, м.

При расчете аэрации рекомендуется принимать максимально возможную площадь приточных проемов исходя из архитектурно-строительных решений здания. При этом скорости движения приточного воздуха будут меньшими и тепловые потоки, восходящие от горячего оборудования, будут меньше размываться в рабочей зоне. Потерю давления на проход воздуха через приточные проемы можно определить из выражения

$$\Delta p_1 = \frac{\xi_1}{2g\gamma_n} \left(\frac{G}{F_1 \cdot 3600} \right)^2. \quad (8.27)$$

Потеря давления на проход воздуха через фонарь

$$\Delta p_2 = \Delta p_{1,2} - \Delta p_1. \quad (8.28)$$

Необходимая площадь вытяжных проемов

$$F_2 = \frac{G}{3600 \sqrt{\frac{2g\gamma_v}{\xi_2} \Delta p_2}}, \quad (8.29)$$

где F_1, F_2 — площади приточных и вытяжных проемов, м^2 ; G — необходимое количество воздуха, кг/ч ; g — ускорение силы тяжести, м/с^2 ; γ_n, γ_v — плотность наружного и уходящего из помещения воздуха, кг/м^3 ; ξ_1, ξ_2 — коэффициенты местного сопротивления приточных проемов и фонаря, принимаемые по данным [32].

Для удаления воздуха из помещения цеха, кроме фонарей и вытяжных незадуваемых шахт, применяют также и системы с механическим побуждением, в которых чаще всего в качестве побудителей используют осевые вентиляторы 06-300 или крышные центробежные вентиляторы КЦЗ-90. Вентиляторы устанавливают непосредственно на перекрытии цеха. Для удобства монтажа и обслуживания осевых вентиляторов их можно размещать по 6—8 шт. в специальных вытяжных камерах. Следует отметить, что нормальная эксплуатация аэрационных фонарей, как пока-

зала практика, в ряде случаев затруднена, так как они либо не оборудованы механизмами дистанционного управления, либо эти механизмы работают неудовлетворительно. Поэтому в цехах очень часто наблюдается нарушение организованного и регулируемого воздухообмена, что приводит к переохлаждению цеха в зимний период и к перегреву — в летний. Кроме того, строительство фонарей значительно усложняет конструкцию кровли, а в районах, где количество осадков в зимний период велико и массы снега скапливаются между отбойными щитками и фонарными фрамугами, усложняется и обслуживание фонарей.

В ряде производственных помещений термического цеха не представляется возможным обеспечить поддержание нормальных условий труда путем аэрации. В этих случаях вентиляция осуществляется системами с механическим побуждением. Приточные и вытяжные системы с механическим побуждением следует проектировать для отделений очистки и гидрополировки, цианирования, установок для приготовления контролируемых атмосфер, помещений установок испарительного азотирования и хранения баллонов для азотирования. Приточные системы с механическим побуждением следует предусматривать для подачи наружного воздуха в рабочую зону в пролетах, удаленных от наружных стен более чем на 30 м, а также при размещении кузнечно-прессовых и термических цехов в блокированных корпусах, когда поступление приточного воздуха путем аэрации затруднено.

В отделениях очистки, гидрополировки и приготовления твердых карбюраторов расчетный воздухообмен определяется по количеству воздуха, удаляемого через местные отсосы. В помещениях хранения баллонов для азотирования, испарительного азотирования, а также в отделении установок для приготовления контролируемых атмосфер воздухообмен определяется из условия растворения аммиака до ПДК. В помещении расходной кладовой цианистых солей расчетный воздухообмен принимается равным сумме объема воздуха, извлекаемого через местные отсосы, и объема воздуха (в размере пятикратного объема помещения), удаляемого общеобменной вентиляцией.

Удаление воздуха в отделении цианирования, помещении хранения баллонов для азотирования, испарительной азотирования, отделении установок для приготовления контролируемых атмосфер, складов металла, масла и химических материалов следует предусматривать из наиболее высоких точек помещения, практически непосредственно из-под перекрытия. В помещении расходной кладовой цианистых солей удаление воздуха должно осуществляться из нижней зоны помещения на высоте ~300 мм от пола.

Для компенсации воздуха, удаляемого из помещений, следует предусматривать подачу приточного воздуха, причем для предотвращения перетекания вредных веществ из помещений более грязных в помещения более чистые объем приточного воздуха

должен быть меньше вытяжки. Недостающий объем воздуха следует подавать в смежные, более чистые помещения. Раздачу приточного воздуха в отделениях очистки, гидрополировки и приготовления твердых карбюраторов, технологические процессы в которых сопровождаются выделением пыли, следует осуществлять через отверстия воздухораспределителей, расположенных выше рабочей зоны. Для этой цели могут быть использованы перфорированные воздуховоды и плафоны различной конструкции. В остальных помещениях раздача приточного воздуха должна осуществляться в рабочую зону. Для этой цели могут быть предусмотрены применяемые в настоящее время типовые конструкции воздухораспределителей: пристенные ВП, эжекционные ВЭП и панельные ВПП. В тех случаях, когда размещение технологического оборудования и конструктивные особенности здания не позволяют расположить в рабочей зоне необходимое количество воздухораспределителей, подачу воздуха согласно СНиП II.33—75 можно осуществлять из воздухораспределителей, расположенных на уровне не более 6 м от пола.

Отопление. В кузнечно-прессовых цехах, характеризующихся обычно значительными избытками тепла во все периоды года, специальных систем отопления, как правило, не предусматривается. При наличии гидравлического хозяйства и одно- или двухсменной работе цеха следует предусматривать дежурное отопление, используя для этой цели приточные системы или душирующие установки. В тех случаях, когда приточная вентиляция в цехе осуществляется системами большой производительности и мощность электродвигателей велика, может оказаться целесообразным для дежурного отопления предусматривать отопительные агрегаты.

В печных пролетах термических цехов при отрицательном тепловом балансе в зимний и переходный периоды предусматривается воздушное отопление, которое, как правило, осуществляется совмещенным с приточной вентиляцией. В нерабочее время для поддержания температуры в цехе 5°C можно использовать полностью или частично приточные системы или душирующие установки. В остальных помещениях отопление осуществляется местными нагревательными приборами.

8.5. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ КУЗНЕЧНОГО ЦЕХА

Кузнечный цех (рис. 8.8) размещается в помещении размерами $58 \times 22 \times 16,5$ м, расположенном в крайнем пролете трехпролетного блока цехов. Объем помещения кузнечного цеха $21\,000\text{ м}^3$.

Пример расчета необходимого воздухообмена в помещении кузницы и организации вентиляции приводится только для летнего периода. Расчетная летняя температура наружного воздуха

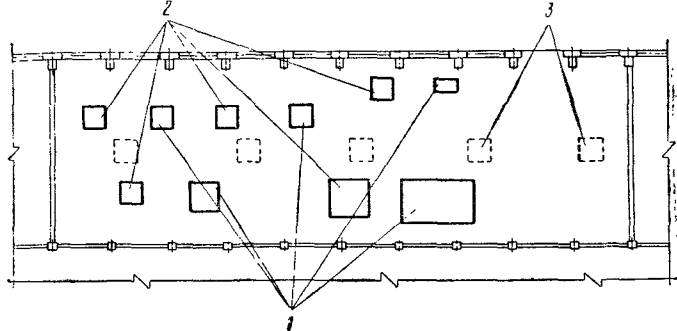


Рис. 8.8. План кузнечного цеха:

1 — нагревательные печи; 2 — механические молоты; 3 — незадуваемые шахты ВНШ-2

$+20^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха в рабочей зоне в летний период принимается согласно СН 245—71 на 5°C выше наружной и составляет $+25^{\circ}\text{C}$. Помещение характеризуется значительными избытками явного тепла (более $20 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч}$). Нагрев заготовок осуществляется в камерных печах, работающих на газообразном топливе. Удаление продуктов горения в атмосферу осуществляется через комбинированные зонты, устанавливаемые над печами.

На рабочих местах у нагревательных печей и молотов, характеризуемых воздействием лучистого тепла на работающих $300 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч}$ и более, предусматривается воздушное душирование. Температура и скорость движения воздуха на рабочих местах принимается в соответствии с СН 245—71 и составляет для теплого периода года $t = 20^{\circ}\text{C}$ и $v = 3 \text{ м/с}$. Объем воздуха, подаваемого приточной системой для душирования, $15\,000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Температура воздуха при выходе из душирующих поворотных патрубков типа ППД-5 12°C . Теплоступления в помещение от технологического оборудования $728\,000 \text{ ккал/ч}$. Теплоступления от солнечной радиации $72\,300 \text{ ккал/ч}$. Теплоступление от людей $6\,400 \text{ ккал/ч}$. Суммарные теплоступления $806\,700 \text{ ккал/ч}$.

Тепло, уносимое местными отсосами и технологическими установками, составляет

$$47\,400 \cdot 0,29 (25 - 20) = 68\,400 \text{ ккал/ч.}$$

Тепло, ассимилируемое системами местной приточной вентиляции, составляет

$$15\,000 \cdot 0,29 (25 - 12) = 57\,000 \text{ ккал/ч.}$$

Теплоизбытки в помещении составляют

$$806\,700 - 68\,400 - 57\,000 = 681\,300 \text{ ккал/ч.}$$

Принимаем коэффициент m для кузнечного цеха равным 0,4. Необходимый объем приточного воздуха, удаляемого естественным путем из верхней зоны, составит

$$\frac{681\,300 \cdot 0,4}{0,29(25 - 20)} = 187\,000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество воздуха, поступающего естественным путем, составит

$$187\,000 - 15\,000 + 47\,400 = 219\,400 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена в помещении будет равной

$$\frac{234\,400}{21\,000} \cong 11.$$

Поступление наружного воздуха осуществляется через открывающиеся фрамуги на высоте 0,8 м от пола. Удаление воздуха предусматривается через пять незадуваемых шахт типа ВНШ-2 конструкции института «Промстройпроект» (г. Москва).

В зимний и переходный периоды года принцип вентиляции в кузнечном цехе сохраняется таким же, как и в летний период.

ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОТОПЛЕНИЕ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫХ ЦЕХОВ

9.1. ПРОЦЕСС СВАРКИ И ВЫДЕЛЯЮЩИЕСЯ ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

В различных отраслях промышленности сборочно-сварочные работы выполняются как в небольших производственных помещениях, так и в крупных цехах в сотни тысяч кубических метров, причем основной объем работ по изготовлению металлических сварных конструкций падает на последние. Эти цехи могут быть размещены как в отдельно стоящих зданиях, так и в пролетах блокированных цехов. Часто в том же здании располагаются и заготовительные цехи.

Работы по изготовлению сварных изделий различных размеров выполняются на стационарных (сварочные столы и стенды) и нестационарных (крупногабаритные конструкции, замкнутые пространства) местах. В последние годы в практику входят механизированные и автоматизированные поточно-конвейерные линии сборки и сварки изделий. Широко внедряются на предприятиях поточные линии раскроя металла.

К числу наиболее распространенных в промышленности электросварочных процессов относится ручная сварка покрытыми штучными электродами. Растет применение перспективного способа сварки в среде углекислого газа, особенно полуавтоматической. Для ряда отраслей промышленности характерно широкое использование различных видов контактной сварки, сварки под флюсом, порошковой проволокой и в среде инертных газов.

Для раскроя металла применяются машины газовой и плазменной резки. При сборке изделий используются ручная газовая резка и воздушно-дуговая строжка.

Наиболее распространенные процессы электросварки и резки металлов сопровождаются значительным пылеобразованием и выделением в воздух помещения вредных газов—окиси углерода, окислов азота, озона, фтористого водорода и др.

Для некоторых процессов (например, для сварки под флюсом, сварки вольфрамовым электродом в инертных газах) определяющим вредным фактором являются газовыделения.

Многочисленными санитарно-гигиеническими исследованиями установлено, что количество и состав вредных выделений зависят

в основном от марки сварочных материалов. На вредные выделения оказывает влияние также процесс сварки и состав свариваемого металла.

Экспериментальные данные о валовых выделениях вредных веществ для основных видов сварки и сварочных материалов, а также для некоторых случаев резки и строжки металлов приведены в табл. 9.1 и 9.2.

Тепловыделения от электродуговой сварки существенно влияют на температурные условия при работе в замкнутых пространствах малого объема. В больших цехах удельные тепловыделения относительно малы. Сборочно-сварочные цехи относятся к производственным помещениям с незначительными тепловыделениями и нуждаются в холодное время года в отоплении.

Для процессов резки и сварки металлов характерны значительные концентрации аэрозоля вблизи места резки или сварки.

При резке распространение аэрозоля в воздухе определяет газовая струя, которая подхватывает и несет со значительной скоростью пыль и газы. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе рационального способа улавливания вредных веществ и разработке конструкций местных вытяжных устройств.

Таблица 9.1

Валовые выделения вредных веществ при резке

Процесс и вид материала	Толщина разрезаемых материалов δ , мм	Единица измерения	Пыль	Мп (в составе пыли)	Газы	
					СО	NO ₂
Газовая резка Сталь 45Г17ЮЗ	5	г/пог. м	2,5	0,6	1,4	1,1
	10		5,0	1,2	2,0	1,6
	20		10,0	2,4	2,7	2,2
То же Сплавы титана	4	г/пог. м	5,0	—	1,0	0,5
	12		15,0	—	1,8	0,9
	20		24,0	—	2,2	1,1
	30		36,0	—	2,7	1,5
Плазменная резка Сплавы АМГ	8	г/пог. м	2,5	—	0,6	2,5
	20		4,0	—	0,9	4,0
	80		6,0	—	1,8	8,0
То же Сталь 09Г2	14	г/пог. м	5,0	—	2,0	10
	20		10,0	—	2,5	14
Воздушно-дуговая строжка Сталь 45Г17ЮЗ	—	кг угольных электродов	—	50 000	—	—

**Валовые выделения вредных веществ при сварке металлов, г/кг
расходуемых сварочных материалов**

Процесс	Сварочные материалы	Пыль	Аэрозоли в составе пыли					Газы	
			Mn	CrO ₃	Cr ₂ O ₃	Другие компоненты		HF	O ₃
						Наименование	Количество		
Ручная сварка стали	УОНИ 13/45	14	0,5	—	—	Фториды	1,4	1,0	—
	УОНИ 13/55	18	1,1	—	—	—	—	2,3	
	АНО-3	6	0,9	—	—	—	—	—	
	АНО-6	16	2,0	—	—	—	—	—	
	АНО-7	12	1,5	—	—	—	—	—	
	ОЗС-3	15	0,4	—	—	—	—	—	
	ОЗС-4	9	1,1	—	—	—	—	—	
	МР-3	10	1,3	—	—	—	—	0,4	
	ЦЛ-17	10	0,6	0,17	—	—	—	—	
	ЭА-606/11	12	0,7	0,39	0,3	Фториды	2,1	—	
	ЭА-400/10У	6	0,4	0,25	—	—	—	0,5	
	ОЗЛ-14	8	1,4	0,46	—	—	—	0,9	
	ЭА-395/9	17	1,1	0,13	—	—	—	—	
	ЭА-981/15	10	0,7	0,72	—	—	—	—	
	ЭА-48М/22	10	1,0	0,73	0,7	Фториды	1,4	—	
Полуавтоматическая сварка плавящимся электродом стали в CO ₂	СВ08Г2С	8	0,4	—	—	—	—	—	
	СВ08Г6Х	15	1,8	0,50	—	Ni	2,0		
	16Н25М6	8	0,7	0,02	0,4	SiO ₂ Fe	1,8 6,0		
	СВ10Х20Н7СТ								
	СВ08ХГН2МТ	7	0,2	He обна- ру- жено То же	0,1	Fe	1,2		
То же, меди в азоте То же, меди в аргоне	МНЖКТ-5—	14	0,2	—	—	Cu	7	—	
	—1—0,2—0,2	18	0,3	—	—	Cu	11		
То же, АМГ в аргоне	АМГ	20	0,7	—	—	Al	15	—	0,1
То же, титановых сплавов в аргоне	Сплавы титана	5	—	—	—		—	—	0,1

Процесс	Сварочные материалы	Пыль	Аэрозоли в составе пыли					Газы	
			Mn	CrO ₂	Cr ₂ O ₃	Другие компоненты		HF	O ₂
						Наименование	Количество		
Ручная сварка вольфрамовым электродом в аргоне	АМГ Сплавы титана	5	—	—	—	W	1,5	—	0,1
		4	—	—	—		—	—	0,1
Сварка порошковой проволокой	ЭПС-15/2	8	0,9	—	—	—	—	0,8	—
	ПП-ДСК-1	12	0,8	—	—	—	—	—	—
	ПП-АН-3	14	1,4	—	—	—	—	2,7	—
Сварка над флюсом	Флюсы:								
	АН-348А	—	—	—	—	—	—	0,1	—
	ОСЦ-45	—	—	—	—	—	—	0,2	—
	ФЦ-7	—	—	—	—	—	—	0,1	—
	48-ОФ-6	—	—	—	—	—	—	0,1	—

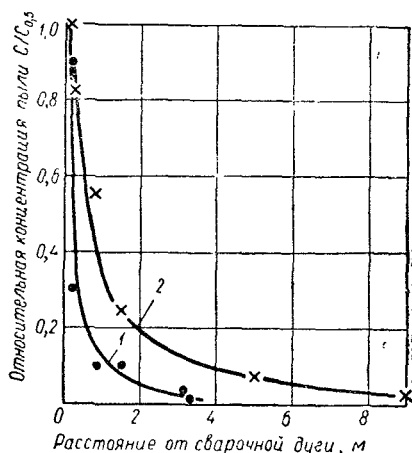
Источник выделения вредных веществ при сварке—сварочная дуга — имеет незначительные размеры. Непосредственно у источника имеют место высокие концентрации вредных веществ в воздухе. Конвективная струя над сварочной ванной и нагретым изделием подхватывает эти вещества и несет их с собой вверх, причем происходит интенсивное попутное подмешивание окружающего воздуха. Образующийся при сварке и резке аэрозоль конденсации характеризуется очень мелкой дисперсностью—более 90% частиц (по массе) имеют скорость витания меньше 0,1 м/с. Поэтому частицы аэрозоля легко следуют за воздушными потоками аналогично газам.

По мере удаления от источника как по горизонтали, так и по вертикали концентрация вредных веществ в воздухе резко падает и на расстоянии соответственно 2 и 4 м приближается к общему фону загрязнения воздуха в помещении (рис. 9.1). Общий фон в вентилируемых цехах обычно не превышает предельно допустимых концентраций. Но в зоне дыхания сварщика или резчика при ручных операциях содержание в воздухе аэрозоля и его отдельных вредных компонентов, как правило, превышает допустимое во много раз.

Характер распространения вредных выделений приводит к выводу о том, что методами общеобменной вентиляции не представ-

Рис. 9.1. Кривые распределения концентраций сварочного аэрозоля по горизонтали (1) и по вертикали (2) от точки сварки

ляется возможным снизить концентрацию вредных веществ на рабочем месте сварщика или резчика до допустимых пределов. Это может быть достигнуто только с помощью местного отсоса вредных выделений непосредственно от источника их образования, причем чем ближе к источнику будет расположен местный отсос, тем меньше объемы удаляемого воздуха обеспечит надежное улавливание вредных веществ. Конструкции применяемых в настоящее время местных вытяжных устройств весьма разнообразны, так как различны технологические процессы, размеры и конфигурация свариваемых изделий, применяемое производственное оборудование.



9.2. МЕСТНАЯ ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ СТАЦИОНАРНЫХ ПОСТОВ

При различных способах резки и сварки изделий на столах местные отсосы получили широкое распространение. Основные виды применяемых в настоящее время при сварке местных вытяжных устройств приведены в табл. 9.3.

Для раскроечных столов основная схема местной вытяжки включает емкий пылегазоприемник, который принимает направленную в него газовую струю, несущую аэрозоль. Одна из таких конструкций представлена на рис. 9.2. В ней короб стола разделен на секции, служащие пылегазоприемниками. Пылегазовый поток входит в них через неплот-

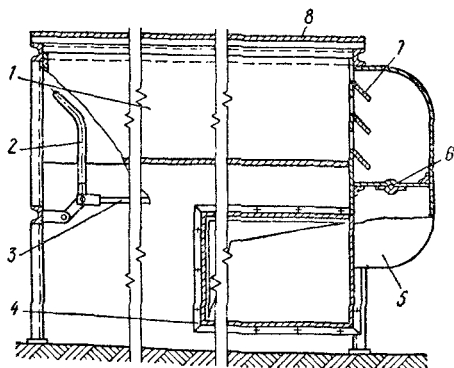


Рис. 9.2. Секционный отсос от раскроечного стола:

1 — короб стола; 2 — рукоятка дросселя; 3 — ось; 4 — воздуховод; 5 — приемник; 6 — дроссельный клапан; 7 — решетка; 8 — разрезаемый лист металла

Местные отсосы к сварочным постам и сварочному оборудованию

Оборудование	Размер всасывающего отверстия, мм	Скорость в газоритном сечении, м/с	Объем отсасываемого воздуха, м ³ /ч	Коэффициент местного сопротивления или потери давления	Условия применения	Примечание
Сварочный стол (см. рис. 9.3)	—	—	1500—1800	—	Сварка изделий высотой до 0,5 м	Конструкция ВИСП (г. Киев)
Наклонная панель равномерного всасывания	600×645 750×645 900×645	1,0	1400 1800 2000	1,0	То же	Конструкция ЛИОТ
Вертикальная панель равномерного всасывания	900×600	1,2	2100	1,2	»	—
Нижняя решетка в плоскости стола	700×350	2,0	1800	1,2	Сварка изделий высотой до 0,4 м	—
Поворотно-подъемный воздухоприемник ЛИОТ-2	600×450	2,0	2000	1,6	Сварка на стендах изделий различной высоты	Конструкция ЛИОТ
Переносный пылегазоприемник с пневматическим присосом (см. рис. 9.11)	Ø 90	6,5	150	300 кг/м ²	Ручная сварка на конструкциях и в закрытых объемах	То же
Пылегазоприемник к полуавтомату ПШ-54	—	7,5	80	3,5	Сварка под слоем флюса	»
Щелевой пылегазоприемник к трактору АДС-1000	—	7,0	150	—	То же	Конструкция ВЦНИИОТ
Приемник-воронка к трактору АДС-1000	Ø 100	5,3	150	0,3	»	—
Встроенный отсос к трактору АДС-1000-2У (см. рис. 9.6)	—	—	60	—	Сварка в СО ₂ стыковых соединений	—
Встроенный отсос к трактору АСУ-6М	—	—	40	—	Сварка в СО ₂ тавровых соединений	—

Оборудование	Размер всасывающего отверстия, мм	Скорость в габаритном сечении, м ³ /с	Объем отсасываемого воздуха, м ³ /ч	Коэффициент местного сопротивления или потерь давления, кг/м ²	Условия применения	Примечание
Нижний отсос от контактной точечной машины типа МТП (см. рис. 9.9)	130× ×75×2	2,8	200	0,6	Точечная сварка	—
Укрытие-отсос к машине типа МСМУ-150	—	—	700	1,2	Стыковая сварка	Альбом ОВ-02-151
Укрытие-отсос к машине типа СМ-50-2	—	—	500	1,2	То же	То же

ности и прорези в листе металла. В стенке каждой секции имеется отверстие, закрытое решеткой, которое сообщает полость секции с ответвлением сборного вытяжного канала, проходящего вдоль стола и присоединенного к вытяжному вентилятору низкого или среднего давления. Каждое ответвление снабжено дросселем, обычно стоящем в положении «Закрыто». С целью сокращения объема вытяжки путем открывания дросселя включается только одна рабочая секция.

При машинной резке переключение дросселей автоматизируется. Имеется ряд различных схем автоматизации. Заслуживает внимания пневматическая система, в которой движущаяся тележка газорезательной машины включает механизм подачи сжатого воздуха и последовательно приводит в действие рычаги, открывающие одновременно один клапан на рабочей секции стола. При ручной резке переключение дросселей производится вручную. Рекомендуемый объем удаленного воздуха для секционного раскроечного стола составляет 2000—2700 м³/ч на 1 м² площади раскроечного стола в зависимости от содержания токсичных веществ в аэрозоле, что, в свою очередь, определяется химическим составом разрезаемого металла. При этом верхняя плоскость стола должна быть максимально закрыта разрезаемым листом и в случае подобности специальными негорючими щитами так, чтобы площадь неплотностей и щелей не превышала 20%. Кроме того, при проектировании вытяжной системы необходимо учитывать бесполезные подсосы через отключенные секции, обусловленные недостаточной герметичностью дросселей, порядка 800 м³/ч на каждую отключенную секцию.

В настоящее время известен ряд других решений местной вытяжки от раскроечных столов, где имеется тенденция к существенному уменьшению расхода воздуха путем сокращения размеров рабочей секции [10, 22]. В них также имеются конструктивные недостатки, следствием которых являются значительные бесполезные подсосы воздуха.

При резке и строжке на нестационарных местах осуществить местный отсос практически не представляется возможным. Вредные выделения от этих операций должны быть учтены в расчете общеобменной вентиляции, а резчики обеспечены средствами индивидуальной защиты органов дыхания от пыли.

Сварочные столы в практике оборудуются различными местными отсосами, которые могут быть сведены к трем основным видам: наклонные панели равномерного всасывания, вертикальные панели и нижние отсосы через решетку в плоскости стола. Приемники типа укрытия или вытяжного шкафа применяются очень редко, так как обычно они неудобны для ведения технологического процесса.

Из названных трех основных видов приемников наиболее распространены наклонные панели [10]. Они более экономичны по расходу воздуха, так как угол, на который отклоняется всасывающим факелом вертикальная конвективная струя, здесь минимален—45—55°. Создаваемое ими поле скоростей в рабочем пространстве над столом наиболее равномерно.

Вертикальная панель при сварке некоторых изделий более удобна в использовании, но потребный расход воздуха для нее примерно на 20% выше по сравнению с наклонной панелью. Больших объемов отсоса требует нижняя решетка—примерно в 2 раза выше по сравнению с наклонной панелью, однако в некоторых случаях нижняя решетка является единственным удобным для выполнения технологических операций приемным устройством. Следует заметить, что наличие значительного градиента скоростей вблизи всасывающей решетки, которая в этом случае служит и для установки изделия, делает нежелательным ее использование при сварке в защитных газах из-за опасения нарушить газовую защиту сварочной ванны.

Распространенным вытяжным устройством к сварочному столу в настоящее время является сочетание наклонной панели и нижней решетки, которые можно использовать одновременно или поочередно. Регулирование объемов воздуха, удаляемых каждым приемником, а также отключение того или другого приемника осуществляются с помощью шиберов. Сварочные столы со встроенными местными отсосами такого типа выпускаются по ГОСТ 20741—75 [24]. Ильницким опытным заводом механического сварочного оборудования в двух модификациях: со встроенным индивидуальным вентилятором или для присоединения к общей цеховой сети местной вытяжной вентиляции (рис. 9.3).

При сварке на стационарных стендах несерийных изделий размером до 1,5—2,0 м обычно используют поворотно-подъемные

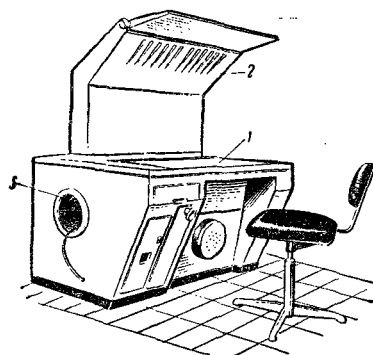


Рис. 9.3. Сварочный стол со встроенным вытяжным устройством:

1 — нижняя всасывающая решетка; 2 — наклонная решетка; 3 — патрубок

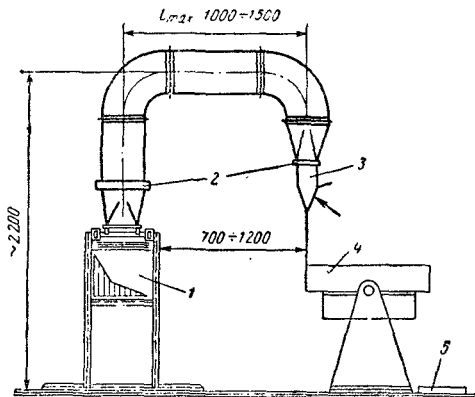


Рис. 9.4. Местный отсос с автоматическим перемещением:

1 — сборный воздуховод; 2 — поворотный фланец; 3 — воздухоприемник; 4 — свариваемая деталь; 5 — педаль

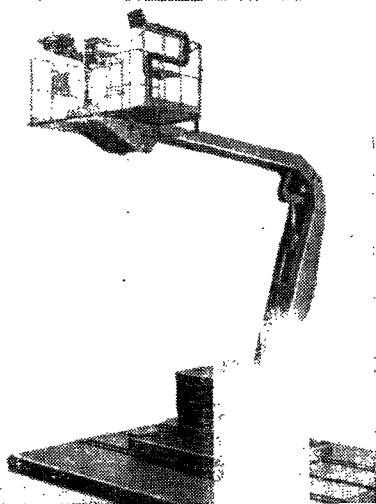
вытяжные устройства [10, 22], в которых приемник выполняется либо в виде наклонной панели равномерного всасывания (односторонней или двусторонней), либо в виде воронки круглого или прямоугольного сечения. При установке изделия в процессе сварки необходимо перемещать приемник в соответствии с выполнением рабочих операций.

В разработанной в одном из институтов г. Одессы вентиляционной установке перемещение приемника вдоль свариваемого изделия автоматизировано. Установка (рис. 9.4) состоит из воздуховода-основания и перемещающегося по нему отсоса [13]. На воздуховоде имеются направляющие для передвижения каретки с патрубком одностороннего или двустороннего всасывания. В деревянный настил, по которому ходит сварщик, вмонтированы нажимные пластины, связанные с конечными выключателями. Сварщик, нажимая пластину, замыкает соответствующие контакты, отсос автоматически передвигается и устанавливается против сварщика. Рекомендуемый авторами объем удаляемого воздуха составляет 1000—7000 м³/ч в зависимости от местных условий — в основном от расстояния между всасывающим отверстием и свариваемыми швами.

§ 9.3. МЕСТНЫЕ ВЫТЯЖНЫЕ УСТРОЙСТВА К СВАРОЧНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

Современной тенденцией в решении проблемы радикального улавливания вредных выделений при процессах электросварки является использование местных вытяжных устройств, встроен-

Рис. 9.5. Подъемно-поворотная площадка для сварщика со встроенной вытяжной системой



ных в сварочное оборудование. Разработки ведутся в трех направлениях: оснащение местной вытяжкой типового механического сварочного оборудования, создание сварочных горелок со встроенными отсосами и разработка частных решений для поточно-механизированных и конвейерных линий изготовления определенных изделий.

Всесоюзным проектно-конструкторским институтом сварочного производства в г. Киеве (ВИСП) при участии ленинградского ВНИИОТа разработаны опытные конструкции

подъемно-поворотной площадки для сварщика и тележки для перемещения подвесных сварочных автоматов со встроенными местными вытяжными устройствами [24].

Площадка для сварщика (рис. 9.5) оборудована поворотным приемником, который с помощью воздуховода и полого пространства в стреле сообщается через открывающиеся окна с каналом, расположенным в полу на длине рельсового пути для перемещения площадки. Рекомендуемый объем удаляемого приемником воздуха составляет $500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Кроме того, имеются бесполезные подсосы в систему через неплотности, которые могут достигать 200—300% по отношению к полезно-отсасываемому воздуху.

По той же схеме выполнена и тележка для перемещения сварочных автоматов [24].

Известен ряд опытных конструкций местных отсосов и горелок со встроенными отсосами к сварочным автоматам.

На рис. 9.6 представлен автомат тракторного типа для сварки в углекислом газе, горелка которого оснащена малогабаритным встроенным кольцевым пылегазоприемником. Эффективное улавливание вредных выделений осуществляется удалением $60 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха. При этом газовая защита сварочной ванны не нарушается [30, 35]. Удаление воздуха может осуществляться с помощью цеховой высоковакуумной системы или индивидуальным агрегатом, имеющим соответствующую характеристику.

К аналогичному автомату для сварки под слоем флюса предположены щелевой и воронкообразный приемники [10, 22] с объемом удаляемого воздуха порядка $150 \text{ м}^3/\text{ч}$. Во избежание засасы-

вания флюса входное отверстие приемника должно располагаться на высоте ~ 40 мм над поверхностью флюса.

В выпущенном Центральным институтом типового проектирования Госстроя СССР альбоме «Местные отсосы и укрытия к технологическому оборудованию сварочных цехов. ОВ-02-151» приводятся частные решения местных отсосов к некоторым типам автоматов для наплавки и сварки под слоем флюса и к автоматам для сварки в защитных газах. Такие отсосы обеспечивают улавливание вредных выделений непосредственно во время сварки. Обеспыливание процессов засыпки и уборки флюса может быть достигнуто их механизацией.

В иностранной периодической печати имеются публикации об автоматических и полуавтоматических сварочных горелках со встроенными местными отсосами. На Международной выставке сварочного оборудования в Ленинграде в 1975 г. были представлены такие полуавтоматы для сварки в углекислом газе и порошковой проволокой шведской фирмы ЭСАБ и американских фирм Бернارد и Хобарт. Полуавтоматическая горелка фирмы Хобарт показана на рис. 9.7. Отсос загрязненного воздуха осуществляется через кольцевую щель, рекомендуемый объем удаляемого воздуха $60 \text{ м}^3/\text{ч}$. Для улучшения условий входа отсасываемого воздуха и надежности газовой защиты сварочной ванны внешняя и внутренняя образующие кольцевого канала имеют внизу плавную отбортовку.

Фирма Бернارد в первом варианте в качестве воздухоприемного устройства приняла коническую всасывающую камеру с дырчатой поверхностью. В последующей модели применен кольцевой приемник. Объем отсасываемого воздуха при сварке в угле-

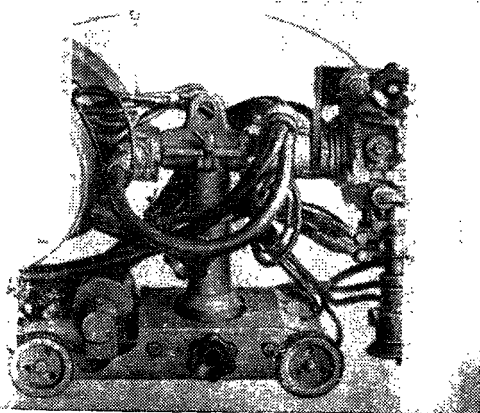


Рис. 9.6. Трактор для сварки в углекислом газе со встроенным пылегазоприемником



Рис. 9.7. Полуавтоматическая горелка для сварки в среде защитных газов со встроенным местным отсосом (фирмы Хобарт):

1 — электродная проволока; 2 — сопло для подачи защитного газа; 3 — кольцевой отсос; 4 — вытяжной канал

кислом газе или порошковой проволокой на токах до 600 А рекомендован 100 м³/ч. Фирма выпускает горелки трех моделей, рассчитанные на различные токи.

Шведская фирма ЭСАБ использовала также кольцевой приемник при объеме удаляемого воздуха 60 м³/ч.

Указанные фирмы выпускают комплексные и индивидуальные

фильтровентиляционные агрегаты со сменными элементами для очистки воздуха от пыли, высоковакуумными побудителями и шлангами. На рис. 9.8 представлен такой агрегат фирмы Бернард. Его габариты 410×355×690 мм, масса ~30 кг. Побудитель имеет производительность 100 м³/ч при разрежении 1500 кг/м². После очистки воздух возвращается в рабочее помещение.

