

Глава 1. Вентиляционные системы промышленных зданий

1.1. Общие сведения о промышленной вентиляции

Понятие «промышленная вентиляция» достаточно условно, так как классификация зданий на промышленные (или производственные) и гражданские не учитывает виды выделяющихся в помещении вредных выделений. Поэтому вредные выделения в швейных, сборочных цехах часовых, приборостроительных заводов аналогичны вредным выделениям офисных помещений, залов массовых собраний и т. п. Вентиляция этих производственных помещений устраивается аналогичной указанным выше помещениям гражданских зданий.

В отличие от гражданских зданий приоритетом вентиляции в помещениях производственных зданий - обеспечение необходимых параметров воздушной среды для проведения технологических процессов. Благоприятные условия для выполнения технологических процессов могут вступать в противоречие с условиями комфортного пребывания в производственном помещении человека, но, тем не менее, в производственных помещениях они поддерживаются, и персонал в этих условиях работает. Примеры тому:

- хлопкопрядильные цехи ткацких фабрик, в них круглогодично поддерживается относительная влажность воздуха, близкая к 100%;
- холодильных камеры для хранения овощей: круглогодично поддерживается температура 0 – (+2) °С;
- холодильные камеры для хранения мяса: весь год поддерживается температура не выше (-18) °С, и т. д.

Причины необходимости устройства вентиляции те же, что в гражданских: производственные процессы сопровождаются выделением в воздух помещений теплоты, вредных газов, паров и пыли, которые с течением времени делают воздух помещения непригодным для дыхания и для пребывания человека в помещении.

1.2. Вредные выделения, характерные для производственных помещений

Перечень вредных веществ, выделяющихся в процессе выполнения технологических процессов в воздух промышленных зданий, многообразен:

- радиоактивные пыли и аэрозоли;
- канцерогенные вещества (сажа, аэрозоль никеля);
- ядовитые соединения (цианистый водород, аэрозоль свинца);
- взрывоопасные пары и газы (бытовой газ, пары бензина, керосина, органических растворителей красок);
- пары и газы, раздражающе действующие на кожный покров и слизистые оболочки организма (сернистый газ, фтористый водород, пары кислот и щелочей);
- пыль, как токсичная, так и неядовитая.

В производственном помещении обычно выделяются несколько видов вредностей. Как и в гражданских, в производственных помещениях различают вредности *значимые*, по величинам которых вычисляется воздухообмен, и *незначимые*, по которым воздухообмен не вычисляется по причине малости их выделения. Предполагается, что незначимые вредности удаляются полностью воздухообменом, определённым по величине значимых вредностей.

В условиях производства на самочувствие человека и производительность его труда влияют вредные выделения. Каждый вид вредного выделения имеет свой источник и негативно воздействует на конкретный орган или систему тканей человеческого организма.

Однонаправлено действующими считаются вредные выделения, воздействующие на один и тот же орган или одну и ту же группу органов или тканей.

Разнонаправлено – действуют вредности, воздействующие на разные органы или группы органов и тканей.

При определении расчётного воздухообмена учитывается *одно- и разнонаправленность* действия совокупности выделяющихся в помещении вредностей.

1.3.Классификация систем вентиляции производственных зданий

Если загрязненный воздух удаляется непосредственно от мест выделения, или приток подаётся непосредственно на рабочие места, вентиляцию называют, соответственно, *местной вытяжной вентиляцией*, и *местной приточной вентиляцией*. Местная вентиляция более эффективна, нежели вентиляция общеобменная. *Местная вытяжная вентиляция* удаляет вредные выделения с большей концентрацией по сравнению с общеобменной и меньшим, по сравнению в общеобменной, количеством воздуха, но более дорога, так как требует устройства *местных отсосов* и большего количества воздуховодов. *Местная приточная* вентиляция позволяет обеспечивать требуемые параметры на рабочих местах, а не в объёме всего цеха, что существенно дешевле, и позволяет не устраивать, в ряде случаев, общеобменной вентиляции помещения, экономя средства, теплоту и электроэнергию.

По способу организации вентиляции помещения различают *централизованные* и *децентрализованные* системы вентиляции. *Централизованные системы вентиляции, приточные и вытяжные* обслуживают группу помещений или здание в целом. В помещениях большой площади предпочтительной может оказаться децентрализованная схема.