У нас в стране также ведутся подобные разработки. Так, в литературе опубликованы решения местного отсоса к полуавтомату ПШ-54 для сварки под флюсом [22], к полуавтомату А-537 для сварки в углекислом газе, которые, по данным авторов, при объемах удаляемого воздуха в несколько десятков кубических метров за час обеспечивают надлежащую чистоту воздуха в зоне дыхания сварщика.

Целесообразно устройство местных отсосов к контактными сварочным машинам. Для стыковых машин оно может быть выполнено в виде укрытия с отсосом из него воздуха с целью предупреждения распространения по помещению как аэрозоля, так и брызг расплавленного металла. Институтом «Проектпромвентиляция» разработаны такие укрытия к машинам МСМУ-150 и СМ-50-2 с объемами удаляемого воздуха 700 и 500 м³/ч, которые приведены в упомянутом выше альбоме ОВ-02-151.

Для точечных машин пылегазоприемник может быть расположен как над точкой сварки, так и внизу, около нижнего электрода (рис. 9.9). Рекомендуемый объем удаляемого воздуха составляет 150—200 м³/ч.

Местные отсосы от контактных машин можно присоединять к цеховым вытяжным системам с вентиляторами низкого или среднего давления.

Разработка сварочного оборудования со встроенными местными отсосами представляется наиболее универсальным и перспективным решением. Однако при создании конструкций встречается ряд трудностей, особенно для полуавтоматов. Стремление снизить массу ручного держателя подчас служит препятствием к использованию местного отсоса — единственного эффективного способа улучшения состояния воздушной среды на рабочем месте сварщика.

В некоторых случаях представляется возможным разрешить проблему улавливания сварочного аэрозоля путем устройства местных отсосов, встроенных во вспомогательное оборудование — стенды, кантователи и т. п. Такие решения могут быть целесообразны для поточно-механизированных и конвейерных линий сборки и сварки серийных изделий.

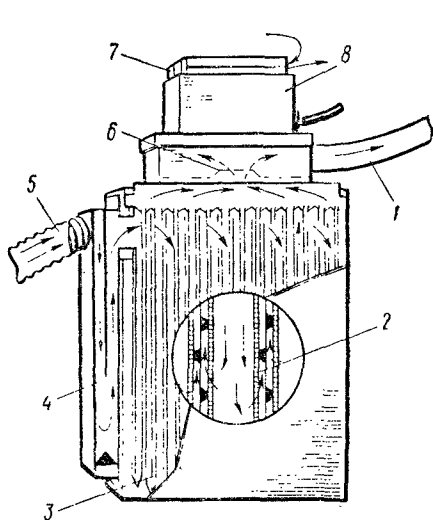


Рис. 9.8. Индивидуальный фильтро-вентиляционный агрегат фирмы Бернард:

1 — шланг; 2 — фильтрующий элемент; 3 — сменная кассета; 4 — искрогаситель; 5 — всасывающий шланг; 6 — вход в вентилятор; 7 — вход воздуха, охлаждающего мотор

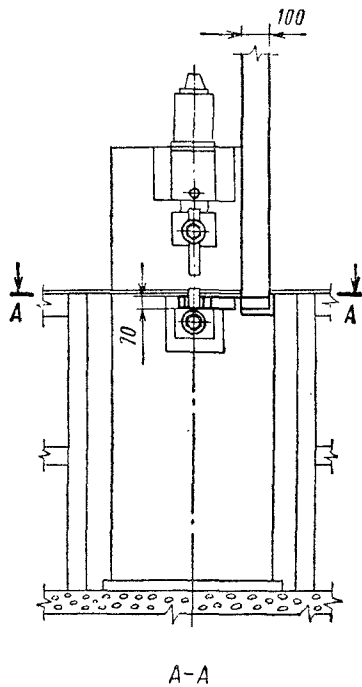
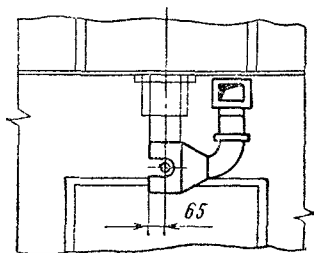


Рис. 9.9. Нижний отсос к контактной точечной машине



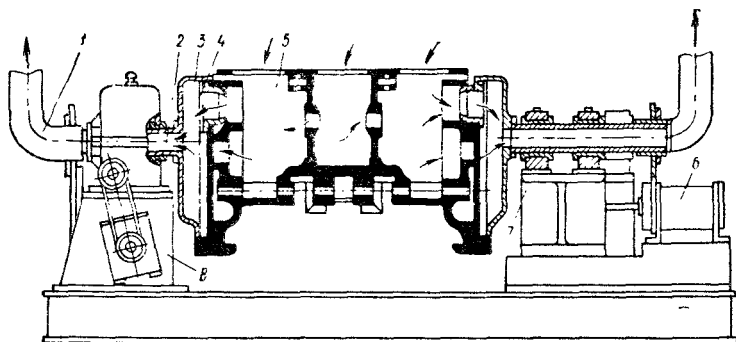


Рис. 9.10. Кантователь с отсосом воздуха через полые планшайбы и ваны:
 1 — вытяжная труба; 2 — полый вал; 3 — полая планшайба; 4 — отверстие; 5 — свариваемое изделие; 6 — механизм перемещения; 7 — подвижная стойка; 8 — приводная стойка

К числу удачных конструкций такого типа следует отнести кантователь с отсосом через полые планшайбы и валы, разработанный ВИСПом для конвейерной линии сборки и сварки бортовых фрикционов трактора Т-130 (рис. 9.10). Образующийся при полуавтоматической сварке в углекислом газе внутри полости изделия аэрозоль засасывается через полые планшайбы и валы в вытяжные воздуховоды, которые присоединяются к общей вытяжной сети или к вентиляционному агрегату, отводящим загрязненный воздух за пределы цеха. Перед перемещением конвейера автоматически с помощью пневмопривода воздуховоды отсоединяются от сети и вновь подсоединяются к ней после установки изделий на следующих позициях. Удалением таким устройством $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха обеспечивается поддержание на рабочем месте сварщика допустимой концентрации аэрозоля.

Простейшие коробчатые стенды также могут быть использованы в качестве вытяжных приемников, для чего они должны быть подключены к вытяжной сети и снабжены расположенными в непосредственной близости от свариваемых швов всасывающими отверстиями с решетками и экранами.

9.4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ПРИ СВАРКЕ В ЗАМКНУТЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Вентиляция замкнутых пространств малого объема при выполнении в них электросварочных работ представляет большие трудности, вызванные как спецификой выполнения технологического процесса, так и ограниченным числом и размерами отверстий, сообщающих это пространство с атмосферой.

При ручной электродуговой сварке рекомендуется использовать высоковакуумные системы с малогабаритными местными

отсосами (см. выше п. 4.5). Небольшие объемы удаляемого воздуха приводят к необходимости систематического перемещения отсоса вслед за свариваемым швом и быстрого крепления его у места сварки. Такого типа пылегазоприемник с пневматическим присосом-держателем показан на рис. 9.11. Собственно приемник выполнен в виде воронки с косым срезом. Воронка установлена в легком армированном шланге диаметром 32 мм. Далее в шланг вмонтирован диффузорный пережим, в суженном сечении которого создается местное значительное разрежение за счет известного физического явления падения статического давления вследствие увеличения кинетической энергии потока. Суженное сечение диффузорного пережима с помощью полой втулки сообщается с внутренней полостью резиновой полусферы, которая и служит присосом-держателем.

Экспериментальным путем установлено, что для восприятия нагрузки от приемника и пылесосного шланга $d = 32$ мм длиной 2 м необходимо поддерживать в полусфере диаметром 72/54 мм разрежение примерно 3500 кг/м^2 . Этому разрежению отвечает скорость около 300 м/с. При рекомендуемом для этого приемника объема удаляемого воздуха $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ диаметр суженного сечения равен 16 мм. Остальные размеры приняты из условного обеспечения минимальной невозвратимой потери давления в присосе.

Следует отметить, что потеря в значительной степени зависит от тщательности обработки внутренних поверхностей диффузорного пережима. При правильном его изготовлении она составляет около 300 кг/м^2 . Диаметр полой втулки 5 мм обеспечивает мгновенное налипание резиновой полусферы на поверхность. Отрыв присоса осуществляется рукой и не вызывает затруднений. Для обеспечения плотного прилегания к поверхности край полусферы оклеивается пористой резиной.

При объеме удаляемого воздуха $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ радиус действия приемника составляет примерно 150 мм, т. е. при сварке горизонтальных швов приемник следует переставлять при каждой смене электрода. При сварке вертикальных и потолочных швов перестановки могут осуществляться реже.

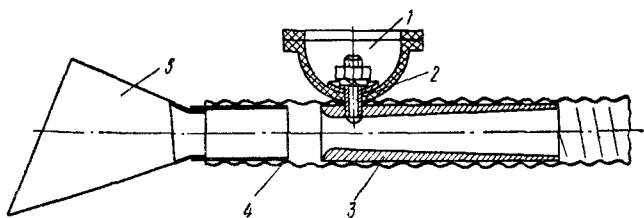


Рис. 9.11. Переносной пылегазоприемник с пневматическим присосом-держателем:

1 — резиновая полусфера; 2 — полая втулка; 3 — диффузорный пережим; 4 — пылесосный шланг $d = 32$ мм; 5 — пылегазоприемник

При правильном использовании приемника с присосом удаётся, как правило, снизить концентрацию аэрозоля в зоне дыхания электросварщика-ручника до допустимой. Незначительный объем удаляемого воздуха не вызывает ощутимых токов воздуха в рабочем объеме и не требует организованной компенсации притоком.

В теплое время года в рабочем объеме могут иметь место повышенные температуры вследствие недостаточного отвода тепла. В этом случае для удаления теплонизбытков в дополнение к местному отсосу следует предусматривать общеобменную вентиляцию замкнутого пространства — приточную, вытяжную или приточно-вытяжную в зависимости от конкретных условий. Воздухообмен должен быть определен расчетом и может составлять до 1000 м³/ч на одного сварщика.

При выполнении сварки в защитных газах, а также газовой резки осуществляется общеобменная вентиляция. Воздухообмен, как правило, принимают 2000—1000 м³/ч на одного рабочего исходя из реальных возможностей его осуществления и поддержания в объеме нормальных метеорологических условий. Электросварщики и газорезчики должны применять для защиты органов дыхания от аэрозоля средства индивидуальной защиты.

В тех случаях, когда конфигурация замкнутого объема и имеющиеся в нем отверстия позволяют осуществить сквозное проветривание, при скорости в сносящем потоке на рабочем месте 0,4—0,6 м/с за счет сдува можно обеспечить достаточную чистоту воздуха в зоне дыхания сварщика. Сквозное проветривание может быть обеспечено организованной подачей в емкость притока и вытяжкой из него воздуха. Вытяжка создает в объеме более равномерный поток, чем приток, и позволяет удаляемый загрязненный воздух вывести за пределы производственного помещения. Приток способствует более интенсивному проветриванию, что важно при наличии каких-либо конструктивных элементов внутри объема, создающих застойные зоны, или отверстий по периферии емкости. В ряде случаев целесообразно одновременное использование приточных и вытяжных установок. Установки могут быть оборудованы переносными гибкими шлангами или специальными насадками, смонтированными на передвижных вентиляционных агрегатах.

9.5. ОБЩЕОБМЕННАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И ВОЗДУШНОЕ ОТОПЛЕНИЕ

Назначение систем общеобменной вентиляции сборочно-сварочных цехов состоит в компенсации притоком местной вытяжки и разбавлении неудовленных местными отсосами вредных выделений. Кроме того, приточные системы обычно выполняют и функцию воздушного отопления.

Общеобменные приточно-отопительные системы могут обеспечить средние концентрации аэрозоля и вредных газов в воздухе

производственного помещения в допустимых пределах, а также достаточно однородное распределение температур в рабочей зоне. На рабочих местах сварщиков существенное улучшение состава воздушной среды может быть достигнуто лишь для процессов сварки с малой интенсивностью вредных выделений.

Обычно в сборочно-сварочных цехах используется ряд сварочных материалов, имеющих различное содержание тех или иных токсичных компонентов, соединения которых поступают в воздух рабочего помещения. В связи с этим расчет воздухообменов следует вести на разбавление до предельно допустимых концентраций всех основных компонентов сварочных материалов, суммируя далее воздухообмены по каждому компоненту. Учитывая отсутствие в сварочном аэрозоле веществ одноподвального действия в качестве расчетного воздухообмена в соответствии с СН 245—71 [28] следует принимать бóльшую из полученных величин. Гигиенисты предполагают возможность одноподвального действия соединений меди и никеля, для которых воздухообмены следует при сравнении складывать. Удельные расчетные воздухообмены приведены в табл. 9.4.

При выборе рациональной схемы вентиляции производственного помещения необходимо учитывать естественный характер распределения вредных веществ в плане и по высоте помещения. Подробные исследования состояния воздушной среды в сборочно-сварочных цехах большого объема при различных способах вентиляции и в различное время года выявили идентичность характера распределения концентраций аэрозоля. В цехах высотой от 17 до 45 м при выполнении сварочных работ на различных отметках в пределах от пола до половины высоты цеха средняя запыленность воздуха по высоте была практически равномерной. Отклонения частных значений от среднего не носили закономерного характера и не превышали $\pm 10\%$ независимо от способа вентиляции. Наблюдения проводились в цехах, оборудованных механической вентиляцией с сосредоточенной и рассредоточенной раздачей воздуха, при естественной вентиляции через открываемые проемы окон, фонарей и ворот летом и путем инфильтрации через неплотности в ограждениях в холодное время года. Часть постов ручной сварки, в основном в замкнутых пространствах, обслуживали системы местных отсосов. На рис. 9.12 в качестве иллюстрации приведены кривые распределения средних концентраций пыли в цехах при указанных схемах вентиляции.

Следует полагать, что на циркуляцию воздушных потоков в помещении при отсутствии мощных вентиляционных струй существенное влияние оказывают конвективные потоки над сварочными ваннами и нагретыми изделиями, которые создают вертикальные циркуляционные кольца, причем циркуляция интенсифицируется ниспадающими конвективными холодными токами у наружных ограждений. Это подтверждается и характером распределения концентраций аэрозоля в воздухе в плане помещения,

Удельные воздухообмены для расчета общеобменной вентиляции, м³/кг на 1 кг расходных сварочных материалов

Процесс	Сварочные материалы	Удельные воздухообмены на разбавление до ПДК												
		Пыль	Mn	CrO ₃	Cr ₂ O ₃	Ni	SiO ₂	Фториды	Cu	Al	W	Ti	HF	Озон
Ручная сварка штучными электродами низковольтных сталей	УОНИ 13/45	3 500	1 700	—	—	—	700	—	—	—	—	—	2 000	—
	УОНИ 13/55	4 500	3 600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4 600	—
	АНО-3	1 500	2 800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	АНО-6	4 100	6 600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	АНО-7	3 100	4 800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	760	—
	МР-3	2 500	4 400	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3 100	—
Полуавтоматическая сварка стали в углекислом газе	МР-4	2 700	3 700	—	—	—	—	—	—	—	—	—	130	—
	ЭА-606/11	2 900	2 200	39 000	240	—	330	2 100	—	—	—	—	—	—
	ЭА-48М/22	2 500	3 200	78 000	680	—	150	1 400	—	—	—	—	—	—
	СВ08Г2С	2 000	1 300	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	СВ10Х20Н7СТ	2 100	2 400	2 000	360	220	900	—	—	—	—	—	—	—
	СВ08ХГН2МГ	1 600	700	—	30	140	—	—	—	—	—	—	—	—
Полуавтоматическая сварка в аргоне плавящимся электродами	АМГ	—	2 300	—	—	—	—	—	—	7 500	—	—	—	1 000
	Сплавы титана	—	—	—	—	—	—	—	—	500	—	—	—	1 000
	Сплавы меди	—	1 000	—	—	1 400	—	—	11 000	—	—	—	—	—
Ручная сварка вольфрамовым электродом	АМГ	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	800	—	350
	Сплавы титана	—	—	—	—	—	—	—	2 000	—	—	—	—	—
Сварка порошковой проволокой	ЭП-15/2	2 100	3 000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 500	—
	ПП-ДСК-1	2 900	2 600	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	ПП-АН-3	3 400	4 500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5 400	—
Сварка под флюсом	ОСЦ-45	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	400	—
	АН-348А	—	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	200	—

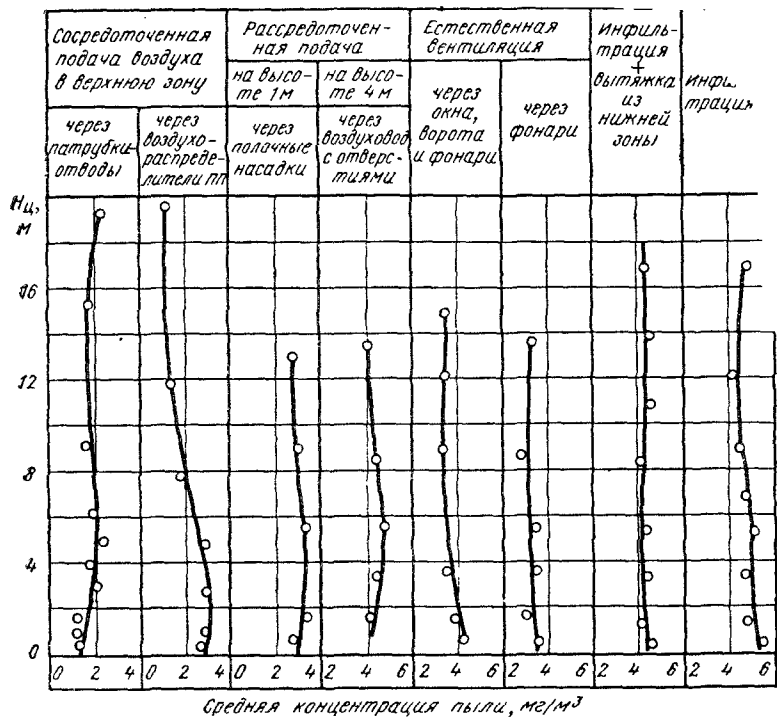


Рис. 9.12. Распределение концентраций сварочного аэрозоля по высоте помещения в цехах, оборудованных механической вентиляцией с сосредоточенной или распределенной подачей воздуха или естественной вентиляцией

где наблюдалась значительно бóльшая неравномерность, отражавшая интенсивность загрузки отдельных участков сварочными работами.

Следовательно, расчет воздухообмена в сборочно-сварочных цехах следует вести на полное количество вредных выделений в помещение за вычетом части, уловленной местными отсосами, не вводя каких-либо коэффициентов уменьшения поступления вредных веществ в рабочую зону.

В цехах, где высота рабочей зоны не превышает 2 м от пола целесообразна подача воздуха струями, направленными в рабочую зону с высоты до 4—6 м. В качестве подающих устройств могут быть рекомендованы воздухораспределители типа НРВ.

При равномерном распределении концентраций по высоте в сборочно-сварочных цехах для изготовления крупногабаритных изделий большой высоты можно использовать сосредоточенную подачу воздуха. Такая раздача, как известно, может обеспечить и достаточно равномерную температуру воздуха по высоте поме-

щения в системах воздушного отопления. Это существенно для цехов, где работы выполняются на различных уровнях по высоте.

Сосредоточенная раздача может осуществляться компактными прямооточными струями через воздухораспределители типа ПП (см. п. 2.3). В этом случае рабочая зона омывается направленным обратным потоком, параметры которого должны отвечать нормируемым метеорологическим условиям. Такой направленный поток может способствовать в некоторых случаях улучшению состояния воздушной среды на рабочих местах сварщиков путем отклонения пылегазового факела от лица сварщика и интенсификации его размыва. Экспериментом установлено, что при сварке в защитных газах сносящий поток при скорости 0,2—0,5 м/с существенно снижает запыленность воздуха в зоне дыхания электросварщика, не нарушая газовую защиту сварочной ванны.

В расчете струйной раздачи воздуха в системах, несущих отопительную нагрузку, необходимо учитывать неизотермичность воздушных струй (см. п. 2.4) и ограничивать избыточную температуру подаваемого воздуха во избежание его всплывания в верхнюю зону. Дополнительно тепло может быть подано воздушно-отопительными агрегатами, оборудованными направляющими решетками на выходе воздуха.

В тех случаях, когда надо сократить дальнобойность приточных струй или при внедрении струи в рабочую зону, может быть целесообразным применение воздухораспределителей, создающих неполные веерные струи и снабженных регулирующими решетками.

Места расположения заборных отверстий системы общеобменной вытяжной вентиляции обычно располагают в фонарях или перекрытиях, что конструктивно удобно для размещения крышных и осевых вентиляторов. Зона действия вытяжных отверстий, как указано выше, не должна захватывать приточные воздушные струи, что может привести к снижению эффективности использования приточного воздуха.

В производственных помещениях, в которых производится сварка цветных металлов в инертных газах, а также на участках сварки изделий или раскроя металла, оборудованных местными вытяжными устройствами, рекомендуется рассредоточенная подача воздуха через воздухораспределители типа ВП или ВПП. Особенно существенно обеспечить проветривание помещения при строго ограниченной подвижности воздуха (не более 0,3 м/с) в цехах сварки в инертных газах.

Для теплого периода года, особенно в южных районах страны, необходимо производить проверочный расчет воздухообмена на борьбу с теплом, основная часть которого поступает за счет солнечной радиации. Этот воздухообмен обычно выше той его величины, которая получена по расчету на разбавление вредных вы-

делений. В таких случаях целесообразно, не увеличивая производительности систем механической вентиляции, дополнительный воздухообмен обеспечить путем естественного проветривания. Наблюдения в действующих цехах показали, что несмотря на то, что сборочно-сварочные цехи являются помещениями с весьма незначительными тепловыделениями, большие открываемые проемы оконного остекления, ворот и фрамуг фонарей позволяют создать достаточный воздухообмен (в сотни тысяч кубических метров за час) и обеспечить надежное проветривание цеха относительно небольшой ширины (два-три пролета).

Следует заметить, что суточная запись температуры воздуха в одном из таких цехов при одновременной регистрации температуры наружного воздуха показала существенное влияние теплоаккумулирующей способности заполнения цеха и его ограждений: максимальная температура в цехе была близка к максимальной наружной температуре со сдвигом во времени примерно на 2 ч. В вечернее время температура в цехе была выше наружной, а в первой половине дня нарастание наружной температуры обгоняло рост температуры воздуха в цехе.

В холодное время года на метеорологические условия в цехе существенное влияние оказывает поступление холодного воздуха, проникающего не только через открываемые проемы, но и через неплотности в притворах ворот. Холодный воздух настигается на пол и охлаждает нижнюю часть помещения на расстоянии до 2—3 калибров ворот. Поэтому устраиваемые у автомобильных и железнодорожных ворот воздушные завесы целесообразно использовать и как отопительные агрегаты, предусмотрев автоматизацию их отключения по температуре воздуха на рабочих местах вблизи ворот, что позволит локализовать холодные потоки воздуха, проникающие через неплотности в притворах.

Что касается имеющихся в сборочно-сварочных цехах больших ворот, предназначенных для вывоза крупногабаритных изделий и открываемых редко, то для них в соответствии со СНиП [29] воздушно-тепловые завесы предусматривать не следует, так как они экономически нецелесообразны и технически нереализуемы. На период открывания ворот допускается снижение температуры воздуха в цехе с последующим ее восстановлением в течение заданного периода времени, для чего предусматриваются дополнительно отопительные агрегаты. Локализацию холодных потоков, проникающих через щели в притворах, обеспечивает специальная воздушно-струйная защита [36]. Подача нагретого воздуха осуществляется по типу воздушных завес, желательно нижних, чем достигается отклонение от пола холодных воздушных потоков и их нагрев за счет интенсивного перемешивания с подаваемым теплым воздухом. Возможна подача воздуха направленными вниз вдоль ворот мощными струями от специальных агрегатов. Однако этот способ менее эффективен.

9.6. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ СБОРОЧНО-СВАРОЧНОГО ЦЕХА

Сборочно-сварочный цех располагается в трехпролетном здании длиной 175 м, шириной 81 м и высотой 20 м. Строительный объем здания около 280 000 м³.

В цехе производится сборка и сварка крупногабаритных изделий, имеется участок подготовки и раскроя листов.

Подготовка металла осуществляется на поточной линии, оборудованной камерами: нагрева, дробеметной, грунтовки и сушки листов. Отсос из камер принимается в соответствии с существующими нормативами.

Раскрой листов производится на пяти газорезательных столах, оборудованных секционными местными отсосами, по рис. 9.2 с автоматическим переключением клапанов. Десять газорезчиков работают на нестационарных местах при сборке изделий.

Ручная сварка штучными электродами и полуавтоматическая сварка в СО₂ выполняется на столах, стационарных стендах и непосредственно на крупногабаритных изделиях. Количество работающих, условия выполнения работ, расход сварочных материалов, удельные и расчетные воздухообмены приведены в табл. 9.5. Типы местных вытяжных устройств и объемы удаляемого ими воздуха приняты в соответствии с табл. 9.3, удельные воздухообмены для расчета общеобменной вентиляции—по табл. 9.4.

Производительность вентиляционных систем составила: высоковакуумных местных вытяжных систем $8400 \cdot 1,15 = 9700$ м³/ч; местных вытяжных систем низкого давления 136 000 м³/ч; систем общеобменной вытяжной вентиляции $496\,000 - 146\,000 = 350\,000$ м³/ч; систем приточной вентиляции 496 000 м³/ч.

Приток воздуха подается системами механической вентиляции, которые несут также и отопительную нагрузку. На участках сборки крупногабаритных изделий принимаем сосредоточенную подачу воздуха в верхнюю зону компактными струями.

Раздача осуществляется в каждом пролете двумя встречными струями, поданными с торцов на высоте $0,7 H_{\text{ц}} = 0,7 \cdot 20 = 14$ м через воздухораспределители типа ПП; $m = 6,6$; $n = 4,5$; $\xi = 1,1$.

Площадь поперечного сечения, обслуживаемая одной струей, $F_{\text{п}} = 27 \cdot 20 = 540$ м²; $\sqrt{F_{\text{п}}} = 23$ м.

Рекомендуемая дальнобойность струи не должна превышать [см. формулу (1.5)] $x_{\text{max}} = 0,7m \sqrt{F_{\text{п}}} = 0,7 \cdot 6,6 \cdot 23 = 106$ м.

Длина обслуживаемого участка $175 : 2 = 87,5$ м находится в рекомендуемых пределах.

Поперечное сечение, в котором скорость в рабочей зоне будет максимальной [см. формулу (1.3)], отстоит от воздуховыпускного отверстия на расстоянии $x_{\text{кр.}} = 0,31m \sqrt{F_{\text{п}}} = 0,31 \cdot 6,6 \cdot 23 = 47$ м.

Через один воздухоораспределитель подается объем воздуха

$$L_0 = \frac{L}{5} = \frac{496\,000 - 88\,500}{5} = 82\,000 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Принимая максимальную подвижность воздуха в рабочей зоне $v_{\text{норм}} = v_{\text{хобр}}$ в соответствии с требованиями технологии и СН 245—71 равной 0,5 м/с, находим размер воздухоораспределителя

$$\sqrt{F_0} = \frac{0,78L_0}{v_{\text{хобр}} \sqrt{F_{\text{п}}}} = \frac{0,78 \cdot 82\,000}{0,5 \cdot 23\,3600} = 1,6 \text{ м}; d_0 = 1,75 \text{ м}.$$

Принимаем к установке воздухоораспределитель типа ПП $d = 1,75 \text{ м}$. Скорость выпуска воздуха

$$v_0 = \frac{82\,000}{3600 \cdot 2,4} = 9,6 \text{ м/с}.$$

Гидродинамическое сопротивление воздухоораспределителя

$$\Delta p = \xi \frac{v_0^2 \gamma}{2g} = 1,1 \frac{9,6^2 \cdot 1,2}{2 \cdot 9,81} = 6,2 \text{ кг/м}^2.$$

Температурный перепад между подаваемым воздухом и воздухом цеха при подаче необходимого для возмещения теплопотерь тепла $Q_{\text{тп}} = 2 \cdot 10^6 \text{ ккал/ч}$ составит

$$\Delta t_0 = \frac{2\,000\,000}{496\,000 \cdot 0,3} = 13^\circ \text{C}.$$

Допустимый температурный перепад для принятых условий выпуска равен

$$\Delta t_{0 \text{ доп}} = \frac{100 v_0^2 d}{n F_{\text{п}}} = \frac{100 \cdot 9,6^2 \cdot 1,75}{4,5 \cdot 540} = 6,7^\circ \text{C} < 13^\circ \text{C}.$$

Следовательно, отопительная нагрузка приточных систем сборочно-сварочных участков может быть принята

$$Q_{\text{пр.от}} = 2\,000\,000 \frac{5}{6} \frac{6,7}{13} = 860\,000 \text{ ккал/ч}.$$

Дополнительно тепло может быть внесено воздушно-отопительными агрегатами:

$$Q_{\text{агр}} = 2\,000\,000 \frac{5}{6} - 860\,000 = 800\,000 \text{ ккал/ч}.$$

Во втором критическом сечении $x_{\text{кр}2}$ избыточная температура на оси струи составит

$$\Delta t_{x \text{ макс}} = \Delta t_0 n \frac{d}{x_{\text{кр}2}} = 6,7 \cdot 4,5 \frac{1,75}{47} = 1,1^\circ \text{C}.$$

На участке подготовки и раскроя листов принимаем подачу воздуха под углом в направлении рабочей зоны неполной веерной струей. Подача осуществляется через воздухоораспределители с диаметром подводящего патрубка 1600 мм струей,

Расчет воздухообмена

Виды работ	Число работающих	Расход сварочных материалов			Удельный воздух			
		Марка	Удельный расход, кг/ч, на одного человека	Расход, кг/ч	Местные отсосы, м³/ч	Общеобменная вентиляция		
						по аэрозолю	по Мп	по CrO_3
Ручная сварка штучными электродами на столах	32	УОНИ 13/15 АНО-6	1,5 1,5	4,5 3,0	1 500	3 500·0,05 4 100·0,05	1 700·0,05 6 600·0,05	—
Ручная сварка на стационарных стендах	10	УОНИ 13/15	1,5	15	2 000	3 500·0,1	1 700·0,1	—
Полуавтоматическая сварка в CO_2 на стационарных стендах	10	СВ08Г2С СВ10Х20НГСТ	2,0 2,0	15 5	2 000	2 000·0,1 2 100·0,1	1 300·0,1 2 400·0,1	— 2000·0,1
Автоматическая сварка под флюсом	10	Флюс ОСЦ-45	3,0	30	150	—	100·0,1	—
Автоматическая сварка в CO_2	15	СВ08Г2С	3,0	45	60	2 000·0,1	1 300·0,1	—
Ручная сварка на стационарных местах с местными отсосами	40	УОНИ 13/15 АНО-6 ЭА-606/11 ЭА-48М/22	1,0	21 10 5 4	150	3 500·0,25 4 100·0,25 2 900·0,25 2 500·0,25	1 700·0,25 6 000·0,25 2 200·0,25 3 200·0,25	— — 39 000·0,25 78 000·0,25

юмен		Местные отсосы, м³/ч	Необходимый воздухообмен					Примечание
м³/кг			Общеобменная вентиляция, м³/ч					
по Cr₂O₃	по соеди- нениям фтора		по аэро- золю	по Мп	по CrO₃	по Cr₂O₃	по соеди- нениям фтора	
—	—	7 500 —	800 600	400 1 000	—	—	—	Сварочные столы ВИСПа; КПД от- соса 0,95
—	—	20 000	5 200	2 500	—	—	—	Поворотноподъем- ные воздухопри- емники ЛИОТ 1
— 360·0,1	—	20 000	3 000 1 000	2 000 1 200	1 000	200	—	КПД отсоса 0,90
—	400·0,1	1 500 *	—	300	—	—	1 200	Приемники на авто- матах: КПД от- соса 0,90
—	—	900 *	9 000	5 900	—	—	—	
— 240·0,25 680·0,25	— 2 100·0,25 1 400·0,25	6 000 *	18 300 10 000 3 600 2 500	8 900 16 500 2 800 3 200	— — 49 000 78 000	— — 300 700	— — 2 600 1 400	Переносные прием- ники с пневмати- ческими присоса- ми, КПД отсоса 0,75

Виды работ	число работающих	Расход сварочных материалов			Удельный воздухо				
		Марка	Удельный расход, кг/ч, на одного человека	Расход, кг/ч	Местные отсосы, м³/ч	Общеобменная вентиляция,			
						по аэрозолю	по Мп	по СгО₂	
Ручная сварка на нестационарных местах без местных отсосов	20	УОНИ 13/15	1,0	20	—	3 500	1 700	—	
Полуавтоматическая сварка в СО₂ на нестационарных местах	70 10	СВ0812С СВ10Х20Н7СТ	2,0 2,0	140 20	—	2 000 2 100	1 300 2 400	— 360	
Газовая резка на столах	5	Сталь 09Г2	—	—	10 000	—	—	—	
Газовая резка на нестационарных местах	10	Сталь 09Г2 δ = 14 мм	—	—	—	5 000	—	—	
Камера нагрева	1	—	—	—	12 000	—	—	—	
Дробетные камеры на 4 аппарата	2				9 500				
Элеватор	1				800				
Сепаратор	1				1 700				
Камера грунтовок	1				3 000				
Камера сушки	1				2 000				
Итого	—	—	—	—	—	—	—	—	
Расчетный воздухообмен	—	—	—	—	—	—	—	—	

* Отсосы обслуживаются высоковакуумной системой.

обмен		Местные отсосы, м³/ч	Необходимый воздухообмен					Примечание
м³/кг			Общеобменная вентиляция, м³/ч					
по Cr₂O₃	по соеди- нениям фтора		по аэро- золю	по Mn	по CrO₃	по Cr₂O₃	по соеди- нениям фтора	
—	—	—	70 000	34 000	—	—	—	Сварщики работают в противопылевых респираторах
—	—	—	280 000 42 000	182 000 48 000	— 40 000	— 7 200	—	
—	—	50 000	—	—	—	—	—	Пятисекционные столы длиной 6 м, шириной 2 м
—	—	—	5 000	—	—	—	—	Газорезчики рабо- тают в респирато- рах
—	—	12 000 19 000 800 1 700 3 000 2 000	—	—	—	—	—	—
—	—	136 000 8 400 *	496 000	308 700	168 000	8 400	5 200	
—	—	136 000 8 400 *	496 000	—	—	—	—	Кратность воздухо- обмена $\frac{496\,000}{280\,000} = 1,8$

направленной вдоль пролета. Длина помещения, обслуживаемого воздухораспределителем, $L = 87,5$ м, ширина 22 м.

Расход воздуха через воздухораспределитель $L_0 = 88\,500$ м³/ч.

Скорость воздуха на истечении

$$v_0 = \frac{88\,500}{2 \cdot 3600} = 12,3 \text{ м/с.}$$

Расчет ведется с учетом рекомендаций, изложенных в п. 2.4.

Определяем расстояние до места внедрения струи в рабочую зону x' :

$$x' = \frac{v_0}{v_x} m \sqrt{F_0} = \frac{12,3}{1} 1,9 \cdot 1,41 = 33 \text{ м.}$$

Отношение $\frac{x'}{B} = \frac{33}{27} = 1,2$ лежит в установленных пределах.

Определяем минимальную высоту установки воздухораспределителя

$$h_y = h_{pz} + 0,12x' = 2 + 0,12 \cdot 33 = 6,0 \text{ м.}$$

Находим горизонтальное расстояние от воздухораспределителя до места внедрения струи

$$x = \sqrt{x'^2 - (h_y - h_{pz})^2} = \sqrt{33^2 - 3,7^2} = 31 \text{ м.}$$

Допустимые пределы $x = 26 \div 35$ м.

Угол наклона воздухораспределителя к горизонту

$$\beta = \arcsin \frac{h_y - h_{pz}}{x'} = \arcsin \frac{3,7}{33} \approx 6^\circ.$$

Потери давления в воздухораспределителе

$$\Delta p = 1,6 \frac{12,3 \cdot 1,2}{2 \cdot 9,81} = 9,3 \text{ кг/м}^2.$$

Определяем допустимый перегрев приточного воздуха (при $Ar_x \leq 0,4$)

$$\Delta t_0 = \frac{13,4 v_0^2 \sqrt{F_0} m^2}{(0,7 x')^2 n} = \frac{13,4 \cdot 12,3^2 \cdot 1,41 \cdot 1,9^2}{23^2 \cdot 1,7} = 12^\circ \text{С.}$$

Следовательно, отопление участка может осуществляться за счет перегрева приточного воздуха.

Избыточная температура в месте внедрения струи составит

$$\Delta t_x = \Delta t_0 n \frac{\sqrt{F_0}}{x'} = 13 \cdot 1,7 \frac{1,41}{33} \approx 1^\circ \text{С.}$$

Удаление воздуха общеобменной вентиляцией осуществляется крышными вентиляторами из верхней зоны.

Для локализации холодных потоков воздуха через открываемые проемы предусматриваются воздушно-тепловые завесы у автомобильных и железнодорожных ворот [42].

У больших ворот для вывоза крупногабаритных изделий предусматривается воздушно-тепловая защита [10, 36].

ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОТОПЛЕНИЕ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

10.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ВЫДЕЛЯЮЩИЕСЯ ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Для защиты металлических изделий от коррозии применяют различные способы нанесения на поверхность металла тонкого слоя другого, более стойкого к коррозии металла.

Наибольшее распространение в машиностроительной промышленности получил электролитический способ покрытия (цинком, кадмием, медью, никелем, хромом). На ряде заводов используют электролитическое осаждение меди, цинка, кадмия, серебра и золота в цианистых ваннах.

Наряду с электролитическим покрытием находит применение также химический способ нанесения покрытий: воронение, фосфатирование, химическое оксидирование.

Перед нанесением защитных антикоррозионных покрытий изделия подвергают травлению и обезжириванию. При травлении используют, как правило, растворы серной, соляной и азотной кислот. Обезжиривание производят электролитическое и химическое. Для предварительной очистки изделий применяют обезжиривание бензином.

Все эти операции сопровождаются выделением в воздух помещения различных вредных веществ. Особой токсичностью отличаются растворы цианистых солей, хромовой кислоты, азотной кислоты и др.

В гальванические цехи наряду с отделениями травления и гальванопокрытий входят, как правило, участки хранения химикатов и приготовления растворов, а также машинное отделение и отделение полировки.

В последние годы гальванические цехи проектируются и строятся двухъярусными с размещением в нижнем этаже отделений приготовления растворов, машинных отделений, полировальных участков и других помещений. Имеются решения гальванических цехов с размещением в трехэтажных зданиях (см. п. 10.4).

В машинном отделении доминирующими вредными выделениями являются избытки тепла, а в полировальном отделении пыль, образующаяся при истирании кругов и обрабатываемого изделия.

Основные группы ванн, для которых необходимо устройство местных отсосов

Назначение ванн	Температура, °С	Выделяющиеся вредные вещества	Группы ванн
Окислирование стали щелочное (воронение)	138—140	Щелочь	I
Хромирование	45—50	Хромовый ангидрид	I
Декапирование анодное в хромовой кислоте	45—50	То же	I
Электропировка меди и ее сплавов	20—40	»	I
Обезжиривание электролитическое анодное и катодное	80—90	Щелочь	II
Окислирование алюминия и его сплавов	35—38	Хромовый ангидрид	II
Травление меди, алюминия и их сплавов	18—60	Окислы азота, щелочь	II
Никелирование химическое	90—95	Аэрозоль никелевого раствора	II
Анодное снятие сплава	70—80	Щелочь	II
Промасливание	120—150	Пары масла	II
Лужение щелочное	65—75	Щелочь	III
Меднение цианистое	55—65	Цианистый водород	III
Обезжиривание химическое	50—60	Щелочь	III
Обработка в растворе хром-пика	95—98	Хромовый ангидрид	III
Травление в концентрированной соляной кислоте	18—25	Хлористый водород	III
Травление химическое	18—25	Фтористый водород	III
Цинкование цианистое	18—25	Цианистый водород	III
Железные хлористое	90—100	Хлористый водород	III
Обезжиривание анодное и катодное	50—60	Цианистый водород, щелочь	III
Окислирование (черное) листов из магниевых сплавов	85—90	Хромовый ангидрид	III
Травление катодное	50—70	Серная кислота	III
Меднение цианистое	18—25	Цианистый водород	IV
Обезжиривание электролитическое	50—60	Щелочь	IV
Травление черных металлов	60—70	Серная кислота	IV
Совместное обезжиривание и травление	50—60	Серная кислота	IV
Цинкование малоцианистое	18—25	Цианистый водород	IV
Лужение кислое	15—30	Серная кислота	V
Обезжиривание химическое	50—70	Щелочь	V
Промывка в горячей воде	70—80	Пары воды	V
Фосфатирование	94—98	Фтористый водород	V
Нейтрализация	80—90	Щелочь	V
Снятие никелевого покрытия	18—25	Окислы азота	V
Травление черных металлов	18—25	Серная кислота	V

Вредные вещества, выделяющиеся от наиболее распространенных ванн гальванопокрытий и травления, нуждающихся в устройстве местных отсосов, приведены в табл. 10.1. Предельно допустимые концентрации этих веществ в воздухе производственных помещений приведены в Санитарных нормах СН 245—71.

Улучшение санитарно-гигиенического состояния воздушной среды в цехах гальванопокрытий наиболее эффективно достигается при комплексном использовании как вентиляционных, так и технологических мероприятий, направленных на снижение вредных выделений в воздух производственных помещений.

Из технологических мероприятий, направленных на ликвидацию или резкое сокращение вредных выделений, необходимо отметить следующие: замена органических растворителей и горячих щелочных растворов при обезжиривании и межоперационной промывке деталей безвредными моющими растворами на основе эмульгаторов; замена цианистых процессов меднения, цинкования, кадмирования и других бесцианистыми процессами; укрытие зеркала испарения токсичных растворов поплавками, пеной, крышками и пр.

По данным института «Проектпромвентиляция», пластмассовые шарики, покрывающие в один слой зеркало ванны, позволяют уменьшить объем удаляемого через бортовые отсосы воздуха не менее чем на 25 %. Еще больший эффект получается при использовании пенообразователей. В этом случае объем удаляемого воздуха может быть уменьшен на 50 %. В качестве пенообразователя для травильных ванн, например, рекомендуется дробленый мыльный корень, содержащий сапонин.

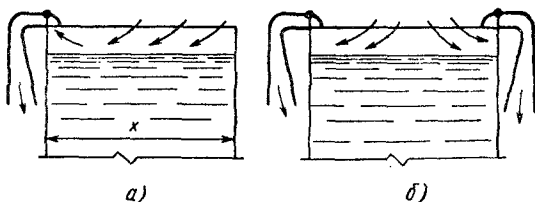
10.2. МЕСТНАЯ ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И ОЧИСТКА ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

Высокая токсичность выделяющихся вредных веществ вызывает необходимость устройства местной вытяжкой вентиляции от большинства ванн травления и гальванопокрытий.

Наиболее широкое применение в современных цехах находят местные вытяжные устройства типа бортовых отсосов. Применяются односторонние и двусторонние отсосы (рис. 10.1) обычного типа (с вертикальной плоскостью всасывания) и опрокинутые (с горизонтальной плоскостью всасывания).

Рис. 10.1. Бортовые отсосы опрокинутые:

а — односторонней;
б — двусторонней



Объемы воздуха, удаляемого от ванн бортовыми отсосами, зависят от вида отсоса (однобортовой, двубортовой, обычный, опрокинутый), температуры раствора, расстояния от верхней кромки ванны до зеркала раствора, от допускаемой высоты слоя загрязненного воздуха над бортом ванны при действии отсоса.

Высоту слоя загрязненного воздуха над бортом ванны следует поддерживать такой, чтобы вредные выделения не попадали в органы дыхания рабочих, обслуживающих ванны. Допускаемая высота слоя зависит от токсичности применяемых растворов; чем токсичнее выделяемое из ванн вещество, тем меньше должна быть высота слоя, а значит, нужно извлекать больший объем воздуха. Рекомендуется следующая высота слоя загрязненного воздуха: для ванн хромирования 40—50 мм; для ванн меднения, лужения, кадмирования 80—100 мм; для ванн обезжиривания, фосфатирования 160—200 мм.

Проведенные исследования показали, что при таких значениях высоты слоя загрязненного воздуха подвижность воздуха в помещении в пределах 0,3—0,4 м/с не оказывает влияния на работу бортовых отсосов.

Объем воздуха (м³/ч), удаляемого через бортовые отсосы, следует определять по формуле

$$L = L_{0,4} (6,4B - 1,55) l k_h k_y, \quad (10.1)$$

где $L_{0,4}$ — удельный объем воздуха на 1 м длины ванны шириной 0,4 м при расстоянии от верхней кромки ванны до уровня раствора $h = 120$ мм, определяемый по табл. 10.2, м³/ч; B — ширина ванны, м; l — длина ванны, м; k_h — коэффициент, учитывающий расстояние от верхней кромки ванны до уровня раствора, определяемый по табл. 10.3; k_y — коэффициент, учитывающий уменьшение объема удаляемого воздуха при покрытии зеркала ванны: поплавками $k_y = 0,75$, пеной $k_y = 0,5$.

Таблица 10.2

Удельный объем воздуха (м³/ч на 1 м длины ванны шириной 0,4 м) при расстоянии уровня электролита от верхней кромки ванны $h = 120$ мм

Группы ванн	Двусторонние бортовые отсосы		Односторонние бортовые отсосы	
	обычные	опрокинутые	обычные	опрокинутые
I	1500	1350	2100	1900
II	1000	900	1400	1200
III	750	650	1050	900
IV	500	450	700	650
V	250	230	350	300
VI	Не требуется местный отсос			

Поправочный коэффициент, учитывающий расстояние от верхней кромки ванны до уровня раствора

Вид бортового отсоса	Значение коэффициента k_h при глубине уровня раствора в ванне h , мм					
	120	160	200	250	300	350
Обычный однобортовой отсос независимо от ширины ванны	1,00	0,94	0,86	—	—	—
Обычный двубортовой отсос при ширине ванны, мм:						
600	1,00	1,36	1,93	—	—	—
750	1,00	1,21	1,60	—	—	—
1000	1,00	1,20	1,48	2,0	—	—
1250	1,00	1,14	1,37	1,73	2,28	—
1500	1,00	1,11	1,30	1,48	1,76	2,22

На современных машиностроительных заводах весьма широкое применение в гальванических цехах находят автоматические линии. При устройстве бортовых отсосов от ванн гальваноавтоматов и автоматических линий объем удаляемого воздуха, определяемый по формуле (10.1), следует уменьшать на 20%.

В последнее время институтом «Проектпромвентилиация» (инженеры А. А. Карпас, Ф. Б. Резник) предложены активированные бортовые отсосы.

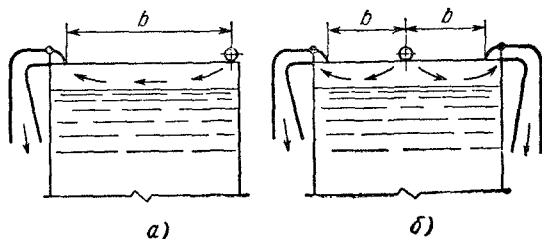
Активированный однобортовой отсос (рис. 10.2, а) состоит из секции одностороннего отсоса, расположенного на одном борту ванны, и трубы для подачи воздуха, установленной на противоположном борту.

Активированный двубортовой отсос (рис. 10.2, б) состоит из двух секций отсосов и трубы, расположенной вдоль продольной оси ванны.

Для ванны химических процессов трубу рекомендуется изготовлять из полиэтилена либо из углеродистой стали. В электролитических ваннах роль трубы для подачи воздуха выполняет полая токоподводящая штанга из меди или латуни.

Рис. 10.2. Активированные бортовые отсосы:

а — однобортовой; б — двубортовой



Воздух в трубу (полую штангу) поступает либо от специальной вентиляционной установки, либо от сети сжатого воздуха. Выпуск сдувающей струи осуществляется под углом $\sim 35^\circ$ к плоскости зеркала испарения раствора в одну или в две стороны.

Принцип действия, а также расчетные объемы подаваемого и удаляемого воздуха активированного отсоса и ранее рекомендованных для гальванических ванн передувов [6] различны.

В передувке сдувающая струя предназначена для транспортирования вредных веществ до плоскости всасывающего отверстия. Объем подаваемой струи и активированном отсосе составляет приблизительно 15—20% объема удаляемого воздуха.

В активированном отсосе назначение струи — сдуть вредности в направлении отсоса (приблизительно на половину расчетной ширины ванны) и тем самым существенно уменьшить зону действия отсоса и количество отсасываемого от него воздуха.

При использовании активированного отсоса объем удаляемого воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) следует определять по формулам:

$$\text{для однобортового отсоса } L_{\text{отс}} = 1800b^2lk; \quad (10.2)$$

$$\text{для двубортового отсоса } L_{\text{отс}} = 3600b^2lk, \quad (10.3)$$

где b — расстояние от оси трубы (полый штанги) до козырька бортового отсоса (см. рис. 10.2), м; k — коэффициент, зависящий от температуры раствора (принимается по табл. 10.4).

Объем воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) на сдувающую струю определяют по формулам:

$$\text{для однобортового отсоса} \quad L_{\text{сд}} = 50bl; \quad (10.4)$$

$$\text{для двубортового отсоса} \quad L_{\text{сд}} = 100bl. \quad (10.5)$$

Проведя расчеты по формулам (10.1) и (10.2), нетрудно убедиться, что применение активированных отсосов позволяет существенно (иногда в 2—3 раза и более) уменьшить объемы удаляемого воздуха по сравнению с неактивированными отсосами.

Выбор варианта исполнения отсоса определяется местными условиями гальванического цеха и технико-экономическими расчетами. Ванны кареточных автоматических линий при ширине

Таблица 10.4

Поправочный коэффициент, зависящий от температуры раствора, $^\circ\text{C}$

Температура раствора в ванне, $^\circ\text{C}$	95—70	60	40	20
Коэффициент k	1,0	0,85	0,75	0,5

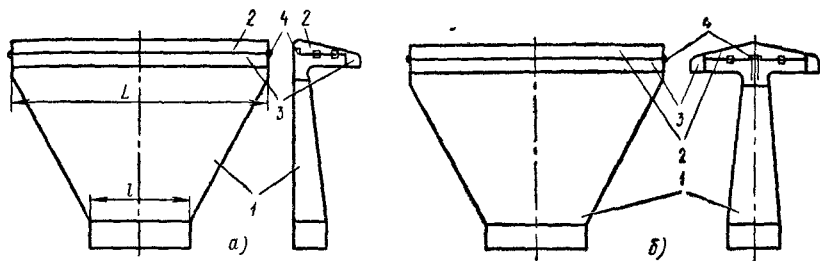


Рис. 10.3. Секции одностороннего (а) и двустороннего (б) бортового отсоса

$b \geq 0,6$ м, не имеющие специальных укрытий, рекомендуется оснащать только активированными отсосами.

В зависимости от условий компоновки предусмотрено два исполнения секций отсосов: односторонний (рис. 10.3, а) и двусторонний (рис. 10.3, б). Отсос состоит из корпуса 1, съемной крышки 2, козырька 3 и клапана 4.

Размеры секций бортовых отсосов приведены в табл. 10.5.

Коэффициент местного сопротивления секции отсоса, отнесенный к скорости в поджатом сечении ($0,05 \times l$, м), при открытом положении клапана $\xi = 3$. Коэффициент местного сопротивления перфорированной трубы с одним или двумя рядами отверстий

$$\xi = 4 \left(\frac{\sum f_{отв}}{F_{тр}} \approx 0,7 \right).$$

Материал секций отсосов: углеродистая сталь для ванн с неагрессивными растворами (щелочными, цианистыми и т. п.) или полипропилен для ванн с растворами агрессивных кислот и солей. Для изготовления бортовых отсосов и воздухопроводов может использоваться винипласт, который рекомендуется применять при температуре среды до $70-80^\circ \text{C}$.

Столы, на которых обезжиривают крупные детали органическими растворителями, рекомендуется оборудовать по всей их длине односторонними бортовыми отсосами со стороны, противо-

Таблица 10.5

Основные размеры секции бортового отсоса, мм

Длина щели бортового отсоса	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
Длина присоединительного патрубка	240	240	240	320	320	400	400	500	500

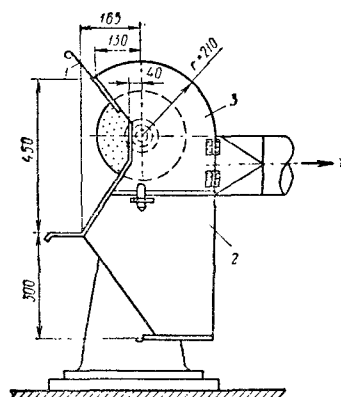


Рис. 10.4. Схема кожуха для полировального круга:

1 — козырек; 2 — ящик для сбора крупной пыли; 3 — откидная стенка

положной рабочему месту. Для повышения эффективности отсосы целесообразно снабжать вертикальными щитками (см. п. 4.1) высотой не менее 0,5 В.

Объем удаляемого через отсосы воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) определяют по формуле

$$L = 2000B^2l, \quad (10.6)$$

где B и l — ширина и длина стола, м.

Столы для обезжиривания мелких деталей, а также места приготовления растворов, взвешивания цинкистых солей следует оборудовать вытяжными шкафами, обеспечивая скорость входа воздуха в рабочий проем 0,8—1,0 м/с.

После нанесения защитных покрытий изделия полируют на матерчатых и войлочных кругах с абразивной обмазкой. Полировка изделий осуществляется при больших окружных скоростях, достигающих 50 м/с, и сопровождается выделением значительного количества пыли. Для улавливания пыли в полировальных отделениях следует предусматривать местную вытяжную вентиляцию с удалением воздуха от кожухов полировальных кругов. Объем воздуха, удаляемого от кругов, рекомендуется определять из условия создания следующих скоростей в открытом сечении кожуха: для войлочных кругов — 3 м/с, но не более 4 $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 мм диаметра круга; для матерчатых кругов — 4 м/с, но не более 6 $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 мм диаметра круга.

На рис. 10.4 схематически показан один из возможных вариантов оформления кожуха полировального круга.

Кожух имеет козырек, препятствующий выбиванию пыли, увлекаемой кругом при вращении, ящик для сбора крупной пыли и откидную стенку, позволяющую сменять круги.

Для очистки воздуха, удаляемого от полировальных кругов, рекомендуется применять сетчатые фильтры.

В отделениях приготовления растворов предусматривается местная вытяжная вентиляция в виде бытовых отсосов и общеобменная вытяжка из верхней зоны в объеме не менее однократного. В машинном отделении проектируется общеобменная вентиляция, рассчитанная на поглощение теплоизбытков с удалением воздуха из верхней зоны.

Как показывают проведенные одним из харьковских институтов исследования, концентрации вредных веществ (HCl , H_2SO_4 , CN , Cr_2O_3 , NO_2 , NaOH и др.) в $\text{мг}/\text{м}^3$ в удаляемом от гальва-

нических ванн воздухе колеблются иногда в довольно значительных пределах.

Анализ дисперсного состава аэрозолей в выбрасываемом воздухе, проведенный с помощью многокаскадного импактора конструкции НИИОГАЗ, показал, что этот состав находится в следующих пределах (в мкм): при травлении 5—6,5, при обезжиривании 5—5,5, при хромировании 8—10, при цианистом цинковании 5—8.

Наиболее часто возникает необходимость в очистке воздуха, удаляемого от травильных ванн, ванн хромирования, а также цианистых ванн.

Для очистки воздуха применяют мокрые пылеуловители различных типов: обычные полочные с орошаемым слоем, пенные ПГС-ЛТИ со стабилизатором пенного слоя. Могут быть рекомендованы к применению мокрые щелевые пылеуловители ПВМ «ЦНИИПромзданий» [25].

По данным того же харьковского института, эффективность очистки с помощью мокрого щелевого пылеуловителя при обезвреживании 2—3%-ным раствором едкой щелочи составляет по хлористому водороду (HCl) 85—92% и по окислам азота (NO_2) 64,6%.

При поглощении водой эффективность очистки по HCl снижается до 75%.

Институтом «Проектпромвентиляция» рекомендуется для очистки воздуха, удаляемого от гальванических ванн, использовать орошаемые фильтры с наполнителем—полипропиленовым войлоком. При воздушной нагрузке $\sim 10\,000\text{ м}^3/\text{г м}^2$ сопротивление этих фильтров проходу воздуха составляет 40—50 $\text{кг}/\text{м}^2$.

10.3. ПРИТОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

В производственных помещениях гальванических цехов основные источники выделения вредных веществ оборудуют местными вытяжными устройствами. В этих условиях главное назначение приточной вентиляции — компенсировать объем удаляемого из помещения воздуха. В связи с токсичностью применяемых в гальванических цехах веществ суммарные объемы удаляемого местными вытяжными устройствами воздуха достаточно велики; кратности воздухообмена в помещениях гальванопокрытий достигают значительных величин (30 и более).

В помещениях, в которых установлены травильные ванны и ванны гальванопокрытий, оборудованные бортовыми отсосами, рекомендуется устройство рассредоточенной раздачи приточного воздуха, обеспечивающей незначительную подвижность воздушных потоков в рабочей зоне (до 0,3 м/с). Для осуществления рассредоточенного выпуска приточного воздуха в верхнюю зону помещений могут быть рекомендованы перфорированные воз-

духоводы круглого и прямоугольного сечений (рис. 10.5), перфорированные потолочные панели, плафоны, щелевые потолки и т. п.

По мере увеличения габаритов цехов и необходимости раздачи больших объемов приточного воздуха появилась потребность в увеличении удельной воздушной нагрузки на 1 пог. м длины воздухораспределителя. В случаях подобных имеющим место в гальванических цехах, когда основное назначение притока — компенсация вытяжки, длина воздухораспределителя равномерной раздачи, прокладываемого вдоль помещения, может не совпадать и быть значительно меньше длины самого помещения. Поэтому в целях экономии металла целесообразна разработка типовых воздухораспределителей повышенной производительности.

Могут быть рекомендованы, например, воздухораспределители ВПК-3 на 12 рядов отверстий и ВПК-3а на 24 ряда отверстий, размещенных по всей поверхности круглого воздуховода. Площадь отверстия $0,0009 \text{ м}^2$.

При скорости воздухораспределителя $v_a = 12 \text{ м/с}$ и начальном диаметре $d_{\text{нач}} = 1200 \text{ мм}$ производительность воздухораспределителя $48500 \text{ м}^3/\text{ч}$, удельные воздушные нагрузки для ВПК-3 № 16 $L_{\text{уд}} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и для ВПК-3а № 8 $L_{\text{уд}} = 6000 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}$.

Круглые перфорированные воздухораспределители ВПК-4 и ВПК-4а имеют производительность $86400 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при $v_a = 12 \text{ м/с}$ и $d_{\text{нач}} = 1600 \text{ мм}$).

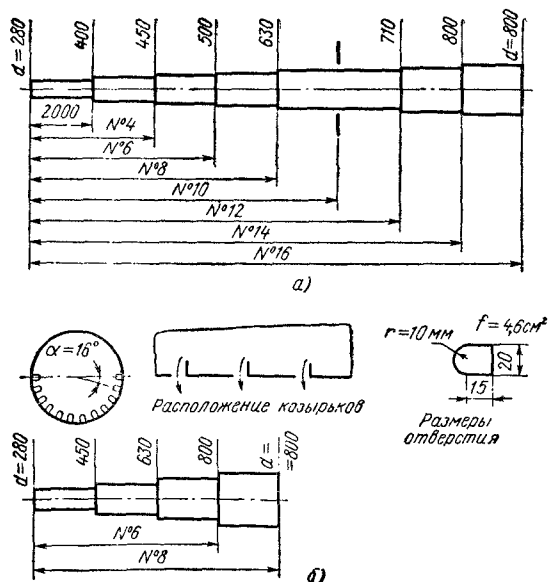


Рис. 10.5. Воздухораспределители перфорированные круглые:

а — типа ВПК-2; б — типа ВПК-2а

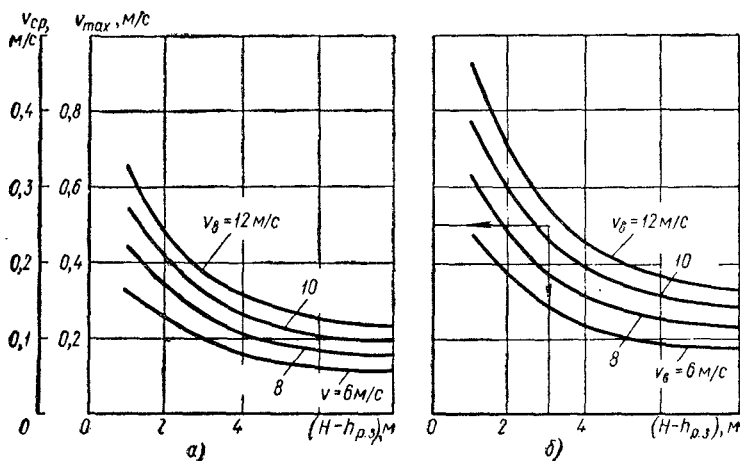


Рис. 10.6. Средние и максимальные скорости в потоке:

а — при выпуске воздуха через воздухораспределитель ВПК-1 (6 рядов отверстий);
б — то же через воздухораспределитель ВПК-2 (12 рядов отверстий)

Шаг между отверстиями и их размещение в этих воздухо-распределителях такие же, как и в воздухораспределителях ВПК-2 и ВПК-3, но размер каждого отверстия больше и равен $0,0018 \text{ м}^2$. Удельные воздушные нагрузки на 1 пог. м длины для ВПК-4 № 16 $L_{уд} = 5400 \text{ м}^3/\text{ч}$ и для ВПК-4а № 8 $L_{уд} = 10\,800 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}$.

Скорость в потоках при раздаче через перфорированные воздуховоды определяется по рис. 10.6.

10.4. ПРИМЕР СОВРЕМЕННЫХ РЕШЕНИЙ ВЕНТИЛЯЦИИ И ОТОПЛЕНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ЦЕХОВ

Для современного гальванического производства характерна большая насыщенность инженерными коммуникациями воды, пара, растворов и др. Вентиляционное оборудование и сети воздуховодов занимают относительно большие площади и требуют частого осмотра, ремонта и чистки (особенно вытяжные системы). В последние годы гальванические цехи проектируются и строятся, как правило, двухэтажными с размещением в нижнем этаже сборных вытяжных воздуховодов, фильтров и другого вентиляционного оборудования. Имеются решения гальванических цехов с размещением в трехэтажных зданиях (рис. 10.7). Ознакомимся с одним из примеров такого решения (авторы проекта инж. Р. П. Цветкова, А. И. Ветехина).

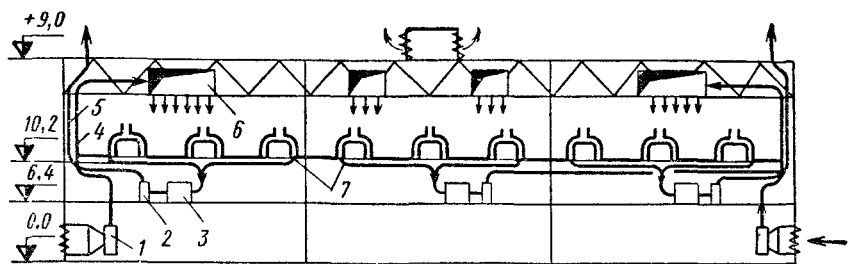


Рис. 10.7. Разрез гальванического цеха, размещаемого в трехэтажном здании:

1 — приточные вентиляторы; 2 — вытяжные вентиляторы; 3 — фильтры для очистки выбрасываемого воздуха; 4 — приточные шахты; 5 — вытяжные шахты; 6 — воздухо-раздающие каналы; 7 — гальванические ванны

Гальванический цех размещается в отдельно стоящем трехэтажном здании, имеющем три пролета, шириной по 24 м каждый (рис. 10.7). Размеры здания в плане 120×72 м, высота до низа ферм 16,4 м. Собственно гальванический зал с повышенными требованиями к интерьеру расположен на третьем этаже (отметка $+ + 10,2$ м). В зале размещаются автоматы хромирования, фосфатирования, цианистого цинкования, кадмирования, меднения, автоматические линии анодирования, снятия цинка, серебрения, меднения, никелирования, пропитки деталей лаком и др. Ванны оборудованы бортовыми отсосами. Объемы удаляемого через бортовые отсосы воздуха определялись по формуле (10.1) с введенным коэффициентом 0,8, учитывающего уменьшение объема вытяжки от ванн гальваноавтоматов и автоматических линий.

Местная вытяжная вентиляция от ванн с цианистыми соединениями, так же как и ванн с хромовыми соединениями, выделена в самостоятельные системы. Воздух, удаляемый от ванн хромирования, подвергается очистке в полочных фильтрах, орошаемых 2%-ным раствором кальцинированной соды.

Суммарный объем удаляемого от ванн воздуха составляет $1\,200\,000$ м³/ч воздуха, что создаст в помещении кратность воздухообмена $k_p \approx 22$. Для проветривания верхней зоны гальванического зала предусмотрены фонари.

Во втором этаже здания размещаются все вытяжные воздуховоды, вытяжные вентиляционные центры, фильтры для очистки загрязненного воздуха, а также трубопроводы отопления, теплоснабжения и другие промышленные коммуникации.

Магистральные вытяжные воздуховоды выполняются из винилпласта в виде сборных коллекторов, рассчитанных на скорость $v_b = 5$ м/с, с запасными, герметично закрытыми патрубками, что позволяет при необходимости в случае перестановки оборудования менять места присоединения бортовых отсосов к коллектору.

Воздух от вытяжных вентиляторов поступает в вытяжные шахты, прокладываемые в декоративно защитном пространстве вдоль наружных стен. Выброс воздуха—факельный.

В первом этаже располагаются приточные камеры, мотор—генераторные и другие вспомогательные производственные помещения. Воздуховоды от приточных камер поднимаются в межферменное пространство в подшивном пространстве вдоль наружных стен.

Выпуск приточного воздуха в гальванический зал осуществляется через восемь каналов постоянного статического давления с нижней воздухораздающей перфорированной поверхностью ($k_{ж.с} \approx 0,1$): четыре канала длиной 60 м, шириной 6 м, высотой 2,4 м и четыре канала длиной 60 м, шириной 3 м и высотой 2,4 м. Скорость в начальном сечении каналов $v_в = 4$ м/с, средняя скорость выхода воздуха из отверстий перфорированных панелей $v_{отв} = 1,5$ м/с.

При выпуске воздуха через панели шириной 3 и 6 м верхний уровень рабочей зоны, отстоящей от плоскости выпуска на расстоянии $x \approx 4$ м, будет находиться в зоне начального участка струи, максимальная скорость на котором сохраняется равной скорости в конце участка формирования [15]:

$$v_x = v_0 \sqrt{k_{ж.с}} \sqrt{i} = 1,5 \sqrt{0,1} \cdot \sqrt{0,5} \approx 0,3 \text{ м/с.}$$

Отопление гальванического зала воздушное, совмещенное с приточной вентиляцией. Дежурное отопление осуществляется при помощи отопительных агрегатов АПВ-200-140, устанавливаемых на колоннах по периметру зала.

Опыт эксплуатации этого гальванического цеха и других цехов, осуществленной по аналогичной схеме, показывает, что в помещениях гальванических залов удается обеспечить состояние воздушной среды, отвечающее требованиям санитарных норм; подвижность воздуха в помещениях не превышает 0,3 м/с.

ВЕНТИЛЯЦИЯ
ЦЕХОВ ОКРАСКИ11.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС,
ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ
САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

На машиностроительных заводах малярные работы производят в цехах окраски и в цехах сборки машин.

Тенденцией развития современной технологии является механизация нанесения лакокрасочного материала и удаление рабочего от окрашиваемых поверхностей. При этом по сравнению с кистевой окраской значительно повышается производительность труда и расход материалов, а следовательно, выделения летучих компонентов в воздух. Разрабатываются новые методы нанесения более вязких красок, содержащих в меньшем количестве растворители или совсем не имеющих их, что приводит к улучшению условий труда.

Наибольшее распространение в настоящее время в машиностроении получила окраска пневматическим распылением. Метод заключается в раздроблении лакокрасочного материала сжатым воздухом и нанесении его на окрашиваемые поверхности в виде тонкой дисперсной массы. При этом краски образуют облако тумана, которое загрязняет воздух рабочей зоны.

В установках безвоздушного распыления лакокрасочный материал подают к соплу под давлением 40—60 атм; в ряде аппаратов, кроме того, производят нагрев материала до 50—80° С. Это дает возможность применять более вязкие материалы, а следовательно, содержащие меньшее количество растворителя, чем при пневматическом распылении.

При работе с аппаратом «Факел» в воздух помещения могут выделяться 8—18% летучих и 1—7% аэрозоля.

Окраска в электростатическом поле высокого напряжения основана на создании поля путем подачи отрицательного заряда на распыляемый лакокрасочный материал и положительного заряда на окрашиваемое изделие. При нанесении лакокрасочного материала потери его не превышают 5—10%.

Метод окраски окутанием и струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителя используется для нанесения грунтовочных и однослойных покрытий на изделия простой и средней сложности мелких и средних габаритов. Недостаток указан-

ных методов заключается в больших потерях растворителя, приводящих к значительному загрязнению атмосферного воздуха.

Нанесение порошковых полимеров с последующей термообработкой изделий дает возможность получать покрытия любой толщины и хорошего качества. Этот способ также позволяет улучшить условия труда, так как материал не содержит токсичных и огнеопасных растворителей. В настоящее время эти способы нанесения пленок в машиностроении применяются редко, но в будущем они найдут широкое применение.

Лакокрасочные материалы содержат пленкообразующую основу и растворители. Состав пленкообразователей разнообразен. Ими могут быть природные и конденсационные смолы: канифольные, битумные, глифталевые, полиэфирные, бакелитовые, пентафталевые, эпоксидные и др. Кроме того, пленкообразователи содержат пигменты, в основном окислы металлов — цинка, свинца, железа, титана, алюминия, а также глину, сажу и различные органические вещества. Для окрасочных работ в качестве растворителей в машиностроении наиболее часто применяют ароматические углеводороды: толуол, ксилол, сольвент, спирты (бутиловый и этиловый), эфиры (бутил- и этилацетаты), углеводороды (бензины и уайт-спирит).