Децентрализованная система вентиляции выполняется с помощью нескольких приточно – вытяжных агрегатов, обычно устанавливаемых в проемах крыши. Применяется для отопления и вентиляции помещений большой площади. Приточный воздух забирается с крыши, туда же производится и выброс удаляемого из помещения воздуха. Такого рода вентиляция пригодна для помещений, в которых нет выделений токсичных вредностей, и применяется преимущественно в одноэтажных зданиях.

Децентрализованная вентиляция производится выполняется специальными приточно – вытяжными агрегатами, размещаемыми в проёмах кровли, забирающим приточный воздух с кровли и удаляющими воздух в эту же зону, позволяет обойтись без разветвлённой сети воздуховодов, что существенно снижает расходы на её устройство.

По способу побуждения движения воздуха системы подразделяют на системы с механическим побуждением (побудитель тяги - вентилятор, эжектор и пр.) и системы с гравитационным побуждением (воздух перемещается действием естественных сил – действие ветра и сил гравитации). Если воздух в вентилируемые помещения подается (или удаляется) через воздуховоды или каналы, системы называются *канальными*. Приток и вытяжка могут осуществляться и через проёмы в наружных ограждениях, такая вентиляция называется *бесканальной*.

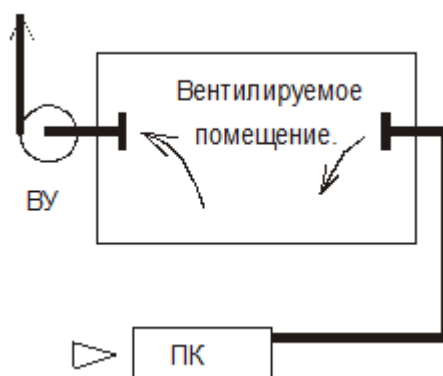


Рис. 1-1. Прямоточная приточно – вытяжная система вентиляции с механическим побуждением.

ПК – приточная камера; ВУ – вытяжная вентиляционная установка.

Наиболее широко применяются канальные системы с механическим побуждением. В приточных системах вентиляции с механическим побуждением часто применяют *рециркуляцию*.

Рециркуляцией называют подмешивание части удаляемого воздуха к приточному наружному. Рециркуляция бывает *полной* и *частичной*. В случае полной рециркуляции весь удаляемый из помещения вновь подаётся в него. При частичной в помещение подаётся смесь части удаляемого и наружного

воздуха (рис. 1-2). В режиме *полной рециркуляции* работают воздушно – отопительные агрегаты и приточные камеры, используемые для воздушного отопления в нерабочее время.

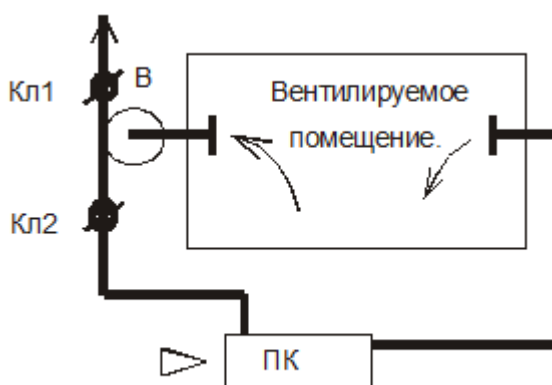


Рис. 1-2. Приточно – вытяжная система вентиляции с частичной рециркуляцией удаляемого воздуха
ПК – приточная камера; ВУ – вытяжная вентиляционная установка; Кл1 – клапан, регулирующий количество воздуха, удаляемого в атмосферу; Кл2 – клапан, регулирующий количество рециркулируемого воздуха.

Регенерация воздуха – восстановление свойств уже использованного для дыхания и ассимиляции вредных выделений в помещении воздуха до состояния свежего приточного. Выполняется регенерация очисткой его специальных фильтрах и поглощения углекислого газа с помощью химических реагентов (например, *натронной извести*). Недостающее количество кислорода пополняется из баллонов с запасом кислорода.

Частичная рециркуляция применяется в системах обычной вентиляции в рабочее время. С целью экономии теплоты, количество наружного воздуха, подаваемого в помещение, ограничивается *санитарно нормой*, минимальным количеством воздухом, которую надо подать для одного человека.