Для указанных веществ Санитарными нормами проектирования промышленных предприятий [28] установлены величины предельно допустимых концентраций в воздухе рабочей зоны (ПДК) и в атмосферном воздухе населенных мест и промышленных площадок.

За последние годы наблюдается тенденция снижения величины ПДК. Так, для бутилового и пропилового спиртов эта величина уменьшилась в 20 раз (с 200 до 10 мг/м³), метилового спирта и стирола в 10 раз, толуола и ксилола в 2 раза. В связи с этим необходимый воздухообмен для растворения вредных веществ до допустимой концентрации при работе с грунтом ВЛ-02 возрос с 2300 до 25 000 м³ на 1 кг краски. Подобная картина имеет место для лакокрасочных материалов, содержащих растворители № 646, 647, 648, 650, РДВ, Р-4 и др. Пары этих растворителей с воздухом образуют взрывоопасную смесь.

В последние годы разработаны водоразбавляемые лакокрасочные материалы и предложен метод их нанесения электроосаждением. При этом значительно улучшаются условия труда. Однако этот способ еще не нашел должного распространения в машиностроении.

11.2 ВЫДЕЛЕНИЕ ЛЕТУЧИХ ПРИ СУШКЕ ОКРАШЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Для локализации вредных выделений при механизированных способах нанесения лакокрасочных материалов, как правило, предусматривают различные кабины или камеры, оборудованные

местной вытяжной вентиляцией. Однако в ряде случаев устройство местной вентиляции не выполнимо и приходится прибегать к общеобменной вентиляции, например, при окраске внутренних поверхностей емкостей (цистерн, баков), скоплении свежеокрашенных изделий в помещении перед загрузкой их в тупиковые сушила и др. В этих случаях для определения количества паров растворителей, поступающих в помещение, необходимо иметь данные о скорости их выделения.

Лакокрасочные материалы при высыхании покрываются пленкой, которая уменьшает скорость их выделения.

Обобщение большого количества экспериментального материала [44] дало возможность предположить, что скорость испарения растворителя в каждый момент времени пропорциональна количеству растворителя, оставшегося в материале, и зависит от метеорологических условий, при которых происходит высыхание. Тогда зависимость испарения от времени определится выражением

$$\frac{db}{d\tau} = k(B - b), \quad (11.1)$$

где b — количество летучих, выделяющихся за время τ с единицы поверхности, г/м^2 ; τ — время высыхания, мин; k — коэффициент, характеризующий интенсивность испарения растворителя при определенных метеорологических условиях высыхания, $1/\text{мин}$; B — количество растворителя, выделяющегося при полном высыхании материала, нанесенного на единицу поверхности, г/м^2 .

Интегрируя выражение (11.1), получим уравнение для определения количества летучих, выделяющихся с начала окраски до любого отрезка времени:

$$b = B(1 - e^{-k\tau}). \quad (11.2)$$

Для практических расчетов целесообразно использовать величину k , характеризующую интенсивность испарения летучих в неподвижном воздухе при температуре 20°C , относительной влажности 50—70% и обычной толщине пленки, нанесенной на вертикальную поверхность k_{20} . Значения k_{20} для ряда грунтовок, лаков, красок и эмалей, полученные экспериментальным путем, приведены в табл. 11.1.

Для лакокрасочных материалов, вошедших в таблицу, коэффициент k_{20} может быть с допустимой для практики точностью определен по эмпирической формуле

$$k_{20} = \frac{4,5}{\tau_n}, \quad (11.3)$$

где τ_n — продолжительность высыхания лакокрасочного материала первой степени, мин [ГОСТ 19007—73].

**Удельные воздухообмены при окрасочных работах
(создаваемые общеобменной вентиляцией)**

Лакокрасочные материалы		Удель- ный возду- хообмен, м³/кг	Коэф- фици- ент <i>k</i> ₂₀	Лакокрасочные материалы		Удель- ный возду- хообмен, м³/кг	Коэф- фици- ент <i>k</i> ₂₀
Наимено- вание	Марка			Наимено- вание	Марка		
Грунтовки				Краски и эмали			
Глифта- левые	ГФ-020	1 300	0,10	Пентафта- левые	ПФ-115	1 000	0,01
	138	2 500	0,05		ПФ-218	1 200	0,04
Поливини- лацетат- ные	ВЛ-02	19 200	0,15		ПФ-223	750	0,04
	ВЛ-023	15 500	0,16	ПФ-837	8 400	0,05	
Сополиме- рополиви- нилхло- ридные	ХС-04	7 200	0,05	Перхлор- винило- вые	ХВ-16	10 000	0,10
	ХС-010	9 500	0,25		ХВ-125	9 000	0,16
Фенольные				Сополиме- рополиви- нилхло- ридные	ХС-510	18 500	0,12
	ФЛ-03к	3 300	0,04		ХС-527	12 000	0,20
	ФЛ-03ж	4 200	0,04		ХС-720а	14 700	0,20
			ХС-720к		16 200	0,20	
			ХС-747		6 400	—	
Лаки				Эпоксидные	ЭП-755	9 000	0,11
Бакелито- вые	АВС-1	900	0,12	Шпатлевки			
Глифта- левые	4с	7 000	0,05	Эпоксидные	ЭП-00-10	3 000	0,10
Пентафта- левые	ПФ-170	4 500	—				

Продолжительность высыхания лакокрасочных материалов от пыли при температуре 18—22° С обычно приводится в ГОСТах и ТУ на эти материалы.

При изменении метеорологических условий следует ввести поправку на температуру k_t , относительную влажность k_ϕ , подвижность воздуха k_v и толщину слоя краски k_q (рис. 11.1).

Необходимо также учитывать поправку на расположение окрасочной поверхности в пространстве k_r . Для вертикальных поверхностей (стены) $k_r = 1$, для горизонтальных, направленных вверх (пол), $k_r = 0,7$; для горизонтальных, направленных вниз (потолок), $k_r = 1,3$.

На количество летучих веществ, поступающих в помещение, влияет толщина слоя. Наибольшая толщина может быть при аварийном разливе лакокрасочного материала. Исследования [43] показали, что с увеличением толщины слоя краски высыхание замедляется. Для учета этого фактора предложена поправка на толщину слоя k_q (рис. 11.1).

Коэффициент k может быть определен из выражения

$$k = k_{20} k_t k_\phi k_v k_q k_r. \quad (11.4)$$

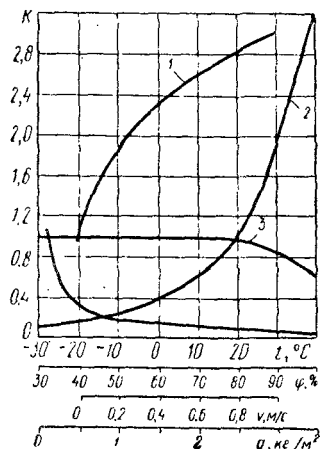


Рис. 11.1. Поправочные коэффициенты:

1 — на подвижность воздуха k_ϕ ;
2 — на температуру воздуха k_t ;
3 — на относительную влажность k_ϕ ; 4 — на толщину слоя краски k_q

компонентов в лакокрасочном материале, %; D — множитель, учитывающий величину выделений за определенный отрезок времени.

Множитель D является функцией коэффициента k и продолжительности высыхания. Его величина определяется по рис. 11.2.

Согласно требованиям Правил и норм [27] между оборудованием для окраски и сушки необходимо предусматривать промежуток 1,5—3,0 м. Определим количество паров растворителя, поступающих в помещение при прохождении окрашенными изделиями промежутка между оборудованием, снабженным местной вытяжной вентиляцией. Окраска изделий производится в кабине пульверизатором, наносится 10 кг/ч перхлорвиниловой эмали ХВ-125. Скорость конвейера 0,7 м/мин. Время нахождения окрашенного изделия в кабине 2 мин, промежуток между камерой и сушилом преодолевается за 4 мин. Значение коэффициента k_{20} для указанной выше краски равняется 0,16. По графику рис. 11.2 имеем 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 изделий по помещению выделится $0,56 - 0,23 = 0,33$ летучих, содержащихся в краске.

Для разбавления летучих, выделяющихся из 1 кг краски, требуется 9000 м³/кг. Следовательно, в данном случае для разбавления выделяющихся вредных паров необходимо создать воздухообмен

$$0,33 \cdot 10 \cdot 9000 = 29\,700 \text{ м}^3/\text{кг},$$

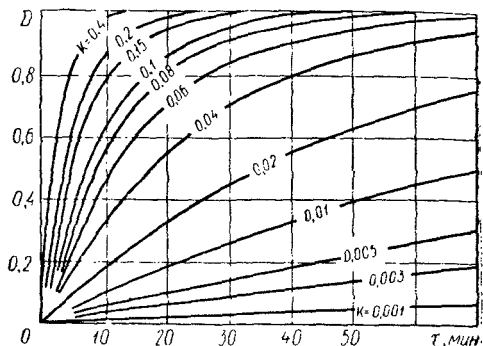


Рис. 11.2. График для определения множителя D

Количество паров растворителя, выделяющихся при высыхании окрашенной поверхности G (кг/ч), равно

$$G = 0,01ГИД, \quad (11.5)$$

где I — расход лакокрасочного материала, кг/ч; Γ — содержание летучих

что превышает количество воздуха, которое обычно удаляют от окрасочных кабин, и его следует учитывать при составлении воздушного баланса цеха. Для уменьшения поступления вредных выделений в альбоме [2] в ряде случаев рекомендуют устройство тамбуров, значительно сокращающих промежуток между оборудованием.

11.3. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ РЕШЕНИЯ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ

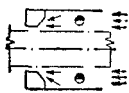
Для ограждения зоны окраски от помещения цеха предусматривают камеры и кабины. Детали малых и средних размеров окрашивают в кабинах. Маляр располагается вне кабины у открытого проема таким образом, чтобы при боковом удалении воздуха факел лакокрасочного материала имел направление в сторону воздухозаборного отверстия. Объем удаляемого воздуха определяется по средней скорости всасывания в рабочем проеме с учетом метода нанесения и состава применяемых материалов (табл. 11.2).

Таблица 11.2

Расчетные скорости всасывания воздуха в проемах окрасочных камер с боковым отсосом

Методы нанесения	Лакокрасочные материалы	Расчетная средняя скорость, м/с
Ручные		
Кистью, окунаем	Содержащие ароматические углеводороды	1,0
Кистью, окунаем, обливом	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
Безвоздушным распылением	Содержащие свинцовые соединения или ароматические углеводороды	0,7
То же	Не содержащие ароматические углеводороды и свинцовые соединения диизоцианатов	0,6
Электростатическим распылением	Различные	0,4—0,5
Автоматизированные		
Окунаем, обливом, с помощью электростатической стационарной установки	Различные	0,4—0,5
Безвоздушным распылением	Содержащие свинцовые соединения	0,5
Электростатическим распылением	Не содержащие свинцовые соединения	0,4

Характеристика вентиляции окрасочных камер

Схема кабины и тип камеры	Вид загрузки изделия	Расположе- ние рабочего	Направле- ние воздуш- ного потока	Вытяжка	Приток
 Тупиковая	Ручная через рабочий проем	Вне кабины	Горизон- тальное (по- перечное)	Вертикаль- ная решетка за изделием	Из цеха через рабо- чий проем
 Проходная	Конвей- ерная	То же	То же	То же	Из цеха че- рез рабочий и транспорт- ные проемы
 Тупиковая	Тележ- кой	В камере с двух сто- рон изде- лия	Вертикаль- ное	Решетки в полу, под изделием и вокруг	В камеру через возду- хораспре- делители в потолке
 Тупиковая	То же	В камере с одной стороны изделия	То же	То же	Из цеха через открытый потолок
 Проходная	Конвей- ерная	То же	»	»	В камеру через воз- духораспре- делители в потолке
 Бескамерная	Мосто- вым краном	Вне укрытия	Вертикаль- но-горизон- тальное	»	Из цеха
 Проходная	Конвей- ерная	В камере с двух сто- рон изде- лия	Горизон- тальное продольное	Вертикаль- ные решет- ки в торце камеры	Из цеха че- рез двери или решет- ки в торце камеры
 Проходная	То же	На площад- ках с двух сторон изделия	Горизон- тальное	Боковые решетки в вертикаль- ных возду- ховодах	Из цеха

Следует обратить внимание на обеспечение плавного входа воздуха в рабочий проем, благодаря чему уменьшается турбулизация воздушного потока и вынос вредных веществ из кабины в помещение.

Окраска крупногабаритных изделий производится в камере, внутри которой располагается и маляр. Способы вентиляции таких кабин указаны в табл. 11.3, а расчетные объемы воздуха — в табл. 11.4.

Эпизодическое окрашивание изделий высотой до 2 м, для которых невозможно предусмотреть устройство камер, следует про-

Таблица 11.4

Воздухообмены для камер с нижним отсосом и решеток

Применяемые способы 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
Гидроэлектростатический	—	900	Не содержащие свинец и ароматические углеводороды
	—	1100	Содержащие свинец и ароматические углеводороды
Пневмоэлектростатический	—	900	—

изводить на участках, оборудованных вытяжкой через решетки в полу (рис. 11.3). Изделия размещают в центре решетки, но не ближе 300 мм от ее края.

Применение установок безвоздушного распыления уменьшает поступление в воздух помещения аэрозоля краски и паров растворителя, так как в этом случае применяют более вязкие (с меньшим содержанием растворителя) лакокрасочные материалы.

Окраска в электрическое поле высокого напряжения основана на создании отрицательного заряда на распыляемом лакокрасочном материале и положительного на окрашиваемых изделиях. Таким способом могут окрашиваться металлические изделия, а также и деревянные (влажность не менее 8%). При окраске изделий из диэлектрика или более сухой древесины их предварительно покрывают водным раствором поверхностно-активных веществ, образующим тонкую токопроводящую пленку. При работе почти вся краска поступает на изделия (потери не превышают 5—10%). В воздух выделяются в основном пары растворителя.

Для локализации выделений окраску следует производить в камере (рис. 11.4). Количество воздуха, удаляемого из электроокрасочной камеры, определяется из условия создания скорости в открытых проемах, равной 0,4—0,5 м/с, и обеспечения взрывобезопасной концентрации паров растворителей в камере (не выше 20% нижнего предела взрываемости). При этом поток воздуха в камере не должен нарушать движения частиц лакокрасочного материала, иметь скорость более 0,3 м/с. Воздух необходимо удалять через вертикальные воздухопроводы, расположенные по углам ка-

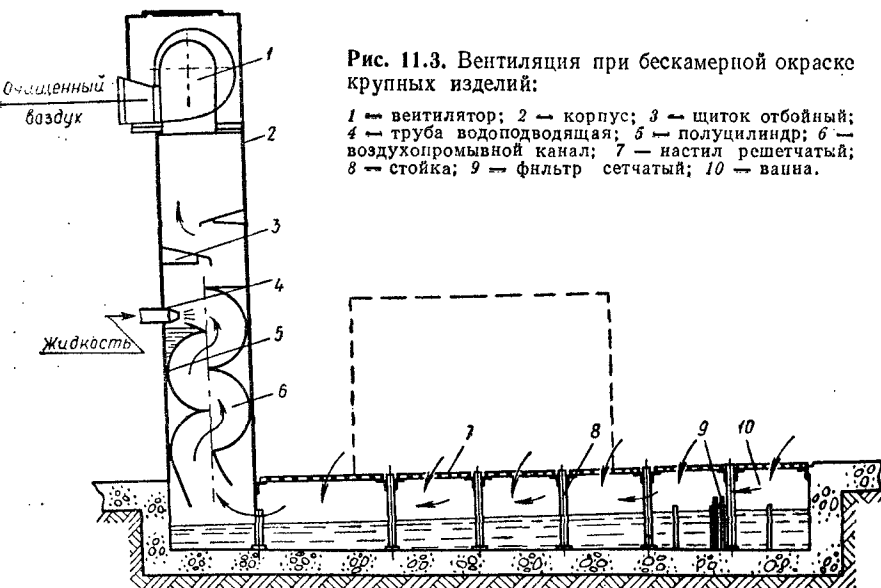
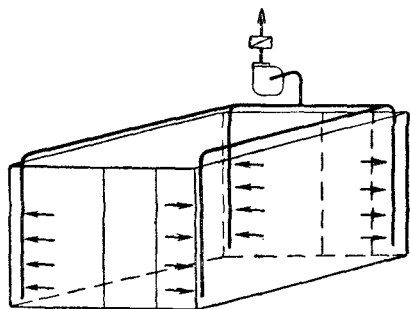


Рис. 11.4. Схема вентиляции камеры окраски в электростатическом поле

меры с отверстиями по всей высоте. Для получения относительной равномерности удаления воздуха через все отверстия суммарная площадь их в каждом воздуховоде должна быть не более 50% площади поперечного сечения воздуховода.



При окраске окунанием и струйным обливом с последующей выдержкой в парах растворителя ванны размещают в специальном укрытии. Укрытия оборудуют циркуляционной системой, обеспечивающей часовую кратность воздухообмена; равную 20, с частичным выбросом воздуха в атмосферу. Объем удаляемого воздуха должен быть достаточным для разбавления выделяющихся паров растворителей до концентрации, не превышающей 50% нижнего предела взрываемости.

В проходных укрытиях транспортные проемы оборудуют воздушными затворами в виде вертикально расположенных бортовых отсосов. Количество удаляемого воздуха принимают равным 2000—2800 м³/ч на 1 м² площади проема при высоте 1 м.

Производственным объединением «Лакокраспокрытие» разработаны рабочие чертежи камер и кабин в зависимости от габаритов изделия, метода нанесения лакокрасочного материала и способа транспортировки изделий. Камеры оборудованы вытяжной вентиляцией, отвечающей современным требованиям, и в необходимых случаях приточной. Воздух равномерно раздается по всей площади камеры. Камеры снабжены оборудованием для удаления воздуха. В технической характеристике камеры указывается тип вытяжного вентилятора и электродвигателя, количество удаляемого и подаваемого воздуха.

Выбор способа окраски и соответствующих камер производится технологами. Камеры должны поставяться в цех как технологическое оборудование. В этом случае при проектировании вентиляции количество удаляемого воздуха учитывается при составлении газозоудного баланса помещения. Однако в настоящее время централизованное изготовление кабин и камер не налажено и их приходится изготавливать и монтировать на предприятии.

При ручном окрашивании внутренних поверхностей крупногабаритных изделий (типа цистерн, баков и т. п.) необходимо предусматривать в них не менее двух проемов (люков) с противоположных сторон: через один осуществляется механическая вытяжка, через другой подсос свежего воздуха. Объем вентиляционного воздуха рассчитывают на разбавление паров растворителей в среднем до ПДК с учетом однонаправленного действия

компонентов растворителей. Для ряда красок величины удельных воздухообменов приведены в табл. 11.1. Веществами, имеющими одностороннее действие, кроме указанных в Санитарных нормах [28], являются ацетон, бутилацетат и толуол (Р-4), ацетон, бутилацетат, бутиловый и этиловый спирты, толуол и этилцеллозоль (№ 646); уайт-спирит и бутиловый спирт (№ 651), уайт-спирит и ксилол и др.

Окрашивание следует начинать около вытяжного отверстия, затем маляр перемещается к приточному отверстию и находится в струе чистого воздуха. Если это положение соблюсти невозможно, то маляр должен использовать средства индивидуальной защиты органов дыхания: респираторы РУ-60м с патронами марки А, РМП-62, ПШ-1, ПШ-2.

В малярных цехах необходимо предусматривать общеобменную вентиляцию из верхней зоны помещения в объеме не менее однократного в час. Для помещений высотой более 6 м минимальное количество удаляемого воздуха из верхней зоны следует определять из расчета $6 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 площади пола помещения. Удалять воздух необходимо на расстоянии 0,4 м от перекрытия отдельной вытяжной системой.

11.4. ОЧИСТКА УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА

Воздух, удаляемый от мест окраски распылением (кабины, камеры, напольные решетки), необходимо подвергать очистке в гидрофилтрах. Наиболее современным является гидрофилтр, разработанный ВЦНИИОТ ВЦСПС и ПО «Лакокраскокрытие». В вертикальной шахте гидрофилтра установлена ванна-лоток и четыре полуцилиндра. Вода, переливаясь через ванну, поступает на внутреннюю поверхность верхнего полуцилиндра и далее, стекая с каждого полуцилиндра, образует четыре каскада водяных завес. Расположенные сверху отбойные щитки служат для отделения влаги из воздуха.

Оптимальная скорость движения воздуха в живом сечении канала гидрофилтра 5—6 м/с. При этих условиях коэффициент очистки воздуха от лакокрасочного аэрозоля 90—95%, от паров растворителя 30—35%.

Из условия взрывобезопасности воздуховод, расположенный под вытяжными решетками, должен иметь слой воды высотой не менее 50 мм, а гидрофилтр располагается непосредственно за стенкой камеры или в конце напольной решетки.

Недостаточная степень очистки воздуха от паров растворителей в гидрофилтре приводит к значительным загрязнениям атмосферы вредными веществами. Для получения предельно допустимых концентраций веществ в приземном слое приходится строить высокие трубы и выбрасывать воздух на значительной высоте выше аэродинамической тени, предусматривать факельный выброс или дополнительные способы очистки.

Основываясь на материалах, приведенных в гл. 5, определим высоту трубы. В цехе производится окраска изделий в электростатическом поле с последующей сушкой в вентилируемом укрытии. Из краски в воздух выделяется 3 кг/ч (835 мг/с) паров толуола. От камеры окраски и укрытия удаляется 20 000 м³/ч воздуха. Диаметр воздуховода после вентилятора 690 мм. Корпус длиной 30 м, шириной 20 м и высотой 10 м расположен с краю заводской территории в зоне аэродинамической тени впереди стоящего здания. На расстоянии 200 м от цеха находится жилой дом.

ПДК толуола в воздухе населенных мест 0,6 мг/м³. Для проведения расчета высоты трубы по формуле (5.43) определим входящие в нее величины

$$\omega = \frac{20\,000}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,69^2} = 15 \text{ м/с.}$$

При $l/H_{зд} = 3,0$ по табл. 5.3 получим $k_{lr} = 1,15$;

$$\varphi E = \frac{0,6 \cdot 0,69 \cdot 15 \cdot 10}{0,54 \cdot 835 \cdot 1,15} = 0,12.$$

По табл. 5.2 $\varphi = 0,6$, тогда $E = 0,2$.

По табл. 5.4 $\bar{h} = 1,15$.

По формуле (5.44) высота трубы $h_{tr} = 10 (1 + 1,15) = 21,5$ м; $h_{tr} < 2,5H_{зд}$.

Следовательно, формулы для расчета применены правильно.

Коренным способом очистки воздушного бассейна является окисление паров растворителей методом каталитического дожигания. В Дзержинском филиале НИИОГАЗ создан платиновый катализатор на металлическом носителе с содержанием благородных металлов сотые и тысячные доли процента.

С 1972 г. на Минском автозаводе эксплуатируется механизированная линия окраски и терморадикационной сушки платформ автомобилей МАЗ-500 с очисткой воздуха от паров растворителей термодатным способом и полезным использованием тепла от сжигания. Аналогичные установки эксплуатируются в настоящее время на ряде предприятий.

Принципиальная схема установки приведена на рис. 11.5. Воздух, содержащий пары растворителя, вентилятором 1 подается в межтрубное пространство воздухоподогревателя (теплообмен-

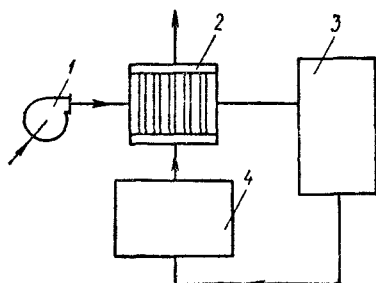


Рис. 11.5. Схема установки каталитического дожигания паров растворителей:

1 — вентилятор; 2 — теплообменник; 3 — нагреватель; 4 — аппарат каталитического дожигания

ника) 2, где нагревается до $300\text{--}350^\circ\text{C}$ за счет тепла очищенного воздуха. Далее загрязненный воздух поступает в электронагреватель или в топку 3, в которой сжигают природный газ. Здесь воздух нагревается до $350\text{--}450^\circ\text{C}$ и направляется в контактный аппарат каталитического окисления 4. В аппарате происходит окисление паров растворителя с образованием углекислого газа и паров воды. Очищенный воздух поступает в трубные теплообменники, где охлаждается, отдавая свое тепло воздуху, подлежащему очистке, и выбрасывается в атмосферу. Степень очистки $99 \pm 1\%$. Себестоимость очистки 1000 м^3 воздуха при выбросе его в атмосферу составляет $40\text{--}60$ к.

На Минском автозаводе при использовании тепла очищенного воздуха в сушилах годовой экономический эффект от внедрения установки составил 5035 р. Затраты на изготовление узла каталитического дожигания, включающего в себя комплект катализатора, вентилятор и теплообменник, составили 1340 р. Производительность вентилятора установки $6520\text{ м}^3/\text{ч}$. Стоимость комплекта катализатора для очистки $1000\text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха $170\text{--}200$ р.

11.5. ВОПРОСЫ ВЗРЫВОБЕЗОПАСНОСТИ

Категорию взрывопожарной и пожарной опасности окрасочных цехов следует устанавливать в соответствии с перечнем производств, утвержденных министерством, или определять в соответствии с указаниями СН-463—74.

В случаях, когда оборудование по условиям организации технологического процесса располагается в общем потоке производства, помещение следует считать взрывопожароопасным или пожароопасным в радиусе 5 м от источника.

Если источники вредных выделений находятся в камерах, имеющих систему местной вытяжной вентиляции, то указанное расстояние отсчитывают от проема камер; при бескамерной окраске на вытяжных решетках, расположенных в полу, расстояние считают по горизонтали и по вертикали от краев решетки.

Помещение за пределами взрывоопасной зоны считается невзрывоопасным, если нет других факторов, создающих в нем взрывоопасность.

Вентиляционное оборудование местных вытяжных систем следует предусматривать во взрывобезопасном исполнении. Если при аварийной остановке вентилятора не может быть остановлено технологическое оборудование и прекращено выделение взрывоопасных паров, то необходимо предусматривать резервный вентилятор.

В сушильных шкафах и камерах необходимо поддерживать взрывобезопасные концентрации паров растворителей. Для этого в камеры предусматривают поступление чистого воздуха.

Для камер периодического действия расход воздуха, ($\text{м}^3/\text{ч}$), необходимого для поддержания взрывобезопасной концентрации определяют по формуле

$$L_{\text{п}} = \frac{2M_{\text{в}}k}{\tau a}, \quad (11.6)$$

где 2 — коэффициент запаса, обеспечивающий содержание паров растворителя в рабочем пространстве камер не выше 50% нижнего предела взрываемости; $M_{\text{в}}$ — масса растворителя, поступающего в камеру при единовременной загрузке, г; k — коэффициент запаса, учитывающий неравномерность выделения растворителя во времени; при температуре сушки от 90 до 200° С коэффициент принимается равным от 8 до 15; τ — продолжительность выделения основного количества растворителей, в расчетах обычно принимают это время равным 5—10 мин (0,083—0,166 ч); a — нижний предел взрываемости паров растворителя, г/м³.

Для камер непрерывного действия расход воздуха ($\text{м}^3/\text{ч}$) составляет

$$L_{\text{н}} = \frac{2G_{\text{в}}k_{\text{в}}}{a}, \quad (11.7)$$

где $G_{\text{в}}$ — масса растворителя, поступающего в камеру с окрашенными изделиями в час, г/ч; k — коэффициент, равный от 2 до 5.

Как правило, указанные выше количества воздуха удаляются из камер вентиляторами, создающими рециркуляцию. Поступление воздуха происходит при открытом проеме под действием разрежения, поддерживаемого в камерах вентилятором.

11.6. ПРИТОЧНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Приточная вентиляция должна компенсировать воздух, удаляемый из помещения технологической, местной и общеобменной вентиляцией, и создавать подвижность воздуха в помещении, предусмотренную Санитарными нормами [28].

Подачу приточного воздуха предусматривают через отверстия воздухораспределителей, расположенных выше рабочей зоны (перфорированные воздуховоды или потолки, плафоны). Подаваемый воздух, как правило, следует подвергать очистке от пыли.

Для создания вертикально направленного потока при пульверизационной окраске изделия приточный воздух рекомендуется подавать в окрасочную камеру по всей площади потолка. Следует использовать подшивной потолок, оборудованный фильтрующими кассетами. Количество подаваемого воздуха должно равняться удаляемому из камеры.

11.7. ПРИМЕР РАСЧЕТА ВЕНТИЛЯЦИИ ЦЕХА

Произведем расчет вентиляции малярного цеха, в котором осуществляют обезжиривание, грунтовку, окраску и сушку изделий размером 630×630×630 мм. Грунтовку ГФ-020 и эмаль ПФ-115 наносят пульверизатором в cabinaх. Расход каж-

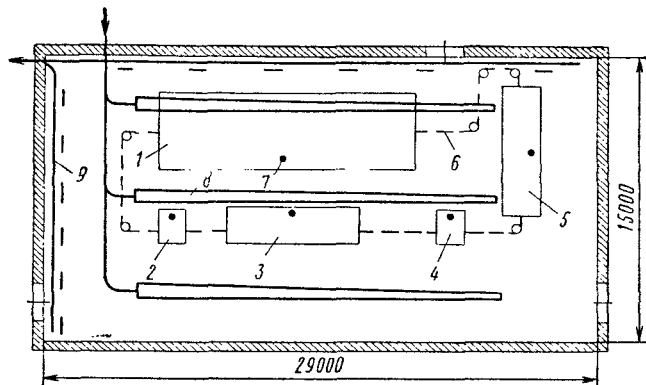


Рис. 11.6. Вентиляция малярного цеха:

1 — камера обезжиривания; 2 — кабина грунтовки; 3 — сушильный агрегат; 4 — кабина окраски; 5 — сушильный агрегат; 6 — конвейер; 7 — воздуховод вытяжных установок; 8 — перфорированный воздуховод; 9 — общеобменная вытяжная вентиляция

дого лакокрасочного материала составляет 10 кг/ч. Транспортировка изделий осуществляется подвесным конвейером, перемещающимся со скоростью 0,8 м/мин.

Цех размещен в помещении площадью 29×15 м при высоте 10 м (рис. 11.6). Согласно альбому ПО «Лакокраспокрытие»¹ были выбраны две кабины для окраски изделий, два сушильных агрегата и одна камера обезжиривания. От окрасочных кабин следует удалять по 14 500 м³/ч воздуха, от сушильных агрегатов по 2350 м³/ч и от камеры обезжиривания 3900 м³/ч. Расчет производится в следующем порядке.

Общее количество воздуха, удаляемого через местные отсосы, 37 600 м³/ч. Коэффициент k_{20} грунтовки ГФ-020 равен 0,10, а для эмали ПФ-115 составляет 0,01. Продолжительность окраски каждого изделия $1,4 : 0,8 = 1,78$ мин. Расстояние между камерами и сушилками, равное 3 м, изделие проходит за $3 : 0,8 = 3,75$ мин. Согласно графику рис. 11.2 из грунтовки за это время выделится 40% летучих ($D = 0,40$), из них 3% в камере и 37% в помещение. Для растворения этих летучих до ПДК необходимо $1300 \cdot 10 \cdot 0,37 = 4800$ м³/ч воздуха. Аналогичный расчет, проведенный для эмали, показал, что воздухообмен составит $1000 \cdot 10 \cdot 0,06 = 600$ м³/ч. Общий воздухообмен составит 5400 м.

Следовательно, общеобменной вентиляцией необходимо удалять $4800 + 600 = 5400$ м³/ч воздуха. Согласно СНиП II.33—75 из верхней зоны необходимо удалять 1/3 воздуха, рассчитанного на ассимиляцию паров, т. е. 3400 м³/ч, что больше однократного воздухообмена в час. Остальные 6800 м³/ч будут удаляться через местные отсосы.

¹ Альбом оборудования окрасочных цехов. М., «Химия», 1975, 336 с. (Сост.: С. И. Борисенко, Н. Н. Крестов и др.).

Тепловыделения от каждой сушильной камеры по 9200 ккал/ч, от камеры обезжиривания 15 500 ккал/ч, от освещения и людей 3000 ккал/ч, всего 37 000 ккал/ч. Избытки явного тепла составляют 8,2 ккал/ч·м³.

В технологическое оборудование приточный воздух не подается.

Из помещения цеха удаляется $37\,600 + 3400 = 41\,000$ м³/ч воздуха. Кратность воздухообмена $41\,000 : 435 = 9,4$.

Для поглощения теплоизбытков температура приточного воздуха должна быть ниже температуры помещения на $\frac{37\,000}{41\,000 \cdot 0,3} = 3^\circ \text{C}$.

Предусматриваем раздачу воздуха через перфорированные воздуховоды. Расчет производим согласно методике, приведенной в гл. 2 и 10. Проектируются три воздуховода длиной 19 м. Задавая скоростью воздуха в начале перфорированного воздуховода, равной 12 м/с, определим площадь сечения $F_n = \frac{41\,000}{3 \cdot 3600 \cdot 12} = 0,31$ м². Диаметр воздуховода 630 мм.

Если принять параметр, характеризующий конусность воздуховода, т. е. отношение $\frac{F_k}{F_n}$ равным 0,15, то получим число $F_k = 0,046$ м²; $d_k = 240$ мм.

Относительную площадь воздуховыпускных отверстий выбираем равной 1,6. Тогда скорость выхода воздуха из отверстий составит

$$12 : 1,6 = 7,5 \text{ м/с.}$$

Суммарная площадь отверстий 0,50 м², число отверстий 1087 шт. коэффициент трения $\lambda = 0,014$, отношение $\lambda \frac{l}{d} = 0,014 \frac{19}{0,63} = 0,42$.

По графику рис. 2.7 неравномерность раздачи воздуха по длине перфорированного воздуховода составляет 30%, а коэффициент местного сопротивления равняется 2,4. Учитывая высокое расположение перфорированных воздуховодов, полученный коэффициент неравномерности является достаточным.

Аэродинамическое сопротивление перфорированного воздуховода равно

$$2,4 \frac{12^2 \cdot 1,29}{2 \cdot 9,81} = 21 \text{ кгс/м}^2.$$

Определим величину подвижности воздуха в рабочей зоне цеха, исходя из формулы

$$v_x = v_0 n k_{\text{ст}} \sqrt{\frac{b k_{\text{ж.с}}}{x}} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 7,5 \sqrt{\frac{0,5}{5,0} \cdot 0,075} = 0,2 \text{ м/с,}$$

где b — ширина перфорированной части в середине воздуховода ($b = 0,5$ м).

Подвижность в рабочей зоне соответствует требованиям санитарных норм.

ВЕНТИЛЯЦИЯ ЦЕХОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

12.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫДЕЛЯЮЩИЕСЯ ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Холодная обработка металлов и их сплавов производится на токарных, фрезерных, сверлильных, шлифовальных и других станках. Работа сопровождается выделением тепла, пыли и стружки. На станках, при работе на которых применяют минеральные масла или эмульсии, выделяются аэрозоли этих жидкостей.