Приточно – вытяжная вентиляция приточная. Применяется преимущественно в производственных помещениях, в которых применение рециркуляции запрещено. Причиной запрета могут являться выделение в воздух помещения токсичных паров и газов, болезнетворных бактерий и т.д. Расход теплоты на подогрев приточного воздуха максимален.

Приточно – вытяжная вентиляция с частичной рециркуляцией применяется для вентиляции помещений гражданских и производственных помещений с теплоизбытками при отсутствии выделения в воздух токсичных паров и газов, резких запахов и т.п.

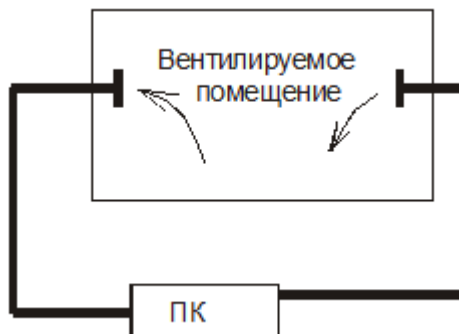


Рис.1-3. Приточно – вытяжная система вентиляции с полной рециркуляцией

ПК – приточная камера

Приточно – вытяжная система с полной рециркуляцией. Применяется в случае работы системы вентиляции в режиме воздушного отопления в нерабочее время. Оснащенная дополнительно установкой *регенерации подаваемого в помещения воздуха*, является специальным видом вентиляции, применяемой в космических кораблях, на космических станциях, подводных лодках и т.п.

Вытяжка для указанных трёх случаев может производиться из верхней или рабочей зоны помещения. Одна вытяжная или приточная установка может обслуживать несколько помещений.

Аварийные системы вентиляции устраиваются в помещениях с технологическим оборудованием, которое при внезапной разгерметизации (аварии) способно «вбросить» в помещение большое количество вредных или взрывоопасных газов и паров. Имеют задачу не допустить возникновения опасных для жизни или возникновения взрыва концентраций. Включаются в момент аварии автоматически.

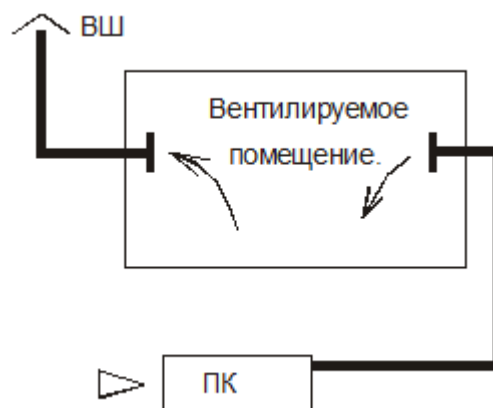


Рис. 1-4. Прямоточная приточно – вытяжная система вентиляции с механическим побуждением и вытяжкой «на выдавливание» (вариант аварийной системы вентиляции)

ПК – приточная камера; ВШ – вытяжная шахта, канал, отверстие, работающие на выдавливание

Приточная местная бесканальная вентиляция с механическим побуждением является разновидностью воздушного душирования рабочих мест внутренним воздухом помещения. Производится специальным вентиляционным агрегатом, называемым *аэратор* (рис. 1-5), струя воздуха от которого направлена на рабочее место. Душирование внутренним воздухом допускается применять в случае, если воздух помещения не загрязнен существенно.

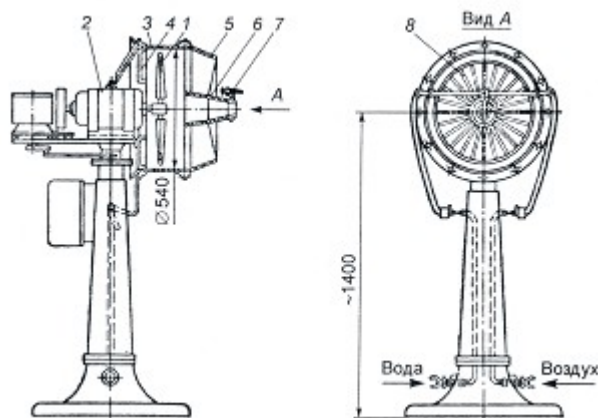


Рис. 1-5. Приточная местная вентиляционная установка с механическим побуждением (аэратор)

1 – осевой вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – конфузор; 4 – сетка; 5 – конфузор; 6 – обтекатель; 7 – пневматическая форсунка; 8 – направляющие лопасти.

Приточная бесканальная система вентиляции с механическим побуждением осуществляется путём установки вентилятора, обычно осевого, в приточном проёме. Применяется для вентиляции производственных и вспомогательных помещений с небольшим количеством работающих и в случае отсутствия постоянных рабочих мест. Проветривание может производиться как в тёплый, так и в холодный периоды года периодически. Иногда применяется в качестве дополнительного проветривания к основным работающим системам. Воздух удаляется через открытый проём.

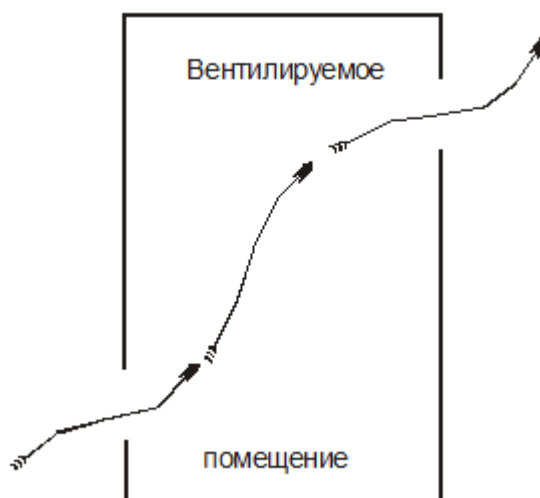


Рис. 1-6. Приточно – вытяжная система вентиляции с естественным (гравитационным, под действием ветра) побуждением (аэрация)

Приточно-вытяжная общеобменная бесканальная вентиляция с естественным побуждением, применительно к производственным зданиям получила название *аэрация*. Аэрация производится через специальные аэрационные, приточные и вытяжные проёмы с регулирующими устройствами, позволяющими изменять величину воздухообмена или полностью прекращать его. Широко применяется для удаления теплоизбытков из производственных помещений.

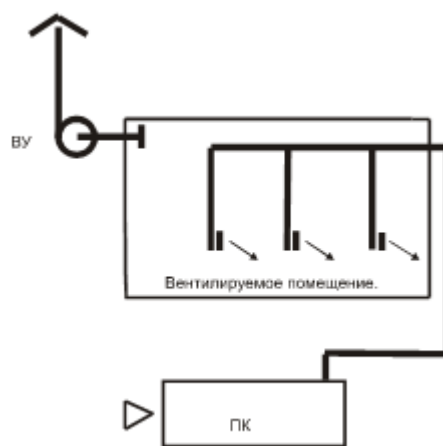


Рис. 1-7. Приточная местная канальная вентиляция (воздушное душирование)

ПК – приточная камера; ВУ – вытяжная вентиляционная установка.

Приточная местная канальная вентиляция применяется в производственных помещениях (рис.1-7). Служит для подачи притока по сети воздуховодов на постоянные загазованные или подвергающиеся тепловому облучению рабочие места. Более известна как *воздушное душирование наружным воздухом*. Приточный воздух предварительно обрабатывается (нагревается или охлаждается, адиабатически или с применением искусственного холода).

Приточная местная бесканальная вентиляция с естественным побуждением самостоятельно применяется достаточно редко. Осуществляется путём устройства вблизи постоянного рабочего места дополнительного аэрационного проёма, воздушный поток из которого поступает непосредственно на рабочее место. Часто является частью общей системы аэрации помещения.

Вытяжная общеобменная бесканальная с механическим побуждением осуществляется обычно крышными вентиляторами, устанавливаемыми в проёмах бесчердачного перекрытия. Часто такое решение применяется для проветривания поступающим через окна воздухом помещений большой глубины. Приток поступает через открытые окна или специальные аэрационные проёмы. Крышные вентиляторы располагают либо по оси

однопролётного цеха, либо вблизи внутренней стены, выгораживающий проветриваемый участок от остального объёма производственного здания.

Вытяжная общеобменная канальная с естественным побуждением.