Тепловыделения станков Q (ккал/ч) зависят от мощности установленных электродвигателей, степени ее использования, условий работы станков и определяются по формуле [3]

$$Q = 860 N_y k_{\text{заг}} k_{\text{од}} \eta_1^{-1}, \quad (12.1)$$

где N_y — установочная или номинальная мощность электродвигателя, кВт; $k_{\text{заг}}$ — коэффициент загрузки электродвигателя (0,5—0,8); $k_{\text{од}}$ — коэффициент одновременной работы электродвигателей (0,5—1,0); $\eta_1 = k_n \eta$ — коэффициент полезного действия электродвигателя при данной нагрузке; k_n — поправочный коэффициент, учитывающий полноту загрузки (при $k_{\text{заг}} \geq 0,8$ принимают $k_n = 1$, при $k_{\text{заг}} < 0,8$ величина k_n определяется по каталожным данным); η — коэффициент полезного действия электродвигателя при полной нагрузке, определяется по каталогам или по следующим данным:

$N_y \dots$	$<0,5$	0,5—5	5—10	10—28	28—50	0,50
$\eta \dots$	0,75	0,84	0,85	0,88	0,9	0,92

При работе металлорежущих станков, режущий механизм которых охлаждается эмульсией, на ее испарение расходуется $N_y = 88$ ккал/ч, которые поступают в помещение в виде скрытого тепла.

Источниками тепловыделений являются также люди, искусственное освещение и солнечная радиация. Эти величины определяются по формулам, приведенным в справочной литературе [3].

Количество паров воды, аэрозоля масла и эмульсола, выделяющихся при работе станков, указано в табл. 12.1. Приведенные величины отнесены к 1 кВт мощности установленных электродвигателей.

Количество паров воды, аэрозоля масла и эмульсола, выделяющиеся при работе металлорежущих станков, г/ч·кВт

Оборудование	Аэрозоль масла	Аэрозоль эмуль- сола	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	—	0,163	150
Шлифовальные станки при охлаждении кругов маслом	30	—	—

Примечание. Для станков отделений механической обработки деталей цехов прецизионного станкостроения выделения паров воды составляют 180 г/ч·кВт.

Абразивные круги изготавливают из кварца, наждака, корунда, карборунда и различных связующих материалов. При работе абразивных кругов происходит их истирание, что вызывает образование пыли, которая совместно с металлической пылью обрабатываемого изделия поступает в воздух помещения. Пыль на 30—40% по массе состоит из материала абразивного круга и на 60—70% из материала обрабатываемого изделия. Загрязненный воздух следует удалять и перед выбросом в атмосферу фильтровать. Для решения вопроса о способах очистки необходимо иметь данные о количестве пыли и ее фракционном составе при различных видах механической обработки. Так, при заточке инструмента пыль состоит из частиц от 0 до 5 мкм — 13%, от 5 до 10 мкм — 12,1%, от 10 до 20 мкм — 22,8%, от 20 до 40 мкм — 22,9%, от 40 до 60 мкм — 21,8% и более 60 мкм — 7,4%.

Количество выделяющейся пыли зависит в основном от размеров и твердости обрабатываемого изделия, диаметра и окружной скорости круга, а также от способа подачи изделия. Непрерывная зачистка и шлифовка изделий сопровождается выделением 25—50 г/ч пыли.

Применение охлаждающих жидкостей уменьшает поступление пыли в рабочую зону. Однако при подаче жидкости одной струей концентрации пыли в зоне дыхания значительно превышают предельно допустимую. Использование пылеуловителя с измененным способом подачи жидкости (рис. 12.1), предложенного М. И. Гримитлиным для плоскошлифовальных станков, дало возможность в 4—5 раз уменьшить концентрацию пыли в зоне дыхания рабочего и в ряде случаев довести ее до ПДК.

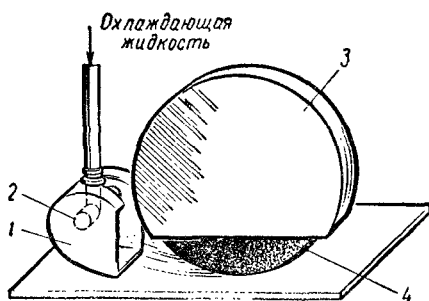


Рис. 12.1. Пылеуловитель к станкам плоского шлифования:

1 — пылеуловитель; 2 — водораспределитель; 3 — кожух абразивного круга; 4 — абразивный круг; 5 — обрабатываемое изделие

При точении, сверлении и фрезеровании хрупких материалов — чугуна, бронзы, латуни и др. — происходит образование стружки и значительного количества пыли. Стружка

представляет собой отдельные кусочки неправильной формы, которые разлетаются по помещению и могут травмировать лицо, глаза и руки рабочего. Поэтому при обработке хрупких материалов необходимо непрерывно улавливать пыль и стружку непосредственно у места их образования. Могут применяться механические и пневматические способы транспортировки стружки. Преимущество следует отдать пневмотранспорту с расположением воздухоприемников в зоне резания, так как в этом случае происходит одновременное улавливание стружки и пыли.

Для расчета систем стружко- и пылеудаления необходимо иметь данные о количестве отходов и причинах, влияющих на интенсивность их образования. Такими факторами являются свойства обрабатываемого материала, режимы резания, количество и размеры режущих кромок инструмента. Повышение скорости резания чугуна в 3 раза приводит к увеличению пыли в 4 раза, углубление резания в 2,5 раза удваивает количество выделяющейся пыли [11].

При точении, сверлении и фрезеровании стальных изделий стружка вьется и образует длинные спирали, пыль практически не выделяется. Такие станки местной вентиляцией не оборудуются. Удаление стружки производят механическим путем, как правило, периодически.

12.2. МЕСТНАЯ ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ УДАЛЕНИЕ СТРУЖКИ

Шлифовальные станки различного назначения (плоскошлифовальные, зубо-, резьбо-, ленточно-шлифовальные и др.), работающие без охлаждения или при охлаждении шлифовальных кругов маслом, а также универсальные заточные станки необходимо оборудовать местными пылевоздухоприемниками. На плоскошлифовальных станках с использованием эмульсий при невозможности применения пылеуловителя (см. рис. 12.1) необходимо предусмотреть местную вытяжную вентиляцию. Абразивные круги этих станков снабжают кожухами, препятствующими разлетанию осколков в случае разрыва круга. Как правило, местный отсос

для удаления пыли связывают с этим укрытием. Количество воздуха, обеспечивающего эффективное улавливание пыли, зависит от окружной скорости вращения круга и расположения всасывающего отверстия кожуха по отношению к направлению факела пыли.

Объем воздуха, отсасываемого от кожухов сухих абразивных кругов, соответствует большей из величин, определяемых по формулам

$$L_1 = 360Fv_0; \quad (12.2)$$

$$L_2 = kd, \quad (12.3)$$

где F — площадь живого сечения отверстия кожуха, м^2 ; $v_0 = 0,25v_k$ — при направлении пылевого факела непосредственно в отверстие кожуха, м/с ; $v_0 = 0,3—0,4 v_k$ — при направлении пылевого факела вдоль засасываемого отверстия кожуха, м/с ; d — диаметр круга, мм ; k — коэффициент, равный 2 для заточных и шлифовальных станков с абразивными кругами; 4 для полировальных станков с войлочными кругами; 6 для полировальных станков с матерчатым кругом.

На токарных и фрезерных станках часто применяют откидные экраны для ограждения зоны резания от разлетающейся стружки. Целесообразно для операций, связанных с выделением пыли (обработка чугуна и других хрупких материалов), укрытия оборудовать вытяжной вентиляцией (рис. 12.2). В данном случае вентиляцией удаляется только пыль. Образующуюся стружку рабочий периодически через специальное отверстие направляет в сборник.

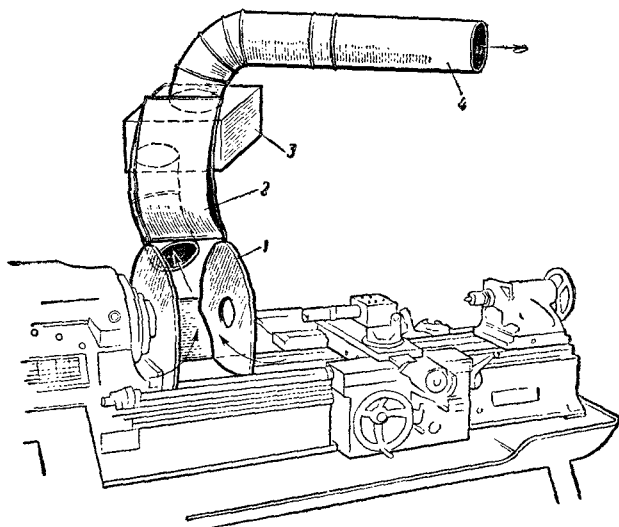


Рис. 12.2. Местный воздухоприемник токарного станка

При механической обработке хрупких материалов для удаления стружки и пыли наиболее рациональным является устройство пневмотранспорта.

Скорость воздушного потока, необходимая для транспортировки пыли и стружки, обусловливается скоростью их витания и зависит от формы, размеров и массы частиц. При точении хрупких материалов на станках среднего размера скорость витания чугушной стружки составляет 6—10 м/с, при обработке графита, текстолита, древесного пластика 5,0—7,5 м/с. Для транспортировки отходов скорость воздушного потока должна в 2—3 раза превышать скорость витания стружки и приниматься по данным табл. 12.2. Сечение воздухопроводов определяется из условия пропускания необходимого объема воздуха с заданной скоростью. Количество воздуха, подлежащего удалению в системах пневмотранспорта, определяют исходя из двух условий:

а) создания скорости в воздухоприемном отверстии, при которой не происходит выбивания пыли и стружки из укрытия;

б) создания скорости в воздуховоде, достаточной для транспортировки материалов при определенном соотношении массы перемещаемого материала к массе воздуха μ (кг/кг).

При перемещении пыли и стружки хрупких металлов $\mu \leq 1$, при транспортировке неметаллических материалов $\mu \leq 0,5$. Объем воздуха, необходимый для транспортировки пыли и стружки, определяется по формуле

$$L = \frac{G_m}{\mu \gamma}, \quad (12.4)$$

где G_m — наибольшая масса перемещаемого материала, кг/ч; γ — объемная масса воздуха, кг/м³.

Если необходимый объем воздуха для транспортирования окажется большим, чем это требуется согласно первому условию,

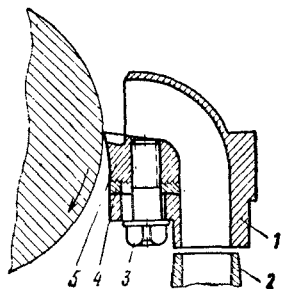
Таблица 12.2

Скорость транспортирования материалов, м/с

Материал и его характеристика	Скорость, м/с	
	на вертикальных участках	на горизонтальных участках
Смешанная абразивная и металлическая пыль при процессах шлифования, заточки и обдирки на абразивных станках	15	19
Смешанная стружка и пыль хрупких пластических материалов: карболита, гетинакса, графита, стеклотекстолита и др.	18	22
Стружка мелкая алюминиевая, чугунная, хрупких бронз и латуни (масса элемента стружки до 200 мг)	22	26
То же (масса элемента стружки от 200 до 800 мг)	26	32

Рис. 12.3. Пылестружкоприемник токарного станка:

1 — полая державка резца; 2 — воздуховод; 3 — болт; 4 — рифленая пластина; 5 — резец



то в конструкции пневмопылеприемника необходимо предусмотреть дополнительное отверстие для поступления воздуха в вытяжную систему.

При наружном точении изделий на токарном станке А. Ф. Власовым [11] предложено удаление пыли и стружки производить у места ее образования через полую державку 1 резца 5 (рис. 12.3). Входное отверстие державки располагают над режущей кромкой. Извлечение $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха обеспечивает полное удаление пыли и стружки.

При горизонтальном фрезеровании фрезой располагают внутри щелевого приемника (рис. 12.4), при этом открытой остается только часть ее, необходимая для резания. При удалении воздуха от отсоса в зоне между обрабатываемой поверхностью и нижней кромкой входного отверстия создается воздушный поток, препятствующий выбиванию пыли из укрытия. Высота зазора принимается обычно равной 3—5 мм. При обработке чугунного изделия фрезой диаметром, например, 100 мм от пылеприемника необходимо удалять воздух порядка $150 \text{ м}^3/\text{ч}$ [11].

При сверлении изделий внутри воздухоприемника (рис. 12.5) следует создавать направленный воздушный поток, аэродинамическая сила которого могла бы транспортировать стружку и пыль.

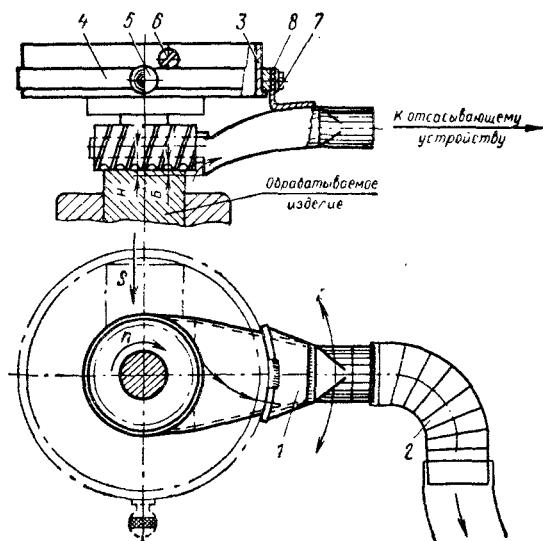


Рис. 12.4. Пылестружкоприемник для вертикально-фрезерного станка:

1 — пылестружкоприемник; 2 — патрубок; 3 — фланец; 4 — кольцо крепежное; 5 — стопорная рукоятка; 6 — винт для крепления фланца; 7 — винт для крепления пылеприемника; 8 — шайба

Для этого используют дополнительное воздухоприемное отверстие.

Диаметр отверстия в пылеприемнике, через которое производится сверление, рекомендуют выбирать в зависимости от принятого расстояния между обрабатываемой поверхностью и пылеуловителем. При сверлении чугуна, например, сверлами диаметром 5—7 мм необходимо удалять около 100 м³/ч воздуха.

Аэродинамическое сопротивление систем пневмотранспорта обычно составляет 500—700 кг/м². В этом случае возможно применять центробежные вентиляторы типа ВД № 4, Ц8-18 и Ц8-11. Воздуховоды выполняются из стальных труб.

В цехах механической обработки имеются группы шлифовальных станков, местные отсосы которых обычно объединяются одной вытяжной системой. Удаляемый воздух перед выбросом в атмосферу очищают в мокрых пылеотделителях или в матерчатых фильтрах. Пуск электродвигателей станков блокируют с работой вытяжной вентиляции.

При расположении шлифовальных станков в поточной линии наряду со станками, не требующими устройства местной вентиляции, удаление воздуха целесообразно осуществлять индивиду-

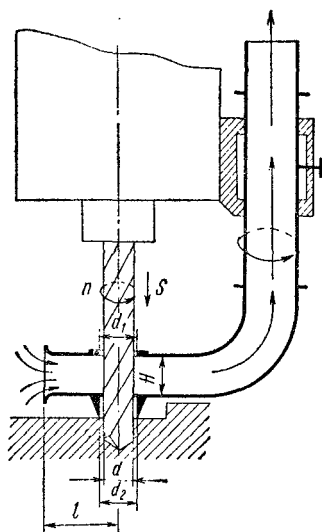
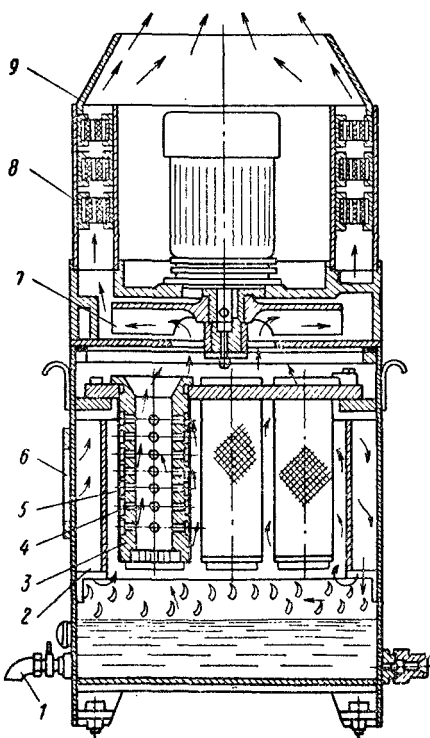


Рис. 12.5. Пылеотсасыватель сверлильного станка

Рис. 12.6. Агрегат для удаления и очистки воздуха от аэрозолей АЭ212:

1 — кран для выпуска жидкости; 2 — воздуховод; 3 — фильтр; 4 — канавки; 5 — медная сетка; 6 — всасывающее отверстие; 7 — вентилятор с электродвигателем; 8 — цилиндры с кольцами из паролона; 9 — конусный насадок



Техническая характеристика агрегатов Дербентского завода шлифовальных станков

Показатель	АЭ212	ПА212
Производительность, м ³ /ч	750	650
Диаметр входного отверстия, мм . . .	125	125
Общая поверхность фильтров, м ² . . .	0,9	2,2
Диаметр колеса вентилятора, мм . . .	360	360
Мощность электродвигателя, кВт . . .	1,6	1,5
Частота вращения электродвигателя, об/мин	2860	2860
Габаритные размеры, мм	480×480×1560	480×480×1850
Масса, кг	220	160
Стоимость, руб.	500	600

альными агрегатами. Обычно применяют агрегаты, рециркулирующие воздух в помещение после его очистки. В настоящее время промышленностью выпускаются агрегаты ЗИЛ-900, агрегат для отсоса пыли и мелкой стружки (мод. ПА212) и агрегат для отсоса аэрозолей жидкости (мод. АЭ212), приведенный на рис. 12.6. Характеристика последних двух агрегатов, изготовляемых Дербентским заводом шлифовальных станков, приведена в табл. 12.3. Выпускаемые этим заводом станки комплектуются вытяжными агрегатами.

12.3. ОБЩЕОБМЕННАЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ

Как уже отмечалось, цеха механической обработки металлов характеризуются теплоизбытками, для ассимиляции которых предусматривают общеобменную вентиляцию. Удаление воздуха производят из верхней зоны крышными вентиляторами в одноэтажных зданиях и центробежными вентиляторами через сеть воздуховодов, проложенных под потолком, в многоэтажных зданиях.

В цехах сравнительно небольшой высоты (до 6 м) целесообразно устраивать рассредоточенную подачу воздуха в верхнюю зону воздуховодами равномерной раздачи, плафонами, перфорированными воздуховодами и т. п.

В цехах большой высоты и с широкими пролетами рекомендуется воздухораздающие устройства устанавливать на высоте до 4 м от пола и в соответствии со СНиП [29] раздавать воздух горизонтальными струями, например, через воздухораспределители НРВ.

Применение в теплый период года адиабатического охлаждения приточного воздуха в 2—3 раза увеличивает рабочую раз-

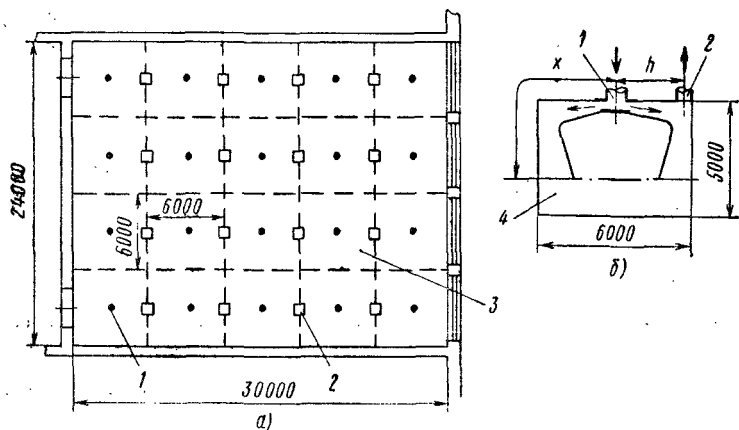


Рис. 12.7. Вентиляция цеха механической обработки металлических изделий:
 а — план цеха; б — разрез по модулю; 1 — плафоны; 2 — вытяжные решетки; 3 — модуль; 4 — рабочая зона

ность температур и соответственно уменьшает потребные воздухообмены. Целесообразность такого решения необходимо экономически обосновывать для реальных условий.

Пример. Определить воздухообмен в цехе механической обработки металлов размером в плане 24 × 30 м при высоте 5 м. В цехе установлено 39 токарных станков марок 1616 и 1617 с электродвигателями мощностью 4,3 и 3,2 кВт, 15 плоскошлифовальных станков марки 372Б с электродвигателями мощностью 4,2 кВт.

Удаление пыли и стружки от плоскошлифовальных станков осуществляется рециркуляционными агрегатами мод. ПА212, имеющими электродвигатели мощностью 1,5 кВт.

Общая мощность установленных электродвигателей 232,3 кВт. Тепловыделения по формуле (12.1) составляют $Q = 860 \cdot 232,3 \cdot 0,25 = 50\,000$ ккал/ч. В верхней зоне помещения расположены светильники, которые выделяют 16 000 ккал/ч тепла.

Раздача воздуха предусматривается через плафоны типа ВДПМ-Ш настольной струей (рис. 12.7.). Коэффициент $m = 1,1$. Помещение условно разделим на модули размером 6 × 6 м. В центре модуля расположим плафон. Удаление воздуха производится в четырех точках на стыке модулей на расстоянии от места раздачи $h = 3$ м. Всего в цехе имеется 20 модулей. Следовательно, в рабочей зоне модуля выделяется $Q_1 = 2500$ ккал/ч тепла и в верхней $Q_2 = 800$ ккал/ч.

Определим коэффициент воздухообмена по формуле (1.34). Предварительно подсчитаем величины, входящие в эту формулу, воспользовавшись известными зависимостями, приведенными в гл. 1:

$$\frac{L_h}{L_0} = \frac{\sqrt{2}}{m} \frac{h}{\sqrt{F_0}}; \quad \frac{L_{стр}}{L_0} = \frac{\sqrt{2}}{m} \frac{x}{\sqrt{F_0}}; \quad \alpha = \frac{1}{1 - \frac{L_0}{L_h}};$$

$$\frac{F_{стр}}{F_0} = 1 - \frac{\pi}{4} \left(0,88 - 0,44 \frac{h_1}{\sqrt{F_n}} \right)^2.$$

Задаемся диаметром воздуховода, по которому воздух подается к плафону, равным 545 мм. Площадь воздуховода $F_0 = 0,233 \text{ м}^2$; $\sqrt{F_0} = 0,482$, отсюда

$$\frac{L_h}{L_0} = \frac{2}{1,1} \cdot \frac{3}{0,482} = 7,98; \quad \frac{L_{\text{стр}}}{L_0} = \frac{2}{1,1} \cdot \frac{6}{0,482} = 15,96;$$

$$\alpha = \frac{1}{1 \cdot \frac{1}{7,96}} = 1,14; \quad \frac{F_{\text{стр}}}{F_0} = 1 - \frac{\pi}{4} \left(0,88 - 0,44 \frac{3}{6} \right)^2 = 0,66.$$

$$k_L = \frac{2500 + 800}{2500 (1,14 - 0,66 \cdot 0,62) + 800 \cdot 1,14 (1 - 0,662)} = 0,92.$$

Удельные избытки тепла $66\,000 : 24 \cdot 30 \cdot 5 = 18,3 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{ч}$. Следовательно, температура в помещении должна быть принята на 3°С выше наружной. Если применять испарительное охлаждение подаваемого воздуха, то разность температур можно принять равной $3 \cdot 2,5 = 7,5^\circ \text{С}$. Тогда воздухообмен будет равен

$$\frac{66\,000}{0,288 \cdot 7,5 \cdot 0,92} = 33\,210 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Кратность воздухообмена 9,2 в час.

Скорость воздуха в подводящем патрубке составит

$$\frac{33,210}{3600 \cdot 20 \cdot 0,233} = 2,0 \text{ м/с}.$$

Подвижность воздуха в рабочей зоне будет

$$2 \cdot 1,1 \cdot 0,545 \cdot 0,7 : 6,0 = 0,13 \text{ м/с}.$$

12.4. ВЕНТИЛЯЦИЯ ТЕРМОКОНСТАНТНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

На станкостроительных заводах имеются термоконтантные помещения, в которых в зависимости от выполняемого технологического процесса необходимо поддерживать температуру с точностью $\pm 0,2^\circ \text{С}$ (группа А), либо $\pm 0,5^\circ \text{С}$ и менее точно (группа Б). В таких помещениях производят окончательную (чистовую) обработку деталей на металлорежущих и шлифовальных станках. Работа сопровождается выделением тепла и пыли и производится при обильном орошении инструмента и обрабатываемой детали охлаждающей жидкостью.

Помещения группы А не должны иметь наружных ограждений. Вокруг таких помещений предусматривают теплоизоляционные коридоры, а также подвал и технический этаж.

Помещения группы Б могут иметь наружные стены с герметизированными световыми проемами.

Входы и выходы в термоконтантные помещения оборудуют тамбурами и воздушными завесами.

Отопление помещений группы А производится воздушно-отопительными агрегатами, располагаемыми в теплозащитных коридорах, техническом этаже и подвале. Допускается установка

нагревательных приборов с температурой поверхности или ограждающих экранов не более 60°C .

В цехах группы Б отопительные агрегаты располагают в самом помещении.

Шлифовальные станки оборудуют местной вытяжной вентиляцией в соответствии с рекомендациями, изложенными в предыдущем параграфе.

Приточный воздух необходимо подавать установками кондиционирования воздуха в производственные помещения, технические этажи и теплозащитные коридоры. Раздачу приточного воздуха рекомендуется производить рассредоточенно в нижнюю зону. Удаление воздуха общеобменной вытяжной вентиляцией рекомендуется осуществлять из нижней зоны через подполье в помещениях группы А, из верхней зоны — в помещениях группы Б. Необходимо также предусмотреть удаление воздуха из технического этажа и теплозащитных коридоров.

Управление системами приточной и вытяжной вентиляции, как правило, автоматизируют согласно материалам, приведенным в гл. 15.

ВЕНТИЛЯЦИЯ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ЦЕХОВ

13.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА И ВЫДЕЛЯЮЩИЕСЯ ВРЕДНЫЕ ВЕЩЕСТВА

Процессы обработки древесины на машиностроительных заводах осуществляются в ряде цехов, которые по своему назначению могут быть подразделены на три группы: деревообрабатывающие цехи, изготавливающие детали и узлы из древесины для машин, станков и приборов основного производства завода; дерево модельные цехи, в которых производится изготовление и ремонт деревянной оснастки для литейных цехов; тарные цехи, изготавливающие деревянную тару для упаковки изделий основного производства.

Пиломатериалы, поступающие для обработки в перечисленные цехи, подвергаются предварительной сушке до требуемой влажности в специальных сушилах, которые могут размещаться как в отдельных зданиях, так и непосредственно в деревообрабатывающих цехах.

Характер работ, выполняемых во всех деревообрабатывающих цехах, аналогичен. В соответствии с технологией и организацией производства в цехах имеются следующие основные отделения: склады сырых и сухих пиломатериалов, лесосушильные камеры с остывочным отделением, станочно-заготовительное, столярно-сборочное и окрасочные.

Кроме указанных основных отделений, в состав деревообрабатывающего цеха входят клееприготовительный и краскоприготовительный участки, а также участок заточки ножей и пил.

В станочно-заготовительном отделении производится распиловка, строжка, фуговка пиломатериалов и фрезерование заготовок. Для выполнения этих операций в отделении устанавливаются круглопильные, ленточнопильные, фуговальные, строгально-калеводные, универсально-шипорезные, универсально-торцовочные рейсмусные и другие станки для выполнения вспомогательных операций. Количество и тип станков зависят от вида выпускаемой продукции и программы цеха.

Основными выделяющимися вредными веществами в отделении являются опилки, стружка и древесная пыль, образующиеся при обработке древесины на станках.

В столярно-сборочном отделении выполняется окончательная сборка деталей и изделий.

В отделении выделяются конвективное тепло от горячих прессов и пары растворителей и разбавителей клеев. Для склеивания изделий в настоящее время применяют фенолоформальдегидные, мочевиноформальдегидные и карбонидные синтетические клеи и некоторые другие марки клеев.

В окрасочном отделении готовые детали и изделия подвергают грунтовке, окраске и сушке. Окраска изделий, как правило, производится пульверизационным способом в окрасочных кабинках; сушка — в конвективных или терморadiационных сушилах.

Основными вредными веществами являются пары растворителей и разбавителей красок, эмалей и лаков, а также тепло от сушильных камер.

В сушильном отделении производится сушка пиломатериалов. Для этой цели можно использовать сушильные камеры различной конструкции. По режиму работы камеры подразделяются на камеры периодического и непрерывного действия, а по применяемому теплоносителю — на газовые с использованием для сушки продуктов сгорания, паровые и водяные. Наибольшее распространение на машиностроительных заводах получили паровые сушильные камеры периодического действия.

В сушильном и остывочном отделениях выделяются водяные пары, прорывающиеся через неплотности притворов ворот при работе камер, а также при их разгрузке, и избыточное тепло.

На участке заточки пил и ножей в помещение выделяется наждачная и металлическая пыль, образующаяся при заточке инструмента.

Технологические процессы, связанные с хранением пиломатериалов сушкой, механической обработкой и сборкой узлов и деталей из дерева, относятся по пожарной опасности к категории В, процессы шлифовки и полировки, связанные с выделением древесной пыли, — к категории Б; процессы окраски — к категории А. Класс помещений деревообрабатывающих производств по ПУЭ следует принимать: для участков складирования пиломатериалов и готовых деталей и изделий — П-IIа, для цехов деревообработки — П-II, для участков шлифовальных станков — В-II, для окрасочных участков — В-Иб.

Деревообрабатывающие цехи, как правило, размещают в одноэтажных зданиях, строительный объем которых колеблется в пределах от $10 \cdot 10^3$ до $100 \cdot 10^3$ м³, причем процессы шлифовки, полировки и окраски необходимо располагать в отдельных изолированных помещениях у наружных стен.

13.2. ОБЩЕОБМЕННАЯ ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНАЯ ВЕНТИЛЯЦИЯ И МЕСТНЫЕ ОТСОСЫ

Во всех производственных помещениях деревообрабатывающих цехов для оздоровления условий труда предусматривается приточно-вытяжная вентиляция.

В станочно-заготовительном отделении и расчетный воздухообмен определяется по количеству воздуха, удаляемого местными отсосами стружкоотсасывающих установок, описание которых приводится ниже. Объемы воздуха, удаляемого от различных деревообрабатывающих станков, принятые по данным Гипродревпрома, приведены в табл. 13.1.

Компенсация воздуха, удаляемого из помещения, осуществляется приточными системами с механическим побуждением. Раздача приточного воздуха обычно выполняется в верхнюю зону помещения с малыми скоростями. Такая раздача воздуха может быть выполнена с помощью перфорированных воздуховодов, плафонов и воздухораспределителей других конструкций. Опыт эксплуатации аналогичных цехов показывает, что благодаря рассредоточенному размещению местных отсосов от деревообрабатывающих станков распределение подаваемого приточного воздуха в помещении получается равномерным. В летний период года возможно поступление приточного воздуха через открывающиеся фрамуги окон.

В столярно-сборочном отделении должна предусматриваться общеобменная приточно-вытяжная вентиляция. Необходимый воздухообмен в помещении определяется из расчета растворения вредных веществ, выделяющихся в процессе производства клеевых работ, до предельно допустимой концентрации. Количество выделяющихся вредных веществ следует принимать по технологическим данным.

Загрязненный воздух следует удалять из помещений через местные отсосы от технологического оборудования, напольные отсосы, а также из нижней зоны через пристенные вытяжные устройства, устанавливаемые обычно на высоте 0,3 м от пола. Приточная вентиляция осуществляется так же, как и в станочно-заготовительном отделении.

В окрасочном отделении должна предусматриваться приточно-вытяжная вентиляция, причем во избежание распространения вредных веществ за пределы малярного отделения производительность приточной системы с механическим побуждением должна быть меньше суммарной производительности вытяжных установок.

От технологического оборудования, устанавливаемого в отделении и являющегося источниками вредных веществ (окрасочных камер, сушильных камер, верстаков для окрасочных работ и др.), необходимо предусматривать удаление воздуха с помощью местных отсосов. Объем воздуха, удаляемого от укрытий, определяется

Характеристика отсасывающих устройств к основным
деревобрабатывающим станкам

Станок	Марка станка	Отходы	Минимальная скорость в воздухо-воде, м/с, при влажности материала		Минимальное количество отсасываемого воздуха, м³/ч		Коэффициент сопров-твления прие-мка Бпр
			<20%	>20%	от од-ного при-емника	всего	
Круглопильный с автоподачей для продольной распиловки:							
верхний при-емник	ЦА-2А	Опилки	15	16	600		0,8
нижний при-емник		»	15	16	840	1440	1,0
Круглопильный универсальный:							
верхний при-емник	Ц-2Д-5А, Ц-6	»	16	17	1190		0,8
нижний при-емник		»	15	16	720	1910	1,0
Торцовочный	ЦМЭ-2М	»	15	16	865	865	1,0
Ленточнопильный столярный	ЛС-80-1	»	15	16	1330	1330	1,0
То же	ЛС-40-1	»	15	16	1150	1150	1,0
Фуговальный	СФ-3-3	Стружка	17	18	972	972	1,0
»	СФА-4	»	17	18	1110	1110	1,0
»	СФ6	»	18	19	1295	1295	1,0
Фуговальный дву-сторонний:							
от пожевого вала	С2Ф-4-1	»	17	18	1115		1,0
от вертикаль-ной головки		»	17	18	900	2015	0,8
Рейсмусовый од-носторонний	СР3-6	»	17	18	972	972	1,0
То же	СР6-7	»	18	19	1295	1295	1,0
»	СР-12-2	»	18	19	2520	2520	1,0
Рейсмусовый дву-сторонний:	С2Р8-2						
верхний отсос		»	18	19	1800		1,0
нижний отсос		»	18	19	1800	3600	1,0
Четырехсторонний строгальный:	С16-1						
от горизон-тальных вал-лов		»	18	19	1220×2		1,0
от вертикаль-ных головок		»	18	19	1080×2	460	1,0
Фрезерный одно-шпиндельный	ФЛ	»	17	18	900	900	0,8
То же	ФЛА	»	17	18	972	972	0,8

Станок	Марка станка	Отходы	Минимальная скорость в воздухо-воде м/с, при влажности материала		Минимальное количество отсасываемого воздуха, м³/ч		Коэффициент сопоставления приемника $\xi_{пр}$
			<20%	>20%	от одного приемника	всего	
Шипорезный рамный:	ШО-6	Стружка	14	15	720	4177	1,0
от торцовочной пилы			18	19	1225		1,0
от шипорезной головки			16	17	792		0,8
от надсечных головок			17	18	1440		0,8
от проушечного диска			17	18	1080	1080	1,0
Шипорезный ящичный	ШПА-40	»	17	18	1080	1080	1,0
Шлифовальный ленточный с подвижным столом:	ШЛПС-Л	Пыль	14	—	900	2195	1,0
верхний отсос головной отсос			14	—	1295		0,15
Шлифовальный дисковый с бобиной:	ШЛДБ-4	»	14	—	720	2702	1,2
нижний от диска			14	—	972		1,0
боковой от диска			14	—	1010		1,0
от бобины	—	—	18	19	1100	1100	1,0
Напольный стос			18	19	1100	1100	1,0

в зависимости от характера технологического процесса, применяемых растворителей и размеров открытых проемов.

В окрасочных камерах с боковым отсосом воздухоприемное отверстие располагается за изделием, напротив рабочего проема. Объемы удаляемого из камер воздуха, определяемые по средней скорости всасывания в открытые проемы с учетом метода нанесения и опасности применяемого лакокрасочного материала, даны в гл. 11.

Воздух, отсасываемый из окрасочных камер и кабин, подвергается очистке от образующегося аэрозоля лакокрасочного материала мокрым способом в гидрофилтрах. Окрашенные изделия сушатся в камерах нагретым рециркуляционным воздухом, 15—25% которого выбрасывается в атмосферу и компенсируется воз-

духом, поступающим из цеха. Над дверями камер для удаления прорывающихся вредных выделений предусматриваются вытяжные зонты. В дополнение к местной вытяжной вентиляции необходимо предусматривать отсос воздуха в объеме однократного обмена в час из верхней зоны помещения (непосредственно из-под кровли), преимущественно над источниками тепла (сушильными камерами).

При осуществлении вытяжной вентиляции в отделении с помощью только одной постоянно действующей местной или общеобменной установки необходимо предусматривать резервный вентиляционный агрегат, заблокированный с рабочим, автоматически включающийся при остановке рабочего вентилятора [29].

Местные отсосы воздуха от окрасочных камер, ванны окунаения и другого технологического оборудования объединять между собой общей системой вытяжки не разрешается. Оборудование вытяжных систем должно иметь искрозащищенное исполнение.

Приточный воздух следует подавать в рабочую зону. Скорость приточных струй на рабочих местах не должна превышать 0,5 м/с.

В остывочном отделении для предотвращения распространения пара по всему помещению перед фронтом всех сушильных камер на расстоянии 2—2,5 м устраивается подвесная ширма высотой от покрытия помещения до верха ворот камер. Ширма разделяется на отсеки по числу сушильных камер. Для улавливания водяных паров в ряде случаев можно устраивать над разгрузочными воротами зонты.

Объемы воздуха, удаляемого из-под ширмы, определяются из условия создания под ней некоторого разрежения, исключающего возможность распространения влаги по всему помещению. Скорость воздуха в живом сечении ширмы принимается 0,1—0,15 м/с. Удаление воздуха из-под ширмы и зонтов целесообразно осуществлять с помощью центробежных или осевых вентиляторов, поскольку естественная вытяжка недостаточно эффективна.

Кроме местной вытяжки, через зонты и ширмы в помещении остывочного отделения необходимо предусматривать удаление воздуха из верхней зоны с помощью дефлекторов и вытяжных шахт.

Приточный воздух в остывочное отделение подается в верхнюю зону помещения в объеме вытяжки с учетом коэффициента одновременности работы вытяжных вентиляторов, удаляющих воздух от зонтов и ширм.

В помещении коридора управления необходимый воздухообмен определяется из условия поглощения теплоизбытков. Удаление воздуха обычно осуществляется из верхней зоны помещения системами с механическим побуждением. Приточный воздух поступает в помещение через открывающиеся фрамуги окон.

13.3. ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Цеховые стружкоотсасывающие установки служат для улавливания стружек, опилок и пыли, получаемых при обработке древесины на станках, и передачи этих отходов за пределы цеха. Таким образом, они выполняют не только транспортные, но и аспирационные функции. Приемники для отходов обычно встраивают в конструкцию деревообрабатывающих станков и в большинстве случаев служат ограждением режущих частей станка. Улавливание древесных отходов и пыли от режущих головок станков происходит благодаря воздействию воздушного потока и использованию скорости движения частиц, сообщаемой им режущим инструментом. В районе расположения токарных и сверлильных станков, режущие головки которых не допускают устройство приемника, а также в тех местах цеха, где скопляются стружка и опилки, следует располагать напольные приемники постоянного или периодического действия.

Стружкоотсасывающие цеховые установки относятся к категории установок низкого давления. Они обычно выполняются по всасывающе-нагнетательной схеме и работают при весьма низкой весовой концентрации смеси (ниже 0,2), что обусловливается необходимостью надежной аспирации. Поэтому обычно эти установки применяют только для сбора и выноса отходов за пределы цеха. Дальнейшую передачу материала целесообразно осуществлять пневматическими транспортными установками, работающими с высокой концентрацией смеси, или механическим транспортом (автомшины, электрокары и др.).

На машиностроительных заводах транспортирование древесных отходов от деревообрабатывающих цехов в большинстве случаев осуществляется на автомшинах и электрокарах.

Тип и количество стружкоотсасывающих установок в деревообрабатывающих цехах следует определять исходя из принятого технологического процесса, количества станков, режима работы отдельных групп станков, расстояния наиболее удаленных станков от вентиляторов и аэродинамической характеристики принимаемых вентиляторов. Для группы шлифовальных станков рекомендуется предусматривать отдельные установки.

Ниже приводится описание различных типов стружкоотсасывающих установок и даются некоторые рекомендации по их выбору.

Стружкоотсасывающая установка обычного типа (рис. 13.1) состоит из ступенчатого сборного воздуховода со все возрастающим диаметром по мере подключения к нему ответвлений от деревообрабатывающих станков. Скорость движения воздуха в нем принимается в пределах 16—20 м/с. Статическое давление по длине магистрали резко меняется, поэтому такие установки не допускают перемещения станков и изменения их количества. Рассматривае-

Рис. 13.1. Стружкоотсасывающая установка обычного типа:

1 — вентилятор; 2 — циклон; 3 — воздуховоды; 4 — пылеприемники



мая установка может быть применена для обслуживания группы, состоящей не более чем из 15 станков, при радиусе действия установки не более 30 м и только в тех цехах, где количество обслуживаемых станков и их расположение в цехе остаются неизменными. В настоящее время такие установки находят крайне ограниченное применение в деревообрабатывающих цехах.

Универсальная установка (рис. 13.2) состоит из магистрального воздуховода, имеющего постоянное сечение по всей его длине, транспортной ленты, перемещающейся внутри магистрального

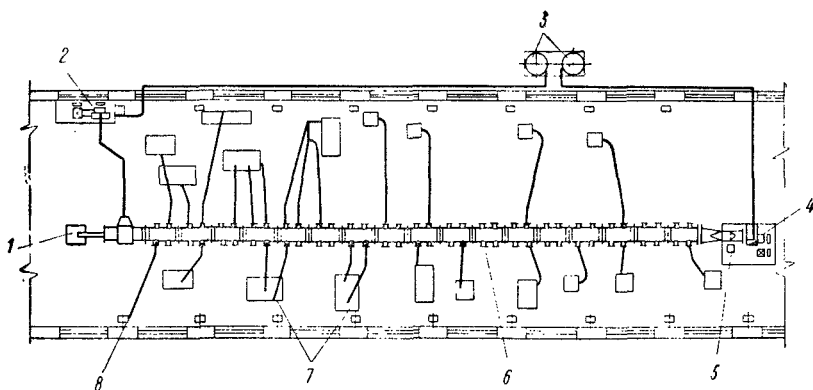
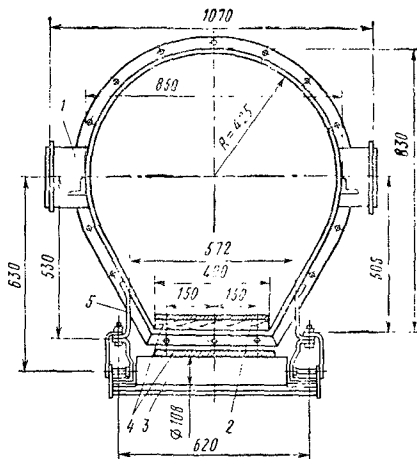


Рис 13.2. Универсальная установка с магистралью постоянного сечения и механической разгрузкой материала:

1 — натяжная станция; 2 — вентилятор; 3 — циклоны; 4 — вентилятор; 5 — приводная станция; 6 — магистральный воздуховод; 7 — пылеприемники; 8 — напольный отсос

Рис. 13.3. Секция магистрального воздуховода:

1 — патрубок; 2 — деревянный настил;
3 — ролик; 4 — лента; 5 — кронштейн



воздуховода, ответвлений к деревообрабатывающим станкам, а также приводной и натяжной станций. Так как сечение магистрального воздуховода постоянно, скорость воздуха по длине воздуховода непрерывно изменяется от нуля в хвостовой части до максимального значения в головной части (у вентилятора) по мере поступления воздуха из ответвлений. Размеры поперечного сечения магистрального воздуховода выбирают такими, чтобы скорость воздуха в головной части не превышала 10—11 м/с. Следовательно, средняя скорость воздуха по длине воздуховода будет около 5 м/с, что позволяет значительно снизить перепад статических давлений в начале и в конце воздуховода. При этих условиях перепад статического давления в начале и в конце магистрального воздуховода составит не более 10%, поэтому при необходимости перестановки станка из начала магистрального воздуховода в его конец расход воздуха изменится не более чем на 5%, что и позволяет переставлять станки в соответствии с технологией, не ухудшая работы стружкоотсасывающей установки.

Низкая скорость воздуха в магистральном воздуховоде недостаточна для транспортирования опилок и стружек во взвешенном состоянии, они выпадают из воздушного потока. Для перемещения отходов вдоль воздуховода применяется ленточный конвейер, рабочая ветвь которого движется внутри воздуховода по деревянному настилу. Холостая ветвь ленты перемещается по поддерживающим роликам, укрепленным снаружи, под воздуховодом. Натяжная и приводная станции ленточного конвейера располагаются вне магистрального воздуховода.

Магистральный воздуховод собирается из отдельных секций (рис. 13.3) на фланцах. Каждая секция имеет четыре или шесть патрубков, расположенных с двух сторон, для подключения ответвлений от деревообрабатывающих станков. Все неиспользованные патрубки закрываются герметическими заглушками.

Выпавшие на транспортерную ленту древесные отходы направляются к приемной воронке откуда они попадают в воздуховод. Здесь они вновь подхватываются воздушным потоком, так как скорость движения воздуха в воздуховоде превышает скорость их витания. По этому воздуховоду древесные отходы направляются

к вентилятору и далее в циклон. Рекомендуется применять горизонтальную разгрузочную воронку, в которой благодаря постепенному сужению сечения скорость воздуха повышается до 18—20 м/с, чем и обеспечивается сьем отходов с ленты воздушным потоком. Скорость воздуха в ответвлениях к станкам, присоединяемых к магистральному воздуховоду, для обеспечения транспортировки древесных частиц обычно принимается 15—20 м/с. Разрежение в магистральном воздуховоде должно быть достаточным для транспортирования до него древесных отходов от наиболее удаленного станка, это расстояние не следует принимать более 15—20 м.

Максимальную длину магистрального воздуховода рекомендуется принимать из условия длины ленточного конвейера не более 70 м. Скорость движения ленты по деревянному настилу внутри магистрального воздуховода принимается 0,5—0,8 м/с.

В крупных деревообрабатывающих цехах с большим количеством технологического оборудования необходимый объем воздуха, удаляемого от станков, достигает 25 000 м³/ч и более. Во избежание увеличения поперечного сечения магистрального воздуховода рекомендуется воздушный поток, движущийся по нему, делить на части. Для этого к магистральному воздуховоду присоединяются несколько вытяжных вентиляторов, работающих параллельно. Количество и производительность вентиляторов определяются с таким расчетом, чтобы в любом сечении магистрального воздуховода скорость движения воздуха не превышала 5—7 м/с.

При устройстве заборной воронки промежуточного отбора скорость воздуха на входе в нее не должна превышать 3—5 м/с. При этой скорости вентилятор промежуточного отбора будет удалять из магистрального воздуховода только пыльный воздух, а все отходы будут передаваться ленточным конвейером к основному вентилятору и далее в циклон.

Универсальные стружкоотсасывающие установки можно применять в деревообрабатывающих цехах высотой не менее 5,0 м.

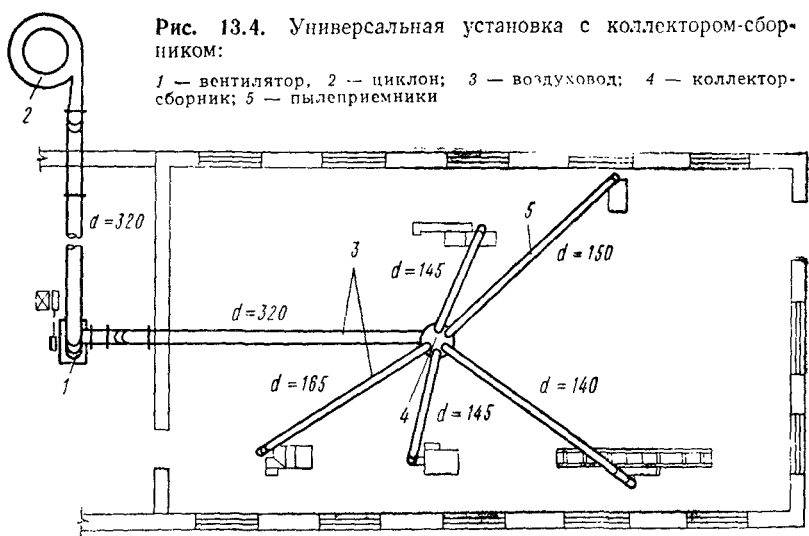
Несмотря на то, что универсальные стружкоотсасывающие установки сложны в изготовлении, связаны с работой движущихся частей и занимают много места, они нашли широкое применение в крупных деревообрабатывающих цехах машиностроительных заводов, в которых количество станков превышает 20—25 шт.

Одно из основных преимуществ универсальной стружкоотсасывающей установки — гибкость ее работы, т. е. возможность без коренных переделок и без ухудшения работы установки переставлять присоединенные к ней станки, включать дополнительные, а также отключать часть станков.

В универсальных установках с коллекторами-сборниками (рис. 13.4) магистральный воздуховод заменен коллектором-сборником, к которому подключаются ответвления от станков. Все ответвления, присоединенные к коллектору, находятся под

Рис. 13.4. Универсальная установка с коллектором-сборником:

1 — вентилятор, 2 — циклон; 3 — воздуховод; 4 — коллектор-сборник; 5 — пылеприемники



одним и тем же разрежением. Условия работы таких установок аналогичны условиям работы универсальных установок: они могут обслуживать группу станков вне зависимости от их расположения. Установки с коллекторами-сборниками допускают присоединение дополнительных станков, однако этот резерв практически ограничен в пределах 20—25% и осуществляется путем увеличения производительности вентилятора.

Упрощенные универсальные установки различаются по конструкции коллекторов-сборников и расположению магистральных воздуховодов. Рекомендуемые конструкции коллекторов-сборников для установок такого типа показаны на рис. 13.5.

Конструкции коллекторов-сборников стружкоотсасывающих установок выбираются в зависимости от конкретных условий деревообрабатывающего цеха. Наиболее распространены вертикальные цилиндрические коллекторы с подключением ответвлений сверху, сборный воздуховод располагается снизу. Частицы материалов, принесенные в коллектор через ответвления от станков, под действием собственной массы и воздушного потока направляются вниз в сборный воздуховод, благодаря чему исключается возможность засорения коллектора и обеспечивается надежность работы установки. Коллекторы подвешиваются к перекрытию или поясам фермы на тягах или устанавливаются на кронштейнах. Достоинство установок с вертикальными коллекторами — высокая надежность в работе и возможность подключения ответвлений к коллектору со всех сторон. Рекомендуются также вертикальные конические коллекторы с подключением ответвлений сверху под углом.

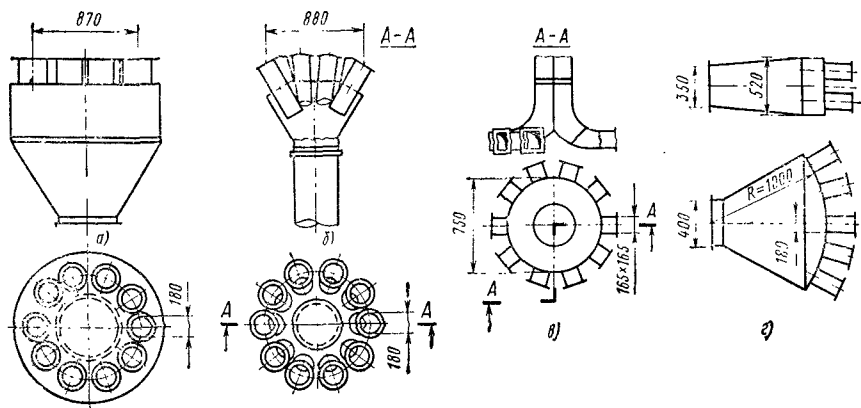


Рис. 13.5. Коллекторы-сборники:

а — цилиндрический коллектор с подключением ответвлений сверху; *б* — конический коллектор с подключением ответвлений сверху; *в* — коллектор типа «Люстра» с верхним расположением сборного воздуховода; *г* — коллектор горизонтальный секторный

В коллекторе типа «Люстра» со сборным воздуховодом, расположенном сверху, патрубки для подключения ответвлений расположены по образующей цилиндра. Установка с таким коллектором особенно удобна в низких помещениях, если есть возможность сборный воздуховод располагать выше нижнего пояса ферм. Боковое подключение ответвлений не требует лишнего отвода и снижает высоту стояка.

В низких помещениях применяют вертикальный коллектор типа «курительная трубка» и горизонтальные коллекторы. В коллекторе типа «курительная трубка» входные патрубки расположены сверху, а отсасывающий патрубок подключен сбоку. Горизонтальный коллектор представляет собой плоскую воронку секторной формы, по дуговой поверхности которой расположены входные патрубки для подключения ответвлений. Недостатками установок с горизонтальным коллектором и с коллектором типа «курительная трубка» являются возможность забивания коллекторов материалом, а также то, что входные патрубки расположены с одной стороны коллектора.

Упрощенные универсальные установки могут применяться в деревообрабатывающих цехах, когда в них установлено 10—12 станков. Рекомендуемые объемы воздуха, удаляемого от деревообрабатывающих станков и через напольные отсосы, а также основные характеристики отсасывающих устройств приведены в табл. 13.1.

Для новых конструкций станков, не имеющих в паспорте указаний о количестве удаляемого воздуха, объем его может быть принят по аналогии с известным для станков, уже находящихся в эксплуатации. Если станок снабжен заводским укрытием, то объем

воздуха, отсасываемого от станка, может быть принят из расчета создания скорости в вытяжном патрубке, равной 16—20 м/с, в зависимости от характера древесных отходов.

При работе стружкоотсасывающих установок возможны случаи попадания в воздуховоды крупных кусков древесины и различных металлических предметов. Для предотвращения поломки лопастей колеса вентилятора и искрообразования необходимо предусматривать уловители, располагаемые обычно на сборном воздуховоде непосредственно перед вентилятором.

В цеховых стружкоотсасывающих установках в качестве побудителей обычно применяют центробежные пылевые вентиляторы. Наибольшее распространение получили центробежные вентиляторы типа ЦП7-40.

Вентиляционное оборудование рекомендуется размещать в специальных камерах, имеющих звукоизоляционные ограждающие конструкции. В отдельных случаях с целью экономии производственной площади, занимаемой вентиляционным оборудованием, вентилятор можно расположить в камере под бункером циклонов, устанавливаемых за пределами деревообрабатывающего цеха. Воздух, удаляемый стружкоотсасывающими установками, перед выбросом в атмосферу подвергается очистке от опилок, стружек и древесной пыли. В стружкоотсасывающих установках для очистки воздуха обычно применяют центробежные отделители-циклоны. Наиболее широкое распространение в таких установках получили циклоны с высоким коэффициентом очистки воздуха типа Ц «Гидродревпрома», циклоны типа УЦ-38 и циклоны типа К Клайпедского опытного экспериментального комбината древесных материалов (ОЭКДМ).

В циклонах типа Ц очистка воздуха от крупных частиц происходит под действием центробежных сил; от более мелких частиц очистка осуществляется в сепараторе, работающем по принципу жалюзийного пылеуловителя. Циклоны могут изготавливаться правого и левого исполнения. Устанавливать циклоны необходимо только на линии нагнетания. Циклоны малогабаритны, имеют малую металлоемкость, но дают значительный выброс мелкой пыли в атмосферу. Поэтому их можно рекомендовать только для цеховых стружкоотсасывающих установок, не включающих в себя шлифовальных станков. Как показали испытания, проведенные «Гниродревпромом» совместно с управлением Главтехмонтаж и ВЦНИИОТ ВЦСПС, циклоны имеют коэффициент очистки воздуха 98—98,5%. Коэффициент местного сопротивления циклона отнесенный к скорости входа воздуха, $\xi = 5,4$. Циклоны могут устанавливаться на герметические бункера при транспортировании древесных отходов от них при помощи автотранспорта или же над воронками при транспортировании отходов от них при помощи пневматического транспорта.

Циклоны типа УЦ-38 имеют развитую коническую часть и спиральный подвод очищаемого воздуха. Они обеспечивают эффектив-

ную очистку воздуха и могут быть рекомендованы для использования в качестве одной ступени очистки воздуха, удаляемого от шлифовальных станков. Циклоны УЦ-38 с диаметром корпуса до 850 мм разработаны институтом «ЦНИИПромзернопроект»; с диаметром корпуса от 900 до 2000 мм — институтом «Гипродрев» (г. Ленинград).

Коэффициент гидравлического сопротивления циклона, отнесенный к скорости воздуха во входном патрубке, может быть определен: для циклонов с диаметром корпуса D до 850 мм по формуле, предложенной П. А. Коузовым: $\xi = 8 \div 6,3D$; для циклонов с диаметром корпуса $D = 900 \div 2000$ мм — по формуле, предложенной Гипродревом и Лесотехнической академией: $\xi = 7,6D$; в этих формулах D — наружный диаметр циклона, м.

В связи с тем, что циклоны УЦ-38 имеют очень высокий коэффициент гидравлического сопротивления, который прямо пропорционален диаметру циклона, к установке рекомендуется принимать циклоны с меньшим диаметром.

Циклоны типа К могут быть рекомендованы в качестве одной ступени очистки воздуха от щепы, стружек и опилок. Они бывают правого и левого исполнения и устанавливаются как на нагнетании, так и под разрежением. Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости воздуха во всасывающем патрубке, $\xi = 5$. Степень очистки воздуха в циклонах К, по данным ГПИ «Сантехпроект», при работе на стружке и опилках, составляет 98—99%.

Выбор типа и размеров циклонов производится в зависимости от характера пыли, содержащейся в воздухе, и необходимой производительности. В стружкоотсасывающих установках рекомендуется принимать скорость воздуха во входном патрубке циклона в пределах 12—23 м/с причем меньшие значения скоростей необходимо принимать при очистке воздуха от крупных частиц, большие значения — для мелких частиц. При выборе циклона предпочтение следует отдавать циклонам с меньшим диаметром, так как эффективность очистки воздуха в них выше. Местоположение циклона выбирается в зависимости от расположения пункта назначения древесных отходов. Если он находится на расстоянии менее 50 м от цеха, то, циклон устанавливается непосредственно в пункте назначения. При больших расстояниях циклоны обычно размещаются снаружи здания, а собранные отходы передаются в пункт назначения пневмотранспортной установкой или другим видом механического транспорта.

При размещении циклонов снаружи зданий I и II степеней огнестойкости допускается устанавливать их непосредственно у стен, если по всей высоте здания и на расстоянии не менее 2 м по горизонтали от габарита циклона нет оконных проемов или если имеются неоткрывающиеся окна с двойными рамами в металлических переплетах с остеклением из армированного стекла или

стеклоблоков. При невозможности выполнения этих требований, а также при размещении циклонов снаружи зданий III, IV и V степеней огнестойкости, их следует располагать на расстоянии не менее 10 м от зданий [29].

Необходимые данные для выполнения гидравлического расчета стружкоотсасывающих установок, а также технические характеристики рекомендуемых вентиляторов и циклонов приводятся в работах институтов «Гиродревпром», «Гипродрев» и другой специальной технической литературе.

ВЕНТИЛЯЦИЯ КРУПНЫХ БЛОКИРОВАННЫХ КОРПУСОВ

14.1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ И СПЕЦИФИКА ВЕНТИЛЯЦИИ

В последние годы в машиностроительной промышленности все более широко применяется строительство крупных блокированных корпусов, в которых под одной кровлей размещается комплекс различных технологических процессов, связанных с производством легковых и грузовых автомобилей, вагонов, станков и др.

Строительство крупных блокированных корпусов по сравнению с возведением мелких зданий, имеющих суммарно такую же площадь, обладает рядом преимуществ, к которым относятся: сокращение протяженности технологических и других коммуникаций; уменьшение пятна застройки предприятия; снижение расходов тепла на отопление здания.

Современные блокированные корпуса в машиностроении представляют собою, как правило, одноэтажные многопролетные здания, высота которых зависит от габаритов выпускаемого оборудования.

Показатели некоторых главных корпусов заводов автомобилестроения приведены в табл. 14.1. В этих корпусах располагаются сборочные конвейеры, а также сварочные, механические, окрасочные и заготовительные цехи. В некоторых корпусах размещаются также термические и гальванические отделения.

Как видно из табл. 14.1, размеры блокированных корпусов в плане измеряются сотнями, а иногда и тысячами метров.

Наиболее распространенной в настоящее время на вновь строящихся машиностроительных заводах является сетка колонн 24×12 м (24 м — ширина пролета). На предприятиях тяжелого машиностроения ширина отдельных пролетов, а также их высота могут достигать значительно больших размеров по сравнению с указанными в табл. 14.1.

Наряду с рядом технологических и строительных преимуществ крупные блокированные цехи с вентиляционной точки зрения обладают и существенным недостатком: в них усложняется, а в связи с этим и удорожается устройство вентиляции. Удельная сто-

Показатели систем вентиляции по главным корпусам
машиностроительных заводов (по данным ГПИ «Сантехпроект»)

Объект	Строительный объем здания, млн. м ³	Развернутая пло- щадь $F_{\text{П}}$, тыс. м ²	Производительность приточных устано- вок, млн. м ³ /ч	Удельный расход воздуха, м ³ /м ² ·ч	Площадь, занимае- мая приточными установками, $F_{\text{П}}$, м ²	Относительная площадь, занимае- мая приточными установками, $F_{\text{П}}/F_{\text{зд}}$, %
Ульяновский автоза- вод, главный кор- пус	2,1	191	12,2	65	16,9	8,8
Завод автомобильных агрегатов (ПО ЗИЛ) (механосборочный корпус)	1,1	122	6,8	48	7,0	5,7
Волжский автомо- бильный завод, главный корпус	7,8	1163	23,0	28	100	8,6
Калининский вагоно- строительный за- вод им. М. И. Ка- линина корпус ма- лых серий	1,06	64,3	3,5	65	5,3	8,3
Алтайский вагоно- строительный за- вод им. газеты «Правда», корпус вагоностроения . .	1,23	98,5	5,5	55	5,0	5,0
Филиал завода авто- матических линий (г. Барановичи), главный корпус . .	1,28	93,6	2,9	31	6,3	6,6

имость вентиляционных систем, отнесенная к квадратному метру площади крупного блокированного корпуса, выше по сравнению со стоимостью отдельно стоящего здания небольших размеров. Объясняется это в первую очередь тем, что в связи с большими размерами в плане блокированных корпусов резко уменьшаются возможности использования естественной вентиляции, за счет аэрации удастся вентилировать лишь крайние пролеты, примыкающие к наружным стенкам здания.

Из табл. 14.1 видно, что объемы воздуха, подаваемого механическим путем в блокированные корпуса, достигают огромных величин, измеряемых миллионами, а иногда и десятками миллионов кубических метров в час.

Средние удельные расходы наружного необработанного воздуха, отнесенные к квадратному метру площади здания, находятся в пределах 40—65 м³/ч·м².

Применение адиабатического охлаждения воздуха позволяет существенно уменьшить удельные расходы, о чем свидетельствуют показатели по главному корпусу ВАЗа [5].

Следует подчеркнуть, что на современных машиностроительных заводах-гигантах в самостоятельных блокированных корпусах размещаются не только производства, связанные с главным сборочным конвейером, но и такие цехи, как литейные, термические, гальванические.

В табл. 14.2 по данным «Промстройпроекта», приводятся укрупненные показатели по некоторым корпусам одного из автомобильных заводов. Установочная мощность электродвигателей вентиляционных установок достигает значительных величин, измеряемых тысячами киловатт (табл. 14.2). При этом удельная мощность, отнесенная к квадратному метру производственной площади в главном корпусе сборки автомобилей, составляет $0,045 \text{ кВт/м}^2$; в литейном серого и ковкого чугуна этот показатель возрастает до $0,15$, а в сталелитейном цехе до $0,22 \text{ кВт/м}^2$.

Удельная стоимость $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ приточного воздуха в сталелитейном цехе достигает $0,63 \text{ р/м}^3$.

Для снижения стоимости вентиляционных систем необходимо:

а) снижение количества выделяющихся производственных вредных веществ главным образом путем рационализации технологических процессов и выпуска технологического оборудования в комплекте с местными отсосами;

б) уменьшение количества тепла, поступающего в здание извне, за счет сокращения площади остекления фасадов и фонарей, устройства более теплоизолированных и массивных кровель;

в) применения более эффективного и дешевого вентиляционного оборудования.

По данным Б. В. Баркалова, уменьшение на 1 м^2 остекления на любом фасаде здания, кроме северного, снижает расход вентиляционного воздуха в среднем на $240 \text{ м}^3/\text{ч}$ и установочную мощность отопления на 190 ккал/ч . Общая экономия, связанная с уменьшением одинарного остекления на 1 м^2 , составляет в среднем около 60 р . Таким образом, убыток от применения излишнего остекления весьма значителен.

Наряду с перечисленными мероприятиями снижение стоимости вентиляционных систем зависит также от рационального выбора; мест забора наружного воздуха и его транспортировки к приточным камерам (в подземных траншеях; в каналах, прокладываемых на кровле, на антресолях (площадках) встроенных пролетов); способа раздачи приточного воздуха в производственные помещения, способа организации выброса загрязненного воздуха в атмосферу.

Показатели систем вентиляции некоторых корпусов автомобильного завода

Корпус	Строительный объем здания, млн. м ³	Полезная площадь здания, тыс. м ²	Средняя высота здания, м	Количество воздуха, подаваемого приточными установками			Установочная мощность вентиляции		Стоимость отопления и вентиляции		
				всего млн. м ³ /ч	Удельный расход м ³ /м ² ·ч		общая	удельная на 1 м ²	в руб.		
					Средний	максимальный					
Главный	7,42	474,3	15,7	18,55	39	71	21 550	0,045	13,0	0,33	7,4
Двигателей	5,22	377,3	13,9	13,75	37	142	14 000	0,037	12,18	0,33	6,7
Прессово-рамный	5,56	322	17,4	9,29	29	266	10 500	0,033	7,86	0,27	5
Литейный серого и ковкого чугуна	4,57	378,5	12,1	29,0	77	145	56 380	0,150	25,55	0,33	11,7
Литейный цветного литья	1,63	123	13,3	7,79	63	172	10 350	0,084	19,3	0,31	9,6
Сталелитейный	1,32	88,7	14,9	5,26	59	387	19 500	0,220	37	0,63	13,6
Термогальванический	0,97	73,7	13,2	4,75	64	166	5 255	0,071	23,17	0,36	11,6
Термогальванический двигателей	0,92	70,7	13,0	5,5	78	260	5 000	0,071	20,85	0,27	10

14.2. ВЫТЯЖНЫЕ СИСТЕМЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ

В крупных блокированных цехах еще более актуальными становятся вопросы улавливания вредных выделений (пыли, газов и паров) непосредственно у мест их образования.

Только при таком подходе можно обеспечить регламентируемое санитарными нормами СН 245—71 состояние воздушной среды при одновременном снижении стоимости вентиляционных систем.

Лишь устройство местных отсосов воздуха позволяет на порядок и более повысить концентрации вредных примесей в удаляемом воздухе и тем самым организовать эффективное и экономичное их улавливание перед выбросом в атмосферу.

Эффективно работающие конструкции местных отсосов и необходимые объемы удаляемого от них воздуха для различных производственных процессов, выполняемых в цехах машиностроительных заводов, рассмотрены в главах 7—13 и могут быть рекомендованы для применения и в крупных блокированных корпусах. Специфичными для этих корпусов являются вопросы организации выбросов.

Заводы машиностроения по сравнению с другими отраслями промышленности, как правило, не являются источниками существенного загрязнения атмосферы, но сконцентрированные выбросы заблокированных конусов могут создавать опасность загрязнения окружающей среды.

Остановимся кратко на организации выбросов.

В зданиях большой ширины при необходимости забора наружного воздуха с крыши выброс вредных веществ как из технологических, так и вентиляционных систем не должен производиться в зону аэродинамической тени, которая возникает у здания при обдувании ее ветром. Выброс загрязненного воздуха через фонари и отдельные невысокие трубы с малым валовым количеством вредных веществ может быть допущен при условии, что при любом направлении ветра концентрации вредных веществ в наружном воздухе в местах его забора будут меньше 0,3 ПДК.

Опыт показывает, что в тех случаях, когда уделяется достаточно внимания вопросам очистки и организации выбросов удается обеспечить требуемую чистоту атмосферного воздуха на промышленных площадках машиностроительных заводов.

Воздух, удаляемый системами местной вытяжной и технологической вентиляции, содержащий достаточно большое валовое количество вредных выделений (например, выбросы литейных цехов), рекомендуется выбрасывать в атмосферу через высокие трубы, выводимые выше аэродинамической тени. Эти трубы не должны иметь на выходе зонтов, отражающих поток выбрасываемых выделений вниз.

Такое решение может обеспечить достаточную чистоту воздуха над кровлей и в результате в некоторых случаях представится

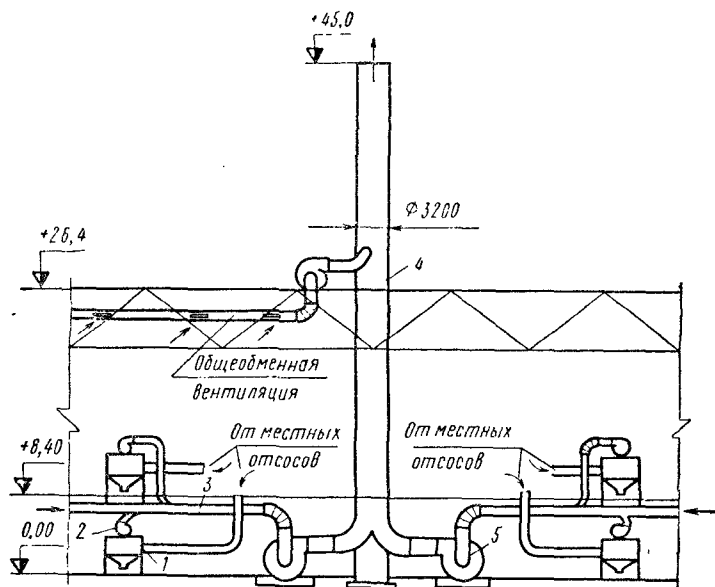


Рис. 14.1. Устройство местной и общеобменной вентиляции и организации выбросов в литейной серого и ковкого чугуна Камского автозавода (авторы Т. А. Николаевская, Г. Н. Уфимцев)

возможным избежать централизованных приемных устройств и отказаться от дорогостоящих магистральных воздухозаборных каналов.

На рис. 14.1 показано решение выбросов из литейного корпуса серого и ковкого чугуна Камского автомобильного завода (авторы Т. А. Николаевская и Г. Н. Уфимцев), позволившее отказаться от удаленных воздухозаборных устройств.