Несмотря на отсутствие приточных камер вентиляция является приточно – вытяжной, так как приток в помещения поступает через щели притворов окон и другие неплотности в ограждающих конструкциях, в том числе, частично, и из соседних помещений или коридора. Такая система вентиляции в технической литературе называется: *приточно – вытяжная система вентиляции с гравитационным побуждением и неорганизованным притоком.*

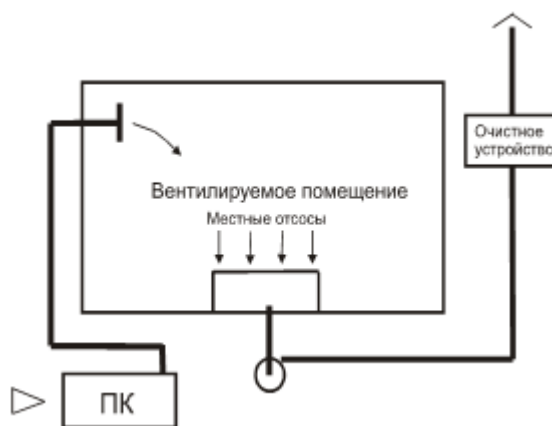


Рис. 1-8. Приточная приточно – вытяжная система вентиляции с общеобменным притоком и местной вытяжкой (через местные отсосы)

ПК – приточная камера

Вытяжная местная канальная с механическим побуждением

применяется в промышленных зданиях для удаления вредных веществ от мест их выделения через специальные укрытия источников вредностей - местные отсосы. Перед выбросом в атмосферу удаляемый воздух обычно очищают от вредных примесей.

Вытяжная местная канальная с естественным побуждением

применяется и в промышленных зданиях для удаления нагретого загрязнённого и нагретого воздуха от промышленных печей, иного нагретого технологического оборудования и т.п. Для улавливания воздуха могут быть устроены местные отсосы, например зонты или зонты – козырьки,

присоединённые к вертикальному, желательно без поворотов и прочих местных сопротивлений, выхлопному воздуховоду, отводящему газы или загрязнённый воздух в атмосферу.

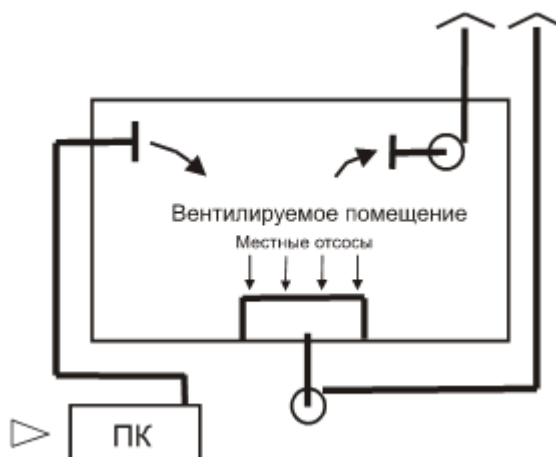


Рис. 1-9. Смешанная приточно – вытяжная система вентиляции
(состоит из общеобменного притока, местной и общеобменной вытяжек)

Смешанная система вентиляции (рис. 1-9) может включать в себя несколько видов приточных и вытяжных устройств: воздушное душирование, местную гравитационную или механическую вытяжку. Обязательной составляющей являются также общеобменный механический или естественный воздухообмен. Смешанную систему вентиляции применяют по двум причинам:

1. эффективность местных отсосов не является абсолютной, какая – то часть вредных выделений от укрытых источников поступает в воздух помещения;

2. экономически нецелесообразно, а технически часто просто бывает невыполнимым устройство местной вытяжки от всех источников, вредные выделения которых поступают в воздух помещения.

Задача общеобменного воздухообмена при смешанной вентиляции состоит в удалении поступивших в объём помещения вредных выделений от незащищённых местными отсосами источников вредных выделений.

Наличие приведенных выше различных конструктивных решений вентиляции позволяет выбирать для каждого случая наиболее оптимальный вариант.

Глава 2. Расчётные параметры наружного воздуха и внутреннего микроклимата помещений промышленных зданий

2.1. Параметры наружного воздуха для расчёта систем отопления и вентиляции

Согласно документ «Перечень национальных стандартов и сводов правил» в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», параметры наружного воздуха для расчёта вентиляционных систем и систем отопления должны приниматься в соответствии с рекомендациями раздела 5 СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха», СП 131.13330.2020 «Строительная климатология» по таблицам 3.1-7.1, рисункам А1, А4, А5, а также ГОСТ 30494-11 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Раздел 4.

В соответствии с СП 60.13330.2016 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» тепловые и балансы поступлений вредных веществ в помещение должны составляться для трёх периодов года:

- *тёплого* (ТП), период года со среднесуточной температурой $t > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- *переходного* (ПП), среднесуточная температура равна $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, удельная энтальпия $26,5\text{ кДж/кг}$;
- *холодного* (ХП), среднесуточная температура $t < 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Нормами предусмотрены два вида параметров наружного воздуха: параметры А - более умеренные, и параметры Б – более экстремальные.

На параметры А – рассчитываются системы вентиляции и душирования рабочих мест наружным воздухом для теплого периода года;

Параметры Б - системы отопления, вентиляции и душирования наружным воздухом в холодный период года, а также системы кондиционирования воздуха для работы в теплый и холодный периоды года.

Вредные выделения, содержащиеся в вентиляционных выбросах, поступают в приземный слой воздуха. Концентрация вредных веществ в этом слое атмосферы, с учётом фоновых концентраций и рассеивания вентиляционных выбросов, не должна превышать *предельно-допустимых концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест – (ПДК): максимальной разовой и среднесуточной*. Максимально-разовые концентрации наблюдаются вблизи предприятий, для технологического процесса которых характерны периодические выбросы в атмосферный воздух значительных количеств вредных веществ в течение короткого промежутка времени (так называемый «залповый выброс»).

Нормативами чистоты приземного слоя воздуха являются *предельно – допустимые концентрации (ПДК) атмосферных загрязнителей*, под которыми понимают наибольшие концентрации химических и биологических веществ, которые за время действия на человека не приносят вреда его организму.

Предельно – допустимые концентрации в приземном слое воздуха химических соединений и веществ задаются санитарными правилами и нормами (СанПиН). Для отдельных веществ допускается использование *ориентировочных безопасных уровней воздействия (ОБУВ)*, сроки действия которых устанавливаются постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации. Нормы не допускают превышение как максимальных разовых среднесуточных ПДК, так и ОБУВ на территориях постоянного пребывания людей.

В местах массового отдыха населения, а также на территориях размещения лечебно–профилактических учреждений длительного пребывания больных и центров и реабилитации допускается 0,8 ПДК атмосферных загрязнителей.

2.2. Нормируемые параметры воздуха производственных помещений.

Параметры воздуха в помещениях производственных зданий определяет ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (табл. 2.1).

ГОСТ 12.1.005-88 допускает поддержание в производственном помещении разных температур *на постоянных рабочих мест и вне постоянных рабочих мест*. Это допущение позволяет принимать инженерные решения систем вентиляции и отопления с минимальным расходом теплоты на отопление и вентиляцию здания.

Таблица 2.1

Расчётные температуры, скорость и относительная влажность на постоянных и непостоянных рабочих местах производственных помещений.

Период года	Категори я работ	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптималь - ная	допустимая				оптималь - ная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных , не более	опти- маль- ная, не бо- лее	допустимая на рабочих местах постоянны х и непосто- янных*
			верхняя граница		нижняя граница					
			на рабочих местах							
			посто - янных	не- посто - янных	пос- тоян - ных	не- посто - янных				
Холод- ный и пере- ходный	Легкая - Iа	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
	Легкая - Iб	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	Не более 0,2
	Средней тяжести - IIа	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	Не более 0,3
	Средней тяжести - IIб	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не более 0,4
	Тяжелая -	16-18	19	20	13	12	40-60	75	0,3	Не более

	III									0,5
Теплы й	Легкая - Ia	23-25	28	30	22	20	40-60	55(при 28°C)	0,1	0,1-0,2
	Легкая - Iб	22-24	28	30	21	19	40-60	60(при 27°C)	0,2	0,1-0,3
	Средней тяжести - IIa	21-23	27	29	18	17	40-60	65(при 26°C)	0,3	0,2-0,4
	Средней тяжести - IIб	20-22	27	29	16	15	40-60	70(при 25°C)	0,3	0,2-0,5
	Тяжелая - III	18-20	26	28	15	13	40-60	75(при 24°C и ниже)	0,4	0,2-0,6

Пояснение. В приточных камерах не предусматривается установка аппаратов, позволяющих увлажнять или осушать воздух, поэтому предлагаемые нормами значения относительной влажности воздуха имеет рекомендательный характер, ими пользуются для определения воздухообмена по влагоизбыткам.