Загрязненный воздух, удаляемый местной вытяжной вентиляцией, проходит очистку в мокрых пылеуловителях 1 типа ротоклон или ПМК [25] и затем подается вентиляторами 2 (производительность каждого около 20 тыс. м³/ч) в магистральный вытяжной канал 3, прокладываемый под потолком первого этажа. Двумя дымососами 5, производительность каждого из которых около 250 тыс. м³/ч, воздух из магистрального канала подается в выбросную трубу 4, имеющую диаметр 3,2 м и высоту 45 м. В эту же трубу подается воздух, извлекаемый из верхней зоны цеха системами общеобменной вентиляции. По длине цеха установлено несколько десятков таких труб.

В крупных блокированных корпусах общеобменная вытяжка при постоянно действующем притоке может осуществляться по двум вариантам: 1) крышными вентиляторами, устанавливаемыми на кровле с зенитными фонарями; 2) через открывающиеся створки в П-образных фонарях.

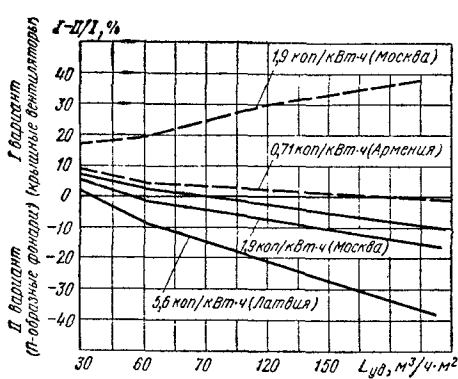


Рис. 14.2 Сравнение двух вариантов организации общеобменной вытяжки:

I — крышными вентиляторами на кровле с зенитными фонарями; *II* — через открывающиеся створки в П-образных фонарях; — — — если крышные вентиляторы позволяют отказаться от дальних воздухозаборов

Б. В. Баркаловым проведено технико-экономическое сопоставление этих двух вариантов для элемента здания размерами 24×24 м в плане при общей высоте 10 м и раз-

личных удельных воздушных нагрузках на 1 м^2 площади цеха.

При расчетах приняты производительность крышного вентилятора 44 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$; расход воздуха на 1 м^2 створки фонаря для литейных цехов 4 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ и для механосборочных цехов — 8 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$.

Результаты расчетов в виде соответствующих кривых приведены на рис. 14.2.

На оси абсцисс приведены удельные расходы удаляемого воздуха, приходящиеся на 1 м^2 пола здания, а на оси ординат — разность в приведенных затратах между вторым и первым вариантами, отнесенная к затратам по первому варианту и выраженная в процентах.

Из рис. 14.2 видно, что преимущество первого варианта (крышные вентиляторы) перед вторым (П-образные фонари) имеет место:

а) практически при любой стоимости электроэнергии и любых удельных расходах, если применение крышных вентиляторов исключает необходимость устройства дальних воздухозаборов для приточного воздуха;

б) при удельных расходах воздуха до $60 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ и стоимости энергии не более 1,9 коп/кВт·ч и $100 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$ при стоимости энергии 0,71 коп/кВт·ч. Удельные расходы воздуха по главным корпусам согласно табл. 14.1 и 14.2 в среднем не превышают $60 \text{ м}^3/\text{ч} \cdot \text{м}^2$, что определяет для них практически повсеместную выгодность первого варианта.

Для выброса загрязненного воздуха за пределы зоны аэродинамической тени предпочтительно применение крышных вентиляторов с удлиненными трубами без зонтов.

14.3. ПРИТОЧНЫЕ СИСТЕМЫ, ЗАБОР И ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ ВОЗДУХА

В отечественной практике приточная вентиляция крупных блокированных корпусов осуществляется, как правило, с помощью установок большой производительности. В качестве вентиляцион-

ного оборудования применяются типовые приточные камеры производительностью до 150 тыс. м³/ч и кондиционеры производительностью до 250 тыс. м³/ч.

В проектах корпусов сборки автомобилей Волжского и Камского автомобильных заводов, выполненных институтом «Промстройпроект», применены почти исключительно кондиционеры в адиабатическом охлаждении воздуха производительностью 120—250 тыс. м³/ч. Как показывает отечественный [4] и зарубежный опыт, центральные системы большой производительности долговечны, более надежны в работе и удобны в эксплуатации. В то же время одним из существенных их недостатков является большой расход электроэнергии, так как они работают при сравнительно высоких давлениях (120—160 кг/м²), что объясняется большой протяженностью магистральных каналов, по которым подводится наружный воздух к приточным камерам, а также значительной длиной нагнетательных воздуховодов. Например, длина воздуховодов, приходящаяся на одну систему, считая по наиболее длинному участку, в автосборочном корпусе ВАЗа достигает 500 м, из которых 250 м приходится на подземные тоннели, по которым подводится наружный воздух и столько же на нагнетательный воздуховод.

О центральных системах большой производительности в зарубежной литературе сообщается следующее.

Капитальные затраты на такую систему на 20—30% больше, чем на систему с крышными кондиционерами, но эксплуатационные расходы ниже, срок службы оборудования более продолжителен. Такие системы обычно устанавливаются на предприятиях, выпускающих продукцию, которая не может устареть в течение долгого времени, а также на большинстве заводов, где кондиционирование требуется по технологии, а следовательно, необходима большая надежность работы и централизованное управление системой.

Размещение приточных установок в крупных блокированных корпусах сопряжено со значительными трудностями.

Относительная потребность в площади для размещения кондиционеров $f_{уд}$, по материалам И. Т. Сенатова, зависит от средних удельных расходов приточного воздуха на 1 м² площади здания q и может быть ориентировочно определена из следующего выражения:

$$f_{уд} = \frac{1}{6} q^0\% \quad (14.1)$$

Например, при среднем удельном расходе адиабатически обработанного воздуха для механосборочных цехов автозаводов $q = 36$ м³/ч·м², необходимая площадь для размещения кондиционеров составит 6% обслуживаемой ими площади.

Размещение приточных камер вдоль фасадов здания нежелательно, так как лишает основные рабочие помещения естественного

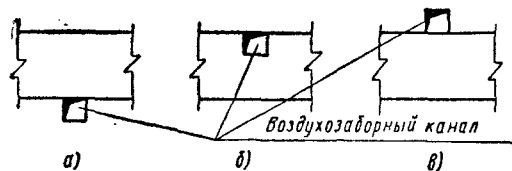


Рис. 14.3. Варианты размещения воздухозаборных магистральных каналов:

а — в подземной траншее; б — на площадке встроенного пролета; в — на кровле здания

освещения через окна. В связи с тем, что высота помещений, необходимых для размещения приточных установок большой производительности, равна 8—10 м, расположение их в подвальных помещениях сопряжено со значительными трудностями. В последнее время практикуется размещение приточных установок в специальных встроенных пролетах, в которых, кроме того, размещаются основные бытовые помещения и столовые корпуса. В этих же пролетах прокладываются общие магистральные каналы, из которых происходит забор наружного воздуха вентиляторами приточных камер с последующей подачей его в цех. Магистральные каналы размещают также на кровле. На рис. 14.3 схематически показаны возможные варианты забора и транспортирования наружного воздуха для снятия приточной вентиляции крупных блокированных корпусов.

Пропускная способность воздухозаборных каналов, присоединяемых к всасывающей стороне параллельно работающих приточных установок, как правило, составляет 20—40 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 поперечного сечения и поэтому при необходимости подачи через один канал значительных объемов воздуха, измеряемых миллионами кубических метров в час, эти каналы достигают больших размеров.

На рис. 14.4 представлены схемы забора наружного воздуха и его транспортирования для двух главных корпусов сборки автомобильных заводов. Прием наружного воздуха осуществляется с фасадов здания и транспортирование его к приточным камерам

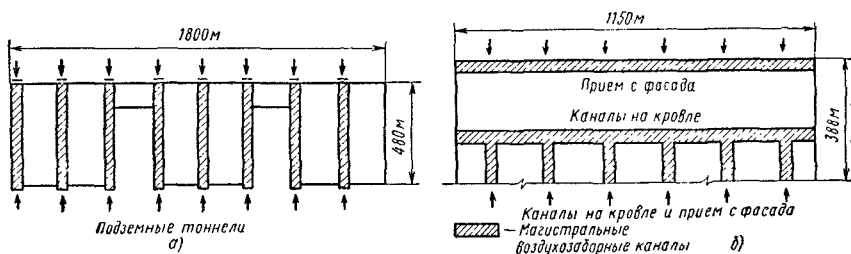


Рис. 14.4. Схемы размещения воздухозаборных магистральных каналов в главных корпусах автозаводов:

а — главного корпуса сборки автомобилей ВАЗа (25 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$); б — главного корпуса сборки автомобилей КАМАЗа (18,5 млн. $\text{м}^3/\text{ч}$)

осуществляется по подземным траншеям. Максимальное расстояние от места забора до приточной установки составляет ~ 250 м. Приблизительно $1/3$ наружного воздуха забирается с фасада и подается в цех, а $2/3$ наружного воздуха поступает к приточным камерам по каналам, прокладываемым на кровле. Максимальное расстояние от места забора наружного воздуха в этом случае равно ~ 120 м.

Данные Б. В. Баркалова, характеризующие воздухозаборные каналы и расход электроэнергии на транспортирование воздуха к приточным камерам, приведены в табл. 14.3. Из таблицы видно, что на прием наружного воздуха тратится 18,8—34,5% электроэнергии, расходуемой на приточную вентиляцию. При этом с увеличением длины воздухозаборного канала существенно возрастает и процент потребляемой мощности. Для крупных блокированных корпусов в настоящее время, как правило, забор приточного воздуха осуществляется из удаленных от места выбросов зон, расположенных на фасаде здания.

В случае, если воздухозаборный канал прокладывается вдоль или поперек всего корпуса, целесообразно предусматривать воздухоприемные устройства на двух противоположных сторонах канала. При этом рекомендуется в местах приема воздуха установка автоматических устройств с тем, чтобы при изменении направления ветра обеспечивать забор приточного воздуха с того фасада здания, где воздух более чист.

В тех случаях, когда удастся организовать выброс всех технологических и вентиляционных вредных выделений при помощи высоких труб за зону аэродинамической тени, принципиально возможным становится применение децентрализованных приточ-

Таблица 14.3

Характеристика воздухозаборных магистральных каналов

Показатель	Схема размещения воздухозаборного канала	
	на рис. 14.4, а	на рис. 14.4, б
Суммарная производительность приточных систем, млн. $\text{м}^3/\text{ч}$	25	18,55
Максимальное расстояние от места забора наружного воздуха до приточной камеры, м	250	120
Скорость воздуха в воздухозаборных каналах, $\text{м}/\text{с}$	4,3—13,5	3—11
Воздушная нагрузка на м^2 поперечного сечения воздухозаборного канала, тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$	15,5—48,5	10,8—40
Потери давления в воздухозаборных каналах, $\text{кг}/\text{м}^2$	60	42
Расход мощности на транспортирование воздуха от заборных устройств приточных камер, кВт	6400	3360
То же, по отношению к мощности, необходимой для приготовления и распределения воздуха, %	34,5	18,8

ных установок, забирающих воздух из пространства над кровлей (с отказом от магистральных воздухозаборных каналов). В этих условиях целесообразно подачу приточного воздуха осуществлять приточными агрегатами сравнительно малой производительности (40—50 тыс. м³/ч), располагаемыми на кровле или в межферменном пространстве цеха и не имеющими длинной сети магистральных и воздухоподающих каналов.

По данным зарубежного опыта, крышные децентрализованные установки имеют ряд преимуществ.

При серийном производстве такие установки требуют значительно меньших (по сравнению с централизованными системами) капитальных затрат. Может быть организован ускоренный монтаж таких крышных агрегатов заводского изготовления. Крышные системы применяют в зарубежной практике в цехах сравнительно небольшой высоты (до 8—10 м), в которых предполагаются частые изменения в технологических процессах и расстановке оборудования. Крышные системы способны более гибко реагировать на эти изменения.

Однако обслуживание крышных систем представляет значительные трудности, так как работы приходится выполнять на кровле или в межферменном пространстве. Работы на кровле особенно затруднительны в условиях продолжительного холодного сезона.

В отечественной практике в настоящее время пока нет опыта применения для крупных блокированных корпусов децентрализованных решений с использованием вентиляционного оборудования, располагаемого на кровле или в межферменном пространстве. Однако ряд специалистов [21] высказывается о целесообразности применения таких решений.

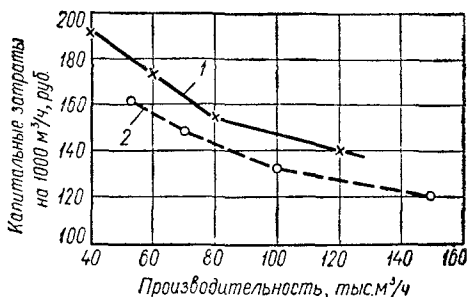
При организации выпуска такого оборудования следует иметь в виду, что удельные капитальные затраты на производство оборудования, отнесенные, например, к 1000 м³/ч приточного воздуха, тем больше, чем меньше производительность оборудования. Об этом можно косвенно судить и по данным, приведенным на рис. 14.5. Следовательно, местные приточные агрегаты и кондиционеры, например, средней производительностью 40 тыс. м³/ч могут оказаться конкурентоспособными по капитальным затратам с центральными установками производительностью 120 тыс. м³/ч при снижении стоимости производства местных агрегатов в 1,5, а иногда и в 2 раза. Это возможно лишь при организации широкого серийного производства местных приточных агрегатов и кондиционеров, предназначенных для размещения на кровле и в межферменном пространстве.

Как уже отмечалось, в отечественной практике для вентиляции крупных блокированных корпусов в настоящее время применяют централизованные системы приточной вентиляции.

Различное размещение приточных центров и воздухозаборных каналов, а также различие в принимаемой производительности

Рис. 14.5. Капитальные затраты на вентиляционное устройство по данным ГПИ «Сантехпроект»:

1 — кондиционеры; 2 — приточные камеры



вентиляционного оборудования приводит к разным величинам как капитальных затрат на их сооружение, так и расходов на их эксплуатацию.

Капитальные затраты на устройство вентиляционных систем на предприятиях машиностроения в расчете на 1000 м³/ч приточного воздуха, по данным государственного проектного института «Сантехпроект», колеблются в пределах 140—370 р. При этом капитальные затраты непосредственно на вентиляционные устройства (включая автоматику) находятся в пределах 125—195 р., а капитальные затраты на строительство помещений, занимаемых вентиляционными системами, составляют от 30 до 170 р. на 1000 м³/ч приточного воздуха. На рис. 14.5 приведена зависимость удельных капитальных вложений непосредственно на вентиляционные устройства от характеристики основного оборудования (кондиционеры КТ40—КТ120 и приточные камеры ПК-50—ПК-150) и от номинальной производительности этого оборудования. Из рис. 14.5 видно, что применение вентиляционных агрегатов более высокой производительности позволяет снизить удельные расходы.

Капитальные затраты на строительство помещений под вентиляционное оборудование зависят от места расположения приточных камер.

Проведенный ГПИ «Сантехпроект» анализ показал, что наименьшую сметную стоимость имеет площадь на антресолях встроенных пролетов. Если ее принять за единицу, то стоимость площади в надстройках на кровле составит 1,4, на отметке 0,0—1,8 и в подвале — 1,9.

С увеличением производительности применяемого вентиляционного оборудования удельные капитальные затраты на строительство помещений имеют также тенденцию уменьшаться.

Из приведенных данных следует, что наиболее экономичным является расположение вентиляционного оборудования на площадках (антресолях), встроенных пролетов с размещением под ними на отметке 0,00 технологического оборудования, не требующего применения кранов или вспомогательных помещений (мастерские, кладовые, конторские помещения и т. п.). В тех случаях, когда устройство площадок (антресолей) не представляется возможным, необходимо рассматривать другие варианты размещения вентиляционного оборудования — на кровле или на отметке 0,00.

Технико-экономические сопоставления следует проводить в полном объеме по приведенным затратам, учитывающим как капитальные, так и эксплуатационные расходы.

14.4. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА

Санитарно-гигиеническая эффективность систем вентиляции и воздушного отопления существенно зависит от принятого способа раздачи приточного воздуха.

Специфика крупных блокированных корпусов заключается в том, что в них зачастую под одной кровлей размещаются различные производства (сварка, сборка, механическая обработка, термическая обработка, гальванопокрытия, окраска и др.), нуждающиеся для поддержания требуемого состояния воздушной среды в вентиляции различной интенсивности.

Расчет необходимой производительности местных отсосов, а также общеобменной вытяжной и приточной вентиляции следует производить по отдельным зонам блокированного корпуса с учетом размещаемого производственного оборудования и выделяющихся в воздух цеха вредных выделений. В связи с этим требуемые удельные воздушные нагрузки на единицу площади пола в той или иной зоне корпуса различны и могут отличаться в несколько раз: так, например, при подаче адиабатически охлажденного наружного воздуха в механосборочных цехах высотой 10—15 м удельные нагрузки равны 30—40 м³/ч·м², а в цехах гальванопокрытий, окраски и термической обработки они могут достигать соответственно 130, 150 и 200 м³/ч·м².

Разводку и раздачу приточного воздуха в крупных блокированных корпусах рекомендуется осуществлять с учетом необходимых удельных нагрузок по отдельным пролетам.

При подаче в корпус кондиционированного воздуха или приточного воздуха, адиабатически охлажденного, считается целесообразным производственные площади, на которых большая часть приточного наружного воздуха расходуется на восполнение местных отсосов (цехи металлопокрытий, окраски), отделить от кондиционируемой зоны корпуса (полностью или перегородками, не доходящими до пола) и осуществлять в выгороженные зоны подачу необработанного наружного воздуха.

При этом в выгороженные зоны следует подавать несколько меньше наружного воздуха, чем это требуется для компенсации вытяжки с тем, чтобы в них поддерживалось разрежение по отношению к кондиционируемым зонам корпуса.

В цехах с избытками явного тепла (механосборочные, механической обработки металла), а также в цехах, в которых тепловыделения сопровождаются выделениями вредных веществ (кузнечно-прессовые, термические, литейные) подачу приточного воздуха для повышения эффективности его использования следует производить в рабочую зону, т. е. горизонтально направленными

струями с высоты до 4 м или вертикальными струями с высоты до 6 м.

Подача в рабочую зону вертикальными струями с высоты до 6 м в блокированных корпусах, имеющих сравнительно большую высоту, практически не осуществима.

Для обеспечения большей гибкости систем воздухораспределения, что особенно необходимо в системах вентиляции (или кондиционирования), совмещающих функции воздушного отопления, следует применять воздухораспределители, имеющие приспособления для регулирования направления движения воздушной струи. При этом воздухораспределители, располагаемые в труднодоступных местах, рекомендуется оборудовать регуляторами с дистанционным управлением.

Следует подчеркнуть, что в цехах с тепловыделениями при жаркой погоде для создания благоприятных условий труда мощным фактором является возможность обеспечения при необходимости повышенных скоростей воздуха на рабочих местах. Это особенно эффективно в сочетании с испарительным охлаждением подаваемого в цех наружного воздуха. Для подачи воздуха в рабочую зону механосборочных цехов на высоте до 4 м от пола могут быть рекомендованы регулируемые приколлонные воздухораспределители серии НРВ двух- и четырехструйные [5].

Воздухораспределители имеют управляемые с пола регуляторы, позволяющие обеспечивать выпуск воздуха горизонтальными или наклоненными к горизонту под углом до 30° (вниз или вверх) неполными веерными струями с начальным углом раскрытия около 90° в горизонтальной плоскости. Воздухораспределители размещаются по схеме, показанной на рис. 14.6.

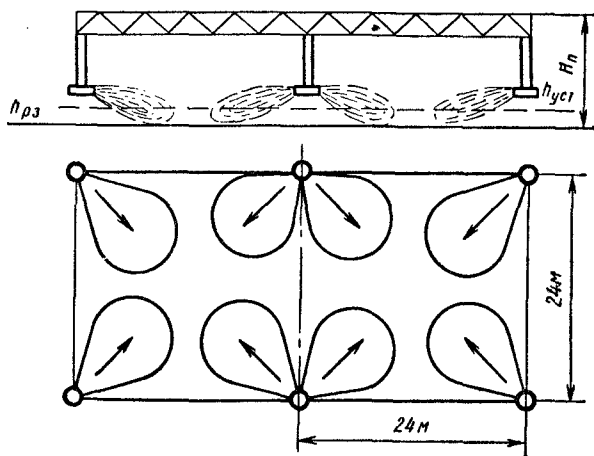


Рис. 14.6. Схема установки приколлонных воздухораспределителей НРВ

Как видно из рис. 14.6, внедрение струи в поток происходит под некоторым углом сверху вниз.

Расчет затухания скоростей и избыточных теплов ведется по формулам прямого потока.

Значения коэффициентов m , n приведены в табл. 1.6.

Определение удельного расхода воздуха, не ассимилирующего избытков тепла в теплый период года производится по формуле

$$L_{уд} = \frac{m_t Q_{уд}}{c (t_{pz} - t_0)} k_n k_k,$$

где $Q_{уд}$ — количество избыточного тепла в ккал период года, приходящееся на 1 м^2 площади пола

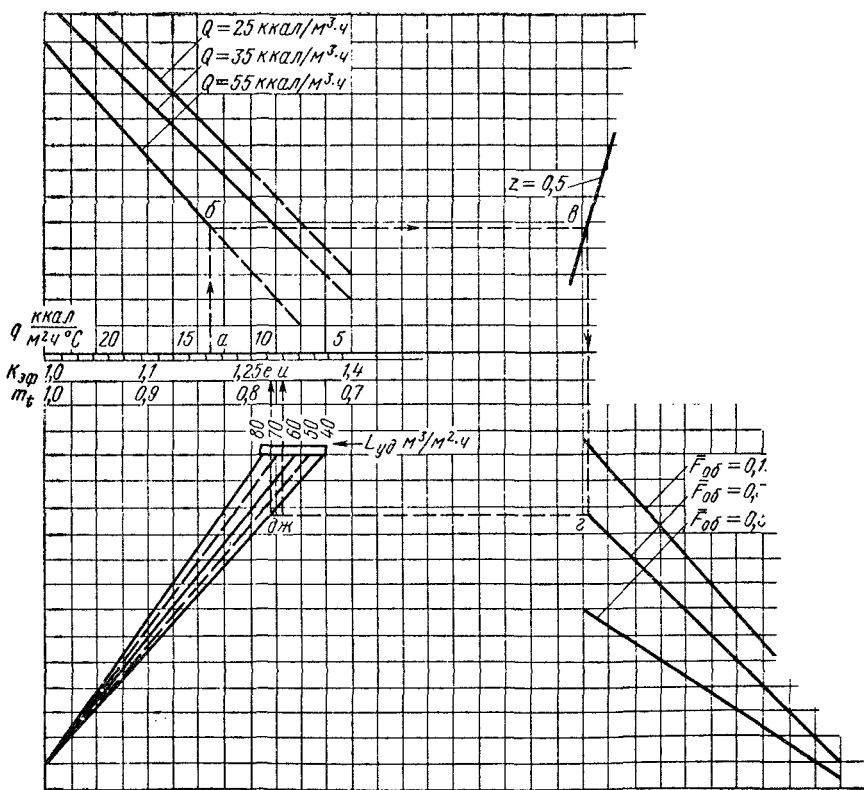
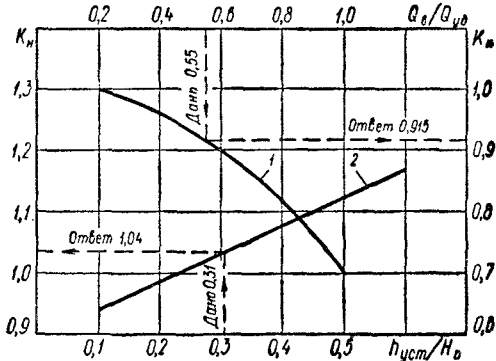


Рис. 14.7. Номограмма для определения коэффициента m_t (k_L) при раздаче через воздухораспределитель НРВ

Рис. 14. 8. График для определения коэффициентов, учитывающих высоту установки воздухо-распределителей НРВ и относительные теплоступления за счет солнечной радиации



коэффициент, учитывающий расслоение температур по высоте и являющийся обратной величиной k_L , (определяется по номограмме рис. 14.7); k_n — коэффициент для учета относительной высоты

установки воздухораспределителя, определяемый по кривой 1 на рис. 14.8; k_k — коэффициент для учета отражения части тепла солнечной радиации подвесным конвейером (или другим оборудованием), расположенным над рабочей зоной цеха; определяется по кривой 2 на рис. 14.8.

Для определения коэффициентов m_t и k_k по номограмме на рис. 14.7 необходимы также следующие данные:

Q_v — удельное количество избыточного тепла в ккал/м²·ч, поступающего от солнечной радиации; $q = \frac{Q_{уд}}{t_{рз} - t_0}$ — удельные избытки явного тепла, приходящиеся на 1° С рабочей разности температур

ккал/м²·ч° С; $\bar{F}_{об} = \frac{F_{об}}{F_n}$ — удельная площадь пола, занятая оборудованием, выделяющим тепло; $\bar{z}$ — удельная тепловая мощность источника тепла в пределах площади, обслуживаемой одним четырехструйным (или двумя двухструйными) воздухо-распределителем НРВ ($z = 0,5$ при двух источниках, 0,2 — при пяти источниках и 0,05 при 20 источниках).

Первоначально определяется необходимый удельный воздухообмен $L_{уд}$ по формуле (14.2). без учета поправок. Затем для конкретных условий, характеризующихся, например, как это показано на номограмме (рис. 14.7), $q = 13,7$ ккал/м²·ч; $Q_v = 55$ ккал/м²·ч, $\bar{z} = 0,5$ и $\bar{F}_{об} = 0,3$ находят величину $m_t = 0,78$ (ломаная а—б—в—г—д—е) и уточняют значение удельного воздухообмена $L'_{уд} = L_{уд}$. Повторив расчет по номограмме (ломаная а—б—в—г—ж—и) при $L_{уд}$, находят окончательную величину $m_t = 0,77$.

По графику на рис. 14.7 при известной относительной высоте установки воздухораспределителя $\frac{h}{H_n}$ (здесь H_n — высота помещения) и относительной доле теплоступлений за счет радиации

$\frac{Q_{\text{в}}}{Q_{\text{уд}}}$ определяют коэффициенты k_n и k_k ; затем определяют окончательную величину потребного удельного воздухообмена

$$L'_{\text{уд}} = L_{\text{уд}} m' k_n k_k \quad (14.3)$$

и величину воздухообмена на модуль $L_{\text{мод}} = L_{\text{уд}} F_{\text{мод}}$, где $F_{\text{мод}}$ — площадь модуля, обслуживаемого одним воздухораспределителем.

При обслуживании цеха площадью 24×24 м одним четырехструйным воздухораспределителем серии НРВ и при расстоянии между колоннами по диагонали 34 м оптимальным можно считать внедрение струи в рабочую зону на расстоянии 8—10 м от места выпуска.

По формулам, приведенным в табл. 2.1, при $x = 8 \div 10$ м определяют максимальную скорость v_x и перепады температур Δt_x .

Учитывая, что воздухораспределитель снабжен регулирующими лопатками, позволяющими при необходимости изменять место внедрения струи в рабочую зону и тем самым направлять ее вне постоянных рабочих мест, представляется возможным за допускаемую принимать среднюю скорость в струе, т. е. $v_x = 2v_{\text{доп}}$.

При определении воздухообмена в случае необходимости уменьшить v_x следует принимать воздухораспределитель большего номера и тем самым уменьшать скорость выпуска v_0 . В холодный период года рекомендуется направлять теплый воздух под углом $20\text{—}30^\circ$ С вниз и для данного типа насадка и характерного модуля ограничивать нагревание приточного воздуха так, чтобы

$$Ar_0 \leq 0,0055.$$

Как показали исследования [5], применение регулируемых воздухораспределителей НРВ по сравнению с воздухораспределителями ВЭС в механосборочных цехах позволяет уменьшить величину m_t , а тем самым и потребный воздухообмен в среднем на 25%, о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 14.4.

Воздухораспределители типа ВЭС в последние годы находят применение в отечественной практике проектирования систем вентиляции и воздушного отопления и в том числе при проектировании крупных блокированных цехов.

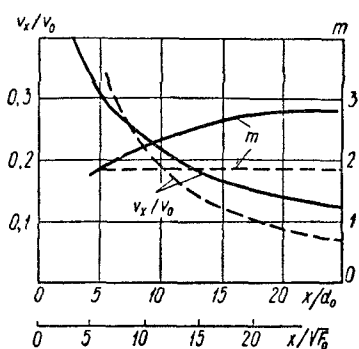
Воздухораспределители ВЭС выпускаются пяти номеров: № 8 ($d_0 = 800$ мм), 10, 12,5, 14 и 16.

Кривые, характеризующие интенсивность падения скоростей в струе, выпускаемой через воздухораспределитель ВЭС и веерную решетку, представлены на рис. 14.9.

Наряду с определенным достоинством (сравнительная простота конструкции) воздухораспределители ВЭС обладают и существенными недостатками: они энергоемки ($\xi = 5,2$) и не имеют приспособлений для изменения направления приточной струи.

Широкое применение воздухораспределителей типа ВЭС объясняется тем, что заводы до последнего времени не выпускают воздухораспределителей другого типа таких же номеров.

Рис. 14.9. Интенсивность падения скоростей и температур при выпуске воздуха через воздухоораспределитель ВЭС ($\beta = 50^\circ$, $\xi = 5,2$) и веерную решетку ($\beta = 90^\circ$, $\xi = 1,0$);
 — — — воздухоораспределитель ВЭС;
 — — — веерная решетка



Повышенное сопротивление воздухоораспределителей ВЭС приводит при высоких скоростях истечения к значительным перерасходам электроэнергии.

ВНИИОТом совместно с одним из проектных институтов разработана новая решетка с регулированием направления выходящей из нее неполной веерной струи.

Решетка ($\alpha = 90^\circ$), аэродинамическая схема которой показана на рис. 14.10, создает струю, имеющую темп падения скоростей и избыточных температур приблизительно такой же, как и при

Таблица 14.4

Данные о коэффициентах расслоения температур при распределении воздуха в механосборочных корпусах через воздухоораспределители серии НРВ и ВЭС в теплый период года

Удельная тепловая нагрузка, ккал/м ²	Количество групп стайков, приходящихся на один воздухоораспределитель	Значения коэффициентов расслоения для воздухоораспределителей		Отношение коэффициентов расслоения ВЭС / НРВ %
		НРВ	ВЭС	
60	5	0,88	1,04	118,2
	2	0,79	1,04	131,6
80	5	0,92	1,07	116,3
	2	0,82	1,07	130,5
100	5	0,93	1,1	118,3
	2	0,83	1,1	132,5
120	5	0,96	1,21	126,0
	2	0,96	1,21	126,0
В среднем	—	0,886	1,105	124,9

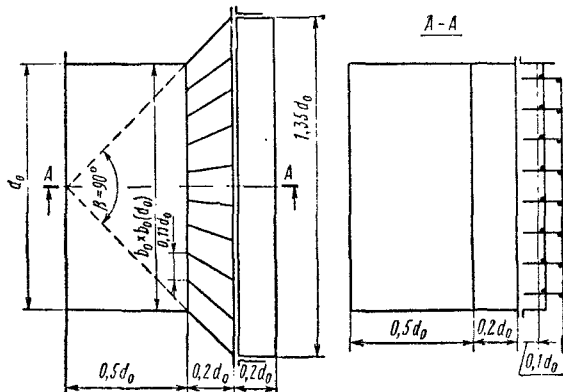
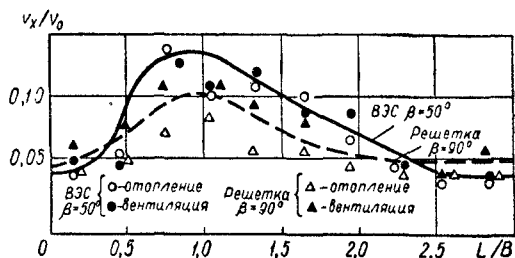


Рис. 14.10. Аэродинамическая схема вер-
ной решетки ($\beta = 90^\circ$)

Рис. 14.11. Распределение
скоростей в рабочей зоне по-
мещения при выпуске воз-
духа через воздухораспреде-
литель ВЭС ($\beta = 50^\circ$) и ве-
рную решетку ($\beta = 90^\circ$)



истечении через ВЭС. В то же время коэффициент сопротивления решетки равен 1,0, т. е. в 5 раз меньше, чем у ВЭСа.

Проведенные ВНИИОТом совместно с проектным институтом исследования на модели позволили выявить характер распределения скоростей и температур в рабочей зоне помещения (рис. 14.11) при выпуске воздуха через ВЭС и через верную решетку. Выпуск воздуха осуществлялся с одинаковыми скоростями на истечении, равными 12 м/с (в натуре $L_0 = 84\,600\text{ м}^3/\text{ч}$) через воздухораспределители ВЭС № 16 и верную решетку № 16, установленные на одинаковой высоте ($\sim 15\text{ м}$ в натуре), под одинаковым углом к горизонту $\alpha = 30^\circ$.

Как видно из рис. 14.11, при выпуске через верную решетку в рабочей зоне создается равномерное распределение скоростей и температур.

Применение верной решетки № 16 вместо воздухораспределителя ВЭС № 16 дает годовую экономию средств на электроэнергию: при односменной работе $\sim 500\text{ р.}$, при двухсменной работе $\sim 1000\text{ р.}$ и при трехсменной работе — 1500 р.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что при проектировании необходимо применять воздухораспределители со сравнительно малым гидравлическим сопротивлением.

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

15.1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ

Колебания параметров наружного воздуха, тепло- влаго- и газовыделений в помещении, а также ряд других факторов приводят к необходимости постоянного регулирования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (систем О, В и КВ). Отсутствие регулирования может вызывать отклонение параметров в помещении от нормируемых (переохлаждение или перегрев), а следовательно, ухудшение самочувствия работающих и перерасход электроэнергии, тепла или холода. Регулирование может производиться вручную или автоматически. Ручное регулирование характеризуется низкой точностью и требует значительного количества обслуживающего персонала. Автоматическое регулирование обеспечивает точное поддержание требуемых условий воздушной среды в помещениях, повышает надежность и безаварийность работы систем и, кроме того, дает ощутимый экономический эффект благодаря сокращению обслуживающего персонала, а также экономии тепла, холода и электроэнергии. Экономия тепла составляет 10—15% общего расхода при автоматизации систем отопления и приточной вентиляции и достигает 20—25% при автоматизации приточных и вытяжных вентиляционных систем [3].

Автоматизация систем О, В и КВ включает в себя контроль, управление, автоматическое регулирование, блокировку и защиту оборудования.

Контроль можно осуществлять дистанционно с диспетчерского пульта и на месте. С диспетчерского пункта контролируют лишь основные параметры, характеризующие работу систем в целом: параметры воздуха в обслуживаемых помещениях, температуры наружного и приточного воздуха, а также параметры тепло- и холодоносителей, концентрации вредных и взрывоопасных веществ. Кроме дистанционного контроля параметров, изменение которых может привести к аварии, предусматривается звуковая или световая сигнализация.

Автоматическое регулирование и блокировка предусматриваются во всех системах кондиционирования воздуха, в большинстве

систем приточной, вытяжной и общеобменной вентиляции, воздушного отопления, для защиты калориферов от замораживания и в других случаях, предусмотренных СНиП II.33—75. В системах центрального отопления автоматическое регулирование применяется при разделении систем на зоны с учетом ориентации здания, влияния ветра, солнечной радиации, тепловыделений.