При выборе расчётных параметров воздуха в помещении исходят из необходимости экономного расхода тепловой и электрической энергии. С этой целью в *холодный период* года следует придерживаться нижнего предела нормируемого диапазона температур, если теплоизбытки в помещении отсутствуют. При наличии теплоизбытков в помещениях возможно поддерживать более высокую температуру, «отапливая» его дополнительно теплоизбытками. Количество теплоизбытков, удаляемых вентиляцией, при этом, уменьшится, уменьшится и расчётный воздухообмен, что позволит сэкономить некоторое количество электроэнергии.

В воздух помещений поступают вредные вещества, которые могут причинить вред здоровью и даже сделать воздух не пригодным для дыхания. Их содержание в воздухе помещения ограничивается *предельно допустимой концентрацией вещества в воздухе помещения* или ПДК.

ПДК называется максимальная концентрация данного вещества в воздухе помещения, которая, за время воздействия, не приводит к появлению в организме человека патологических изменений, которые могут быть обнаружены современными способами медицинской диагностики.

Если в помещении выделяется один вид значимой вредности, расчётная концентрация вредных веществ в воздухе рабочей зоны принимается равной предельно допустимой концентрации (ПДК) в воздухе рабочей зоны.

При выделении несколько вредных веществ, принимаемые для определения воздухообмена концентрации их в рабочей зоне помещения должны отвечать соотношению:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1 \quad (2.1)$$

$C_1, C_2 \dots C_n$ - фактические концентрации вредных примесей в воздухе, мг/м³;
 $ПДК_1, ПДК_2 \dots ПДК_n$ - предельно – допустимые концентрации вредных веществ в рабочей зоне.

Если в воздух помещения поступают несколько видов взрывоопасных паров или газов, нижний предел взрываемости газовой смеси определяется формулой Ле – Шателье:

$$\chi_{см.} = \frac{100}{\frac{n_1}{\chi_1} + \frac{n_2}{\chi_2} + \dots + \frac{n_n}{\chi_n}} \quad (2.2)$$

Где $n_1, n_2 \dots n_n$ - содержание отдельных газов в смеси % (по объёму);
 $\chi_1, \chi_2 \dots \chi_n$ - нижние концентрационные пределы распространения пламени (в нормативных документах НКПРП) соответствующих газов по объёму, %.

Действующие нормы признают *шумовой фон*, формируемый в помещении работой технологического оборудования, проникающим в помещение с улицы и шумом работающих вентиляционных установок, фактором, оказывающим вредное воздействие на человеческое здоровье.

ГОСТ 12.1.003-2014 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности» устанавливает предельные уровни мощности звукового фона в помещениях и допустимые дозы шума для человека. Нормы запрещают даже кратковременное воздействие на человека октавных уровней звукового давления свыше 135 дБ в любой октавной полосе, вводят понятия:

- *доза шума D* в $\text{Па}^2 \cdot \text{ч}$ - акустическая энергия, воздействующая на человека за определенный период времени;

1. *относительная доза шума $D_{\text{отн}}$* в процентах, как часть от предельно-допустимой дозы шума.

2.3. Классификация производственных помещений по взрывной и пожарной опасности в соответствии с федеральным законом Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"

Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" вводит следующие категории помещений *производственного и складского назначения* по пожарной и взрывопожарной опасности:

- 1) повышенная взрывопожароопасность (А);
- 2) взрывопожароопасность (Б);
- 3) пожароопасность (В1 - В4);
- 4) умеренная пожароопасность (Г);
- 5) пониженная пожароопасность (Д).

Здания, сооружения, строения и помещения иного назначения разделению на категории не подлежат.

Категории помещений по пожарной и взрывопожарной опасности определяются исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов. В настоящем тексте классификации приведены в сокращённом варианте.

К категории А относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 градусов Цельсия в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 килопаскалей, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 килопаскалей.

К категории Б относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 градусов Цельсия, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 килопаскалей.

К категориям В1 - В4 относятся помещения, в которых находятся (обращаются) горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.

Отнесение помещения к категории В1, В2, В3 или В4 осуществляется в зависимости от количества и способа размещения пожарной нагрузки в указанном помещении и его объемно-планировочных характеристик, а также от пожароопасных свойств веществ и материалов, составляющих пожарную нагрузку.

К категории Г относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива.

К категории Д относятся помещения, в которых находятся (обращаются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Категории зданий, сооружений и строений по пожарной и взрывопожарной опасности определяются исходя из доли и суммированной площади помещений той или иной категории опасности в этом здании, сооружении, строении. Указанные категории производственных помещений накладывают ограничения на температуру применяемого теплоносителя, предписывают к обязательному исполнению некоторых конструктивных решений вентиляции. В объеме производственного помещения, категория которого определена в соответствии с действующим законодательством, могут находиться участки с повышенной взрывоопасности, или вентиляционные установки, перемещающие взрывоопасные смеси. Проектирование вентиляции в указанных случаях должно проводиться в соответствии «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ).

2.4. Классификация вредных веществ по классам опасности

Нормами установлены классы опасности вредных веществ, представленные в таблице 2.2.

Таблица 2.2.

Классы опасности вредных веществ

Класс опасности	Характеристик а класса опасности	Примеры вредных веществ, соответствующих данному классу опасности
1	Чрезвычайно опасные	радиоактивные вещества
2	Высоко- опасные	анилин, бензин, сероводород
3	Умеренно опасные	метиловый спирт, камфора
4	Малоопасные	аммиак, бензин, керосин, СО

Несмотря на краткость и качественный характер классификация способствует надёжному улавливанию вредных выделений путём выбора вида укрытия источника вредных выделений и скорости вытяжки через рабочий проём вытяжного шкафа. В таблице 2.3, в качестве примера, приведены рекомендуемые скорости воздуха в рабочих проёмах окрасочных камер, которые выбираются в зависимости от класса опасности паров растворителя.

В качестве примера: рекомендуемые скорости воздуха в проёмах окрасочных камер зависят от класса опасности вредных выделений, см. таблицу 2.3.

Таблица 2.3.

Значения рекомендуемых скоростей в рабочих проёмах окрасочных камер с пневматическим распылением в зависимости от класса опасности лакокрасочного материала

Метод нанесения лакокрасочного покрытия	Класс опасности лакокрасочного материала	Рекомендуемая скорость воздуха в рабочем проёме, м/с.
Пневматическое распыление	1	1,3
	2 и 3	1,0
	4	0,7

Глава 3. Расчет теплотерь и тепlopоступлений в помещения промышленных зданий

3.1. О выборе значимой вредности и количества её поступления в воздух помещения.

В помещениях производственных люди в дополнение к вредностям, характерным для зданий гражданских добавляются вредные выделения от технологического оборудования, которые могут и часто многократно перекрывают по величине вредные выделения от человека. Технологическое оборудование является источников вредных выделений человеку не свойственных и даже токсичных, что делает особенно актуальным вопрос о выборе *значимой* вредности.

Значимой характеризуется вредность, по величине потока которой вычисляется расчётный воздухообмен, а предшествующий опыт проектирования подтверждает достаточность вычисленного по величине поступлений в воздух значимой вредности для попутной ассимиляции всех прочих, выделяющихся в помещение вредностей.

Человек выделяет присущие ему вредные выделения постоянно, несколько изменяя их интенсивность в зависимости от степени тяжести выполняемой в данный момент времени работы.

Производственным помещениям часто бывает свойственна определённая периодичность в наступлении максимумов потока вредных выделений, поэтому расчётное количество поступающих в помещение вредностей зависит от количества технологических линий, выполняющих данный вид продукции:

- при осуществлении в помещении *одного* технологического процесса расчётной величиной является максимальная величина потока рассматриваемой вредности вне зависимости от времени её наблюдения;

- если в помещении одновременно выполняются несколько технологических процессов, источников рассматриваемого вида вредности,

максимальные поступления от всех технологических процессов, имеющих место в помещении, определяются как сумма всех потоков данного вида вредности вне зависимости от времени их фактического поступления в воздух цеха.

Указанный принцип существенно упрощает вычисления расчётной величины потока того или иного вида вредности, но приводит к завышению его расчётной величины против истинного значения. Применение такого подхода оправдывается тем, что, в большинстве случаев проектирования, изменение интенсивности выделения вредностей в течение рабочего дня неизвестно, или может изменяться с течением времени по причине изменения технологического процесса. Оптимальным же вариантом является определение расчётных потоков вредностей с учётом их фактического времени поступления в воздух помещения.

3.2. Источники поступления теплоты в помещениях промышленных зданий, расчет тепlopоступлений от них. Расчет тепlopотерь

Тепlopоступления от нагретых металлических стенок баков с нагретыми жидкостями, не имеющих тепловой изоляции, баков, ванн с водой и иными нагретыми жидкостями определяют