В общем виде структурная схема процесса регулирования заключается в следующем: возмущающее воздействие (например, изменение температуры в помещении) воспринимается чувствительным элементом регулятора (датчиком), преобразуется в нем, затем усиливается и сравнивается с заданной величиной. Образовавшийся в результате сравнения импульс поступает в исполнительный механизм, который приводит в действие регулирующий орган. Регулирующий орган действует на объект регулирования так, чтобы препятствовать возмущению (изменяет, например, расход теплоносителя через нагревательный прибор). Таким образом случайному возмущающему воздействию система автоматического регулирования противопоставляет целенаправленное противодействие, приводящее систему объект регулирования — регулятор к равновесию.

Для автоматического регулирования систем О, В и КВ используются регуляторы с электрическими и пневматическими импульсными связями, а также регуляторы непосредственного действия.

Электрические регуляторы просты в монтаже, имеют большой радиус действия, допускают значительное перестановочное усилие для перемещения регулирующего органа, а также позволяют реализовать сложные функциональные взаимосвязи между отдельными элементами автоматизированного оборудования. К недостаткам электрических регуляторов следует отнести наличие искрящих контактов в ряде элементов, что ограничивает их применение во взрывоопасных помещениях, а также высокую первоначальную стоимость. Пневматическая аппаратура значительно дешевле, проще в изготовлении, настройке и эксплуатации, более надежна, менее подвержена коррозии, пожаро- и взрывобезопасна.

Недостатками пневматических регуляторов являются необходимость подвода, редуцирования и очистки сжатого воздуха и меньший, чем у электрических, радиус действия, а также большие габаритные размеры.

В пневмоэлектрических системах часть приборов с электрическими импульсными связями (обычно терморегуляторы), а другая часть — с пневматическими (исполнительные механизмы).

Регуляторы непосредственного действия просты в монтаже и эксплуатации, но имеют небольшой (2—6 м) радиус действия. Их применяют обычно для автоматизации работы и блокировки воздушно-отопительных агрегатов, сушильных камер, систем отопления и кондиционирования воздуха с местными доводчиками, местных отсосов и укрытий, для поддержания постоянной температуры или давлений теплоносителя и т. д.

Существующими техническими средствами можно обеспечить позиционное, пропорциональное, астатическое, изотропное регулирование. В системах О и В применяются наиболее простые законы регулирования, в системах КВ — более сложные.

При выборе автоматического регулирования следует учитывать конкретные условия, вид имеющейся энергии, экономическую сторону вопроса, динамические свойства объекта регулирования, требования к точности поддержания параметров в помещении, технической эстетики и пожароопасности производства.

В цехах прецизионного станкостроения, а также в литейных, термических и кузнечных цехах, учитывая большую их протяженность, целесообразно использовать приборы с электрическими связями. В малярных и гальванических цехах, а также на ацетиленовых станциях в связи с выделением в воздух помещения взрывоопасных паров и газов, а также веществ, вызывающих коррозию металлов, как правило, следует применять пневматические приборы.

Большое влияние на эффективность автоматизации оказывает место расположения датчика регулятора. При установке датчика в воздуховоде постоянно поддерживается температура подаваемого воздуха, а температура в помещении является функцией тепловой нагрузки. Такое расположение датчика применяют при подаче воздуха в рабочую зону, а также когда в обслуживаемом помещении не предвидятся резкие колебания теплоступлений. В случае установки датчика в помещении система автоматики будет поддерживать в цехе постоянную температуру. Такая схема, рекомендуется при подаче воздуха в верхнюю зону помещения воздушном отоплении и в системах центрального отопления. Датчик температуры устанавливают в рабочей зоне помещения на высоте 1,5—1,8 м от пола в местах, не подверженных непосредственному воздействию приточных струй и источников тепла или холода.

Регулирование параметров воздуха в помещении осуществляется либо изменением расхода или температуры теплоносителя (качественное регулирование), либо изменением расхода воздуха (количественное регулирование), либо тем и другим способами (количественно-качественное регулирование). Последний вид регулирования, являясь наиболее экономичным, рекомендуется для крупных систем В и КВ, а также для обеспечения подачи минимального количества наружного воздуха в холодный период года.

Смешанное регулирование одновременно и по теплоносителю, и по воздуху не дает положительных результатов.

15.2. ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ

В системах О, В и КВ цехов машиностроительных заводов основными регулируемыми параметрами являются температуры воздуха и теплохолодоносителей, влажность воздуха, расходы воздуха и воды, а также концентрации вредных веществ.

Для автоматизации этих систем применяют серийные элементы и приборы, подробно описанные в специальной литературе [2]. Наиболее широко в системах О, В и КВ используют *терморегуляторы*, чувствительными элементами которых служат жидкостные, биметаллические и dilatометрические термометры, проволоочные и полупроводниковые терморезисторы, термопары, а также манометрические термосистемы. Для двух-, трехпозиционного и пропорционального регулирования служат полупроводниковые терморегуляторы типа ПТР.

При необходимости поддержания температуры в помещении в зависимости от температуры наружного воздуха используют пропорциональный терморегулятор с автокоррекцией по температуре наружного воздуха типа ПТРП-А. При двухпозиционном регулировании применяют биметаллические камерные терморегуляторы типа ДТКБ, манометрические электроконтактные термометры типа ЭКТ, датчики-реле температуры Т1780 и др. В пневматических системах используется комплект приборов системы «Старт», а также биметаллические (типа РТБП), dilatометрические (типов ДТБПМ и ТУДП) и манометрические (типа ТРП) терморегуляторы.

Влагорегуляторы применяют в основном в системах КВ. Выпускаются влагорегуляторы для двухпозиционного (типов СПР-102 и СПР-104) и трехпозиционного (типа РВТ-110) регулирования, а также приборы для контроля (ВПГ-103), регистрации и регулирования влажности (типа УДРОВ).

Регуляторы давления и расхода используются как для регулирования, так и для сигнализации о работе систем О, В и КВ. Для воздушных потоков применяют колокольные и мембранные дифманометры и реле расхода, для потоков жидкости — грузовые астатические и статические регуляторы непосредственного действия.

Для определения токсичных и взрывоопасных веществ в воздухе служат различные *автоматические газоанализаторы* и *сигнализаторы*. Они могут обеспечивать и позиционное, и пропорциональное регулирование, но в системах О, В и КВ машиностроительных производств используются сравнительно редко, в основном как сигнализаторы. Причиной этого являются большие габариты, масса и высокая стоимость (1,5—3 тыс. руб.).

Исполнительные механизмы применяют электрические соленоидные (типов СВВ, СВА, СВМ) для двухпозиционного управления клапанами на трубопроводах и моторные двухпозиционные (типа ДР-1М) и пропорционального (ПР-1М и серии МЭО) действия, а также пневматические типов МПП, МИМ и МИМП.

Регулирующими органами в системах О, В и КВ служат на трубопроводах проходные и трехходовые клапаны (вентили), а для регулирования воздушных потоков — створчатые клапана (заслонки) параллельные и оппозитные. Подбор регулирующих органов производится по результатам расчетов [3]. Подчеркнем

лишь, что удовлетворительное регулирование получается при величине потери давления среды в открытом клапане не менее 50% потери давления на всем регулируемом участке, а это значит, что проходное сечение клапана должно быть, как правило, меньше сечения подводящего участка сети.

Регуляторы непосредственного действия (типов РТ, РТПД, ТРЖ и др.) устанавливаются, как правило, на трубопроводах тепло-холодоснабжения объектов О, В и КВ, обладающих большой тепловой инерцией (нагревательные приборы центрального отопления и т. п.).

15.3. СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ

Параметры теплоносителя, устанавливаемые на ТЭЦ, как правило, не соответствуют требуемым параметрам разных потребителей. Поэтому возникает необходимость дополнительного регулирования расхода тепла на абонентском вводе. На рис. 15.1, а показана одна из возможных схем, обеспечивающая заданное соотношение температур наружного воздуха (датчик 1) и теплоносителя (датчик 3) в соответствии с выбранным отопительным графиком.

Попасадное автоматическое регулирование учитывает неодинаковые внешние и внутренние тепловые воздействия на обслуживаемое помещение и может осуществляться по отклонению внутренней температуры в контрольных точках (рис. 15.1, б) или по возмущающему воздействию — изменению наружной температуры, скорости ветра, инсоляции (рис. 15.1, в). Последняя схема требует применения специальных датчиков комплексного учета наружных воздействий 10 или особых вычислительных устройств 9 и потому

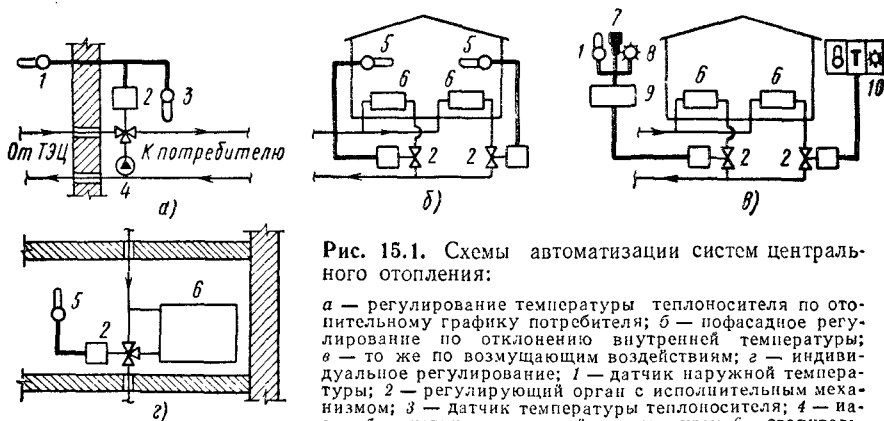


Рис. 15.1. Схемы автоматизации систем центрального отопления:

а — регулирование температуры теплоносителя по отопительному графику потребителя; б — попасадное регулирование по отклонению внутренней температуры; в — то же по возмущающим воздействиям; 1 — индивидуальное регулирование; 1 — датчик наружной температуры; 2 — регулирующий орган с исполнительным механизмом; 3 — датчик температуры теплоносителя; 4 — насос; 5 — датчик внутренней температуры; 6 — отопительный прибор или группа приборов; 7 — датчик ветра; 8 — датчик инсоляции; 9 — вычислительное устройство; 10 — датчик комплексного учета наружных воздействий

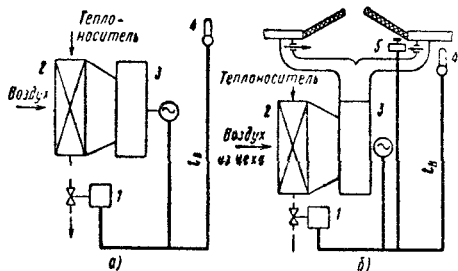


Рис. 15.2. Схемы автоматизации отопительно-вентиляционного агрегата (а) и воздушно-тепловой завесы (б):

1 — регулирующий орган с исполнительным механизмом; 2 — калорифер; 3 — вентилятор с электродвигателем; 4 — датчик температуры; 5 — конечный выключатель

применяется лишь на уникальных объектах. Схема регулирования по отклонению внутренней температуры (рис. 15.1, б), разработанная институтом Гражданпроект (г. Челябинск), учитывает все вносимые возмущения и монтируется из серийных элементов.

Индивидуальное регулирование отопительного прибора применяется в основном во вспомогательных помещениях и выполняется по простейшей схеме (рис. 15.1, 2).

При воздушном отоплении автоматизация отопительно-вентиляционных агрегатов (рис. 15.2, а) предусматривает двухпозиционное регулирование температуры воздуха в помещении пуском и остановкой вентилятора с одновременным открытием и закрытием подачи теплоносителя в калорифер.

При автоматизации воздушно-тепловых завес ворот (рис. 15.2, б) пуск электродвигателя вентилятора осуществляется конечным выключателем при открывании ворот. Одновременно увеличивается расход теплоносителя. После закрытия ворот воздушная завеса выключается по команде датчика температуры при достижении требуемой температуры в зоне ворот, а расход теплоносителя сокращается до минимума, обеспечивающего незамерзание калориферов.

15.4 СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРИТОЧНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Из-за малой тепловой инерции установок В и КВ регулирование температуры воздуха производится индивидуально в каждой установке. При теплоносителе воде регулирование нагрева воздуха осуществляется «по воде» воздействием расположенного в помещении ($t_{\text{в}}$) или в приточном воздуховоде ($t_{\text{пр}}$) терморегулятора 1 на регулирующий орган, установленный (при достаточном давлении теплоносителя) на обратном трубопроводе (рис. 15.3, а). При теплоносителе-паре регулирование осуществляется «по воздуху» путем пропускания части воздуха в обвод калорифера и прекращением подачи пара при пропускании всего воздуха через обвод (рис. 15.3, б).

В системах КВ и приточной вентиляции при расчетной температуре ниже -5°C должны быть предусмотрены автоматическая защита калориферов от замораживания, а также ряд конструктивных и технологических мероприятий (применение параллельно-перекрестного хода воздуха и теплоносителя, калориферов с плоскоовальными трубками и т. п.).

Автоматизация приточной вентиляционной установки (рис. 15.3, в) включает блокировку работы вентилятора и воздухоприемного клапана, защиту калорифера от замораживания, ограничение расхода тепла при снижении наружной температуры $t_{\text{нрв}}$ ниже расчетной путем воздействия терморегулятора 4 на исполнительный механизм воздухоприемного клапана (если СНиП допускает уменьшение количества приточного воздуха), а также регулирование температуры в помещении воздействием терморегулятора 1 на теплопроизводительность калорифера [2]. Защиту калориферов от замораживания при работе вентилятора обеспечивает терморегулятор 2, контролирующий температуру выходящей из калорифера воды. Если температура воды ниже $25-30^{\circ}\text{C}$, то по команде терморегулятора 2 через калорифер пропускается теплоноситель до повышения температуры обратной воды. При выключенной установке в случае проникновения через закрытый утепленный воздухоприемный клапан воздуха с температурой ниже $+3^{\circ}\text{C}$ терморегулятор 3 открывает доступ теплоносителя в калорифер. Переключение управления от одного терморегулятора к другому производится при пуске и остановке вентилятора. Теплоноситель в калориферы подается заранее, за несколько минут до пуска всей приточной установки, а подача прекращается после выключения установки.

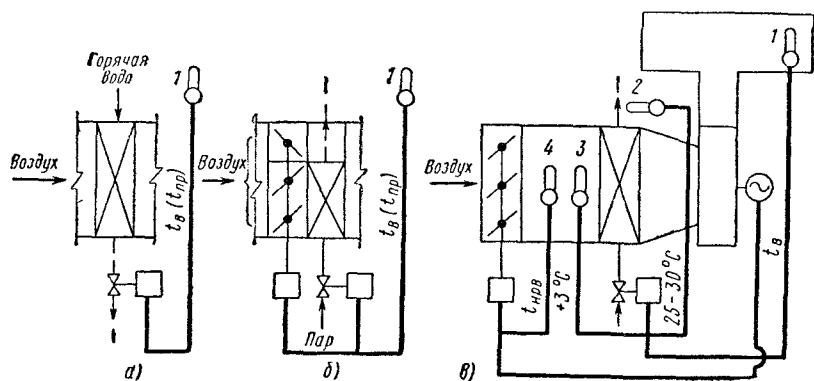


Рис. 15.3. Схемы автоматизации приточных вентиляционных установок:

а — при теплоносителе воде; б — при теплоносителе паре; в — полная автоматизация с защитой калориферов от замораживания

15.5. СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА

Автоматизация систем КВ тесно связана с процессами тепло-влажностной обработки воздуха [2, 8]. В большинстве цехов машиностроительных заводов применяются еще простейшие схемы обработки воздуха: нагрев и увлажнение зимой и испарительное охлаждение летом. Лишь для некоторых специальных помещений (термоконстантных, автоматических систем управления производством и т. п.) применяют установки полного кондиционирования воздуха с искусственным охлаждением. Регулирование производится, как правило, по методу «точки росы» (рис. 15.4), который дает удовлетворительные результаты в помещениях с постоянными тепло-влажностными выделениями или вообще без них. Температура в помещении t_b регулируется в зимнем режиме датчиком 1, а в летнем датчиком 2, воздействующими на калорифер второго подогрева (процессы $k_a - P_a$ и $k_n - P_n$ в $J - d$ диаграмме). Защита калориферов первого подогрева от замораживания обеспечивается по уже описанной выше схеме датчиками 7 и 8. Влажность в помещении в зимний период поддерживается терморегулятором 5, воздействующим на калорифер первого подогрева так, чтобы после обработки в камере орошения воздух имел температуру, равную температуре точки росы приточного воздуха (τ_3 — точка k_3). В летнем режиме терморегулятор 6 регулирует температуру или количество подаваемой в оросительную камеру воды, поддерживая летнюю температуру точки росы (τ_n — точка k_n).

Для повышения точности регулирования калориферы второго подогрева выносят за пределы кондиционера и размещают в виде зональных нагревателей, а датчики «точки росы» (5 и 6) располагают в перемешанном воздухе после вентилятора.

При переменных тепловлаговыведениях влажность в помещении (φ) поддерживается влагорегуляторами 3 (в летнем режиме) и 4 (в зимнем режиме).

Следует подчеркнуть, что прямое регулирование камеры орошения по влагосодержанию обработанного воздуха оказывается точнее и экономичнее регулирования по методу «точки росы» за счет уменьшения расходов тепла.

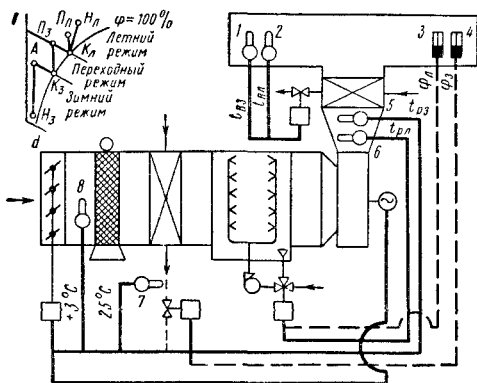


Рис. 15.4. Схема автоматизации центральной системы кондиционирования воздуха по методу «точки росы»

Значительного экономического эффекта (до 20—30% эксплуатационных затрат) можно добиться, применяя вместо регулирования по «точке росы» регулирование по методу оптимальных режимов [19].

Применение совмещенных процессов контактного нагрева и увлажнения воздуха в форсуночной камере [45], кроме снижения приведенных затрат на всю систему КВ в целом, приводит к упрощению системы автоматизации кондиционера за счет отказа от автоматической защиты калориферов от замораживания (терморегуляторы 7 и 8 на рис. 15.4).

Местные кондиционеры поставляются вместе с комплектом автоматики. Неавтономные кондиционеры типа КНУ снабжены пневматической системой регулирования по методу «точки росы», а автономные — электрической. В отечественных автономных кондиционерах типов КС, КВ, СКК, «Нева» и др. автоматически поддерживается температура в помещении (по команде датчика температуры рециркуляционного воздуха), а в поставляемых в рамках СЭВ кондиционерах типа КТ2 (ГДР), а также типов К-5-28 и РК1 (ЧССР) регулируются температура и влажность воздуха.

15.6. СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВЫТЯЖНЫХ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Пуск вентиляторов местных вытяжных вентиляционных установок, обслуживающих вытяжные шкафы, окрасочные камеры, гальванические ванны, заточные станки, блокируют с пуском оборудования, открыванием рабочих проемов таким образом, чтобы предотвратить работу оборудования при бездействующем вентиляторе (рис. 15.5, а). Датчиками в такой схеме служат либо пусковые кнопки 5, либо конечные выключатели. В установках содержащих мокрые пылеуловители 3, пуск вентилятора 4 и оборудования 1 блокируется с подачей воды в пылеуловитель. При пуске вентилятора клапан 2 на трубопроводе открывается, при остановке — закрывается. При подключении нескольких воздухоприемников у оборудования 1 к одному вентилятору 4 и возможной неравномерности загрузки оборудования (рис. 15.5, б) рекомендуется [41] в дополнение к описанной схеме предусматривать автоматическое закрывание клапанов на вытяжном воздуховоде при выключении кнопкой 5 оборудования. В результате этого через другие воздухоприемники удаляется большее количество воздуха, что улучшает условия труда на других рабочих местах.

При переменных пылегазовыделениях целесообразно производить контроль содержания вредных веществ в воздухе помещения или в выбрасываемом воздухе (датчик 7) и изменение производительности вытяжного вентилятора 4 по команде датчика 7 (рис. 15.5, в) так, чтобы концентрация вредных веществ в помеще-

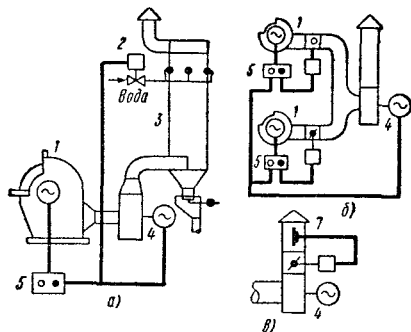


Рис. 15.5. Схемы автоматизации вытяжных вентиляционных установок:

а — блокировка работы оборудования, мокрого пылеуловителя и вентилятора;
б — блокировка работы оборудования и местного отсоса; *в* — регулирование количества удаляемого воздуха

нии или удаляемом воздухе не превышала предельного уровня. Приведенная схема может позволить сэкономить электроэнергию на привод вентилятора без ухудшения состояния воздушной среды. В этом случае, а также при количественном регулировании параметров воздуха в помещении работа вытяжных вентиляционных систем *10* может блокироваться с работой приточных установок *1* (рис. 15.6), что обеспечивает снижение расходов электроэнергии и тепла. По команде датчика *8*, установленного в помещении, или датчика *9*, установленного в вытяжном воздуховоде, синхронно изменяется количество приточного и удаляемого воздуха.

Для контроля и сигнализации о работе вентиляционных установок предусматриваются датчики-реле потока воздуха *5*, которые можно использовать и для пуска резервного вентилятора *11*.

Пуск аварийного вентилятора *4* (рис. 15.6) производится автоматически (при обязательном наличии дублирующего ручного пускателя *3*) по команде газоанализатора *7* при концентрации вредных веществ в помещении (например, в малярном цехе), превышающей ПДК или достигающей 20% нижнего предела взрываемости, и блокируется с приводом клапанов *6*, обеспечивающих удаление воздуха из помещения.

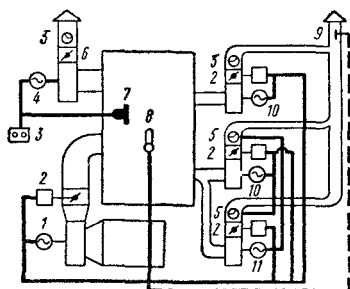


Рис. 15.6. Схемы автоматизации и блокировки группы вытяжных приточной и аварийной вентиляционных установок

Для предотвращения «опрокидывания» тяги и перетекания воздуха из системы в систему привод створчатых клапанов 2 (рис. 15.6) блокируется с электродвигателями вытяжных вентиляторов 10 и 11 так, чтобы клапаны открывались при пуске и закрывались при останове вентилятора

В заключение следует подчеркнуть, что в главе даны лишь основные принципы автоматизации систем О, В и КВ, а также наиболее простые принципиальные схемы авторегулирования и блокировки. На практике могут встречаться комбинации этих схем, более сложные и специальные решения. Выбор той или иной схемы автоматизации предопределяет технологические, экономические аспекты, а также статические и динамические характеристики средств автоматики и объектов регулирования.

1. Абрамович Г. Н. Теория турбулентных струй М., Физматгиз, 1960. 715 с.
2. Архипов Г. З., Архипов В. Г. Автоматизированные установки кондиционирования воздуха. М., «Энергия», 1975. 210 с.
3. Баркалов Б. В., Карпис Е. Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. М., Стройиздат, 1971, 269 с.
4. Баркалов Б. В. Проблемы вентиляции крупных промышленных объектов. Тезисы докладов на научно-техническом совещании. М., изд. Госстроя СССР, 1971, с. 4—13.
5. Баркалов Б. В., Ганес И. Л. Вентиляция крупных блокированных корпусов сборки автомобилей. — В сб. Новое в проектировании и эксплуатации систем промышленной вентиляции. Изд., ЛДНТП, 1976, с. 45—50.
6. Батурич В. В. Основы промышленной вентиляции. М., Профиздат, 1965. 608 с.
7. Батурич В. В., Кучерук В. В. Вентиляция машиностроительных заводов. М., Машгиз, 1954. 483 с.
8. Батурич В. В., Эльтерман В. М. Аэрация промышленных зданий. М., Госстройиздат, 1963. 320 с.
9. Бахарев В. А., Трояновский В. Н. Основы проектирования и расчеты отопления и вентиляции с сосредоточенным выпуском воздуха. М., Профиздат, 1958. 215 с.
10. Вентиляция цехов судостроительных заводов. Л., «Судостроение», 1969. 268 с. (авт. А. Г. Аверьянов, М. И. Гримитлин, О. Н. Тимофеева, Е. М. Эльтерман, Л. С. Эльянов).
11. Власов А. Ф. Удаление пыли и стружки от режущих инструментов. М. «Машиностроение», 1966. 227 с.
12. Временные рекомендации по комплексному решению выбросов и воздухозабора на промышленной площадке. М., ЦНИИпромзданий, 1973. 68 с.
13. Гарькавый В. М., Грибун Г. И., Володарский И. А. Установка с автоматически перемещающимся отсосом для удаления вредных из зоны дыхания сварщика. — «Сварочное производство», 1972, № 11. 42 с.
14. Гримитлин М. И. Моделирование и расчет воздухораспределительных устройств. — В сб.: Очистка промышленных выбросов и вопросы воздухораспределения, Л., Изд. ВНИИОТ, 1969, с. 210—258.
15. Гримитлин М. И., Позин Г. М., Туомас Э. А. Закономерности и расчет свободных закрученных вентиляционных струй. — В сб.: Научные работы института охраны труда ВЦСПС. М., Профиздат, 1974, вып. 91, с. 14—19.
16. Гримитлин М. И., Тимофеева О. Н., Эльтерман Е. М. Местная вытяжная вентиляция с применением высоковакуумных побудителей. — В сб. трудов ВНИИ охраны труда ВЦСПС. Л., изд. ВНИИОТ, 1967, с. 141—149.
17. Исследование различных способов воздухообмена в производственных помещениях. — В сб. научных трудов под ред. М. И. Гримитлина. М., ВЦНИИОТ, 1975. 108 с.
18. Коузов П. А., Гримитлин М. И. Вентиляция кабины крановщика. Л., изд. ЛИОТ, 1955. 28 с.
19. Креслин А. Н. Автоматическое регулирование систем кондиционирования воздуха. М., Стройиздат, 1972. 97 с.
20. Лейкин И. Н. Проектирование вентиляционных и промышленных выбросов в атмосферу. М., «Химия», 1970. 131 с.
21. Мамкин П. П. Вентиляция механосборочных корпусов с применением децентрализованных установок. — В сб.: Проблемы вентиляции крупных промышленных объектов. М., изд. Госстроя СССР, 1971, с. 40—47.

22. Местная вытяжная вентиляция при электросварке и газовой резке. Альбом чертежей. Л., изд. ВНИИОТ, 1971. 116 с. (Авт. О. Н. Тимофеева)
23. Метод расчета уровня загрязнения атмосферы промышленных площадок при действии низких точечных источников. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1976, № 1 с. 9—15. (Авт. Никитин В. С., Максимкина Н. Г., Самсонов В. Т., Плотникова Л. В.).
24. Механическое сварочное оборудование. Обзор. М., изд. НИИМаш, 1974. 92 с.
25. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха. М., Стройиздат, 1974. 207 с.
26. Позин Г. М., Тимофеева О. Н., Эльтерман Е. М. Расчет местных вытяжных устройств. — В кн.: Новое в проектировании и эксплуатации систем промышленной вентиляции. Л., изд. ЛДНТП, с. 31—35.
27. Правила и нормы техники безопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии для окрасочных цехов. М., изд. ВЦНИИОТ, 1977. 74 с.
28. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий СН. 245—71. М., Стройиздат, 1972. 96 с.
29. СНиП II.33—75. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Нормы проектирования. М., Стройиздат, 1976. 112 с.
30. Справочник по охране труда. Т. 3. Правила техники безопасности и производственной санитарии при электросварке в защитных газах. Л., «Судостроение», 1974, с. 238—272.
31. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Под ред. И. Г. Старовойтова. Ч. I. М., Стройиздат, 1976. 450 с.
32. Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Под ред. И. Г. Старовойтова. Часть II. М., Стройиздат, 1977. 502 с.
33. Столер В. Д., Бикულიн Р. Р. Вентиляция фиксированных рабочих мест в пыльных цехах и карьерах. Проектирование вентиляционных систем. Вып. 4. М., изд. Госстроя СССР, 1973, с. 9—16.
34. Талиев В. Н. Аэродинамика вентиляции. М., Стройиздат, 1963. 339 с.
35. Тимофеева О. Н. Вентиляция при сварке в среде защитных газов. — В сб.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 75. М., 1972, с. 3—8.
36. Тимофеева О. Н. Воздушно-тепловая защита для обеспечения нормируемых условий вблизи закрытых ворот. — В кн.: Воздушные струи и завесы. Материалы семинара. М., изд. МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1971, с. 108—115.
37. Уфимцев Г. Н. Отопление и вентиляция промышленных зданий Волжского автомобильного завода. — «Строительное проектирование промышленных предприятий», 1972, № 1, с. 21—27.
38. Халещкий И. М. Отопление, вентиляция и холодоснабжение предприятий черной металлургии. М., «Металлургия», 1973. 238 с.
39. Шепелев И. А. Воздушные потоки вблизи всасывающих отверстий. — В сб.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 24, 1967, с. 190—209.
40. Шепелев И. А. Естественный конвективный поток возле нагретой вертикальной поверхности. — В сб. Теория и расчет вентиляционных струй. Л., изд. ВНИИОТ, 1965, с. 226—233.
41. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. М., «Химия» 1971. 239 с.
42. Эльтерман В. М. Воздушные завесы. М., «Машиностроение», 1966. 131 с.
43. Эльтерман Е. М. Влияние толщины слоя на испарение лакокрасочных материалов. — В сб.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 98. М., Профиздат, 1976, с. 50—53.
44. Эльтерман Е. М. Изучение скорости выделения растворителя из лакокрасочных покрытий. — «Лакокрасочные материалы и их применение», 1973, № 3, с. 84—86.
45. Эльтерман Л. Е. Производственные исследования работы кондиционера в режиме бескалориферного нагрева и увлажнения воздуха с отрицательной температурой. — В сб.: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. Вып. 82. М., Профиздат, 1973, с. 23—28.

Предисловие	3
Глава 1. Общеобменная вентиляция и организация воздушных потоков в помещениях	5
1.1. Санитарно-гигиенические требования к состоянию воздушной среды помещений и способы вентиляции	5
1.2. Основные положения по организации воздухообмена	6
1.3. Приточные струи	7
1.4. Конвективные (тепловые) струи	18
1.5. Определение воздухообмена при механической вентиляции	19
1.6. Определение коэффициента эффективности воздухообмена	20
1.7. Естественная вентиляция (аэрация) горячих цехов	23
Глава 2. Распределение приточного воздуха	27
2.1. Общие принципы проектирования систем воздухораспределения	27
2.2. Расчетные схемы воздухораспределения и их обеспечение	29
2.3. Воздухораспределительные устройства	31
2.4. Раздача воздуха сверху в направлении рабочей зоны	36
2.5. Подача воздуха непосредственно в рабочую зону	39
2.6. Сосредоточенная подача воздуха	40
2.7. Рекомендации по расчету воздухораспределительных устройств	41
Глава 3. Местная приточная вентиляция	46
3.1. Воздушные души	46
3.2. Ниспадающий поток	48
3.3. «Затопление» участка рабочей зоны приточным воздухом	50
3.4. Воздушные завесы	51
Глава 4. Местная вытяжная вентиляция	53
4.1. Движение воздуха у вытяжных отверстий	53
4.2. Местные вытяжные устройства закрытого типа	59
4.3. Местные отсосы открытого типа	61
4.4. Обеспечение равномерного всасывания воздуха по длине отсоса	62
4.5. Высоковакуумные системы	63
Глава 5. Обеспечение чистоты атмосферного воздуха	66
5.1. Санитарно-гигиенические требования к атмосферному воздуху	66
5.2. Классификация источников загрязнения приземного слоя атмосферы в промышленных узлах	70
5.3. Условия обтекания зданий потоком воздуха, влияющие на распространение вредных веществ	72
5.4. Расчет рассеивания в атмосфере вредных веществ от низких затененных источников	78

Глава 6. Отопление производственных помещений	93
6.1. Метеорологические условия в производственных помещениях	93
6.2. Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий	94
6.3. Воздушное отопление	96
6.4. Системы водяного и парового отопления	97
6.5. Газовое и электрическое отопление	99
Глава 7. Вентиляция и отопление литейных цехов	104
7.1. Технологический процесс и санитарно-гигиеническая характеристика чугуно- и сталелитейных цехов	104
7.2. Тенденции строительных решений	107
7.3. Местные вытяжные устройства	108
7.4. Общеобменная приточно-вытяжная вентиляция	113
7.5. Вентиляция цехов литья по выплавляемым моделям	116
7.6. Вентиляция при литье в оболочковые формы	120
7.7. Вентиляция кабины крановщика	124
Глава 8. Вентиляция и отопление кузнечно-прессовых и термических цехов	130
8.1. Характеристика технологического процесса и выделяющиеся вредные вещества	130
8.2. Метеорологические условия в помещениях и требования к объемно-планировочным решениям	134
8.3. Тепловыделения и методы борьбы с ними	135
8.4. Организация воздухообмена	137
8.5. Пример расчета вентиляции кузнечного цеха	152
Глава 9. Вентиляция и отопление сборочно-сварочных цехов	155
9.1. Процессы сварки и выделяющиеся вредные вещества	155
9.2. Местная вытяжная вентиляция стационарных постов	159
9.3. Местные вытяжные устройства к сварочному оборудованию	163
9.4. Вентиляция при сварке в замкнутых пространствах	168
9.5. Общеобменная вентиляция и воздушное отопление	170
9.6. Пример расчета вентиляции сборочно-сварочного цеха	176
Глава 10. Вентиляция и отопление гальванических цехов	183
10.1. Технологические процессы и выделяющиеся вредные вещества	183
10.2. Местная вытяжная вентиляция и очистка вентиляционных выбросов	185
10.3. Приточная вентиляция	191
10.4. Пример современных решений вентиляции и отопления гальванических цехов	193
Глава 11. Вентиляция цехов окраски	196
11.1. Технологический процесс, применяемые материалы и их санитарно-гигиеническая характеристика	196
11.2. Выделение летучих при сушке окрашенных поверхностей	197
11.3. Рекомендуемые решения вытяжной вентиляции	201
11.4. Очистка удаляемого воздуха	206
11.5. Вопросы взрывобезопасности	208
11.6. Приточная вентиляция	209
11.7. Пример расчета вентиляции цеха	209
Глава 12. Вентиляция цехов механической обработки металлов	212
12.1. Характеристика технологического процесса и выделяющиеся вредные вещества	212
12.2. Местная вытяжная вентиляция и пневматическое удаление стружки	214
12.3. Общеобменная приточно-вытяжная вентиляция	219
12.4. Вентиляция термостатных помещений	221
	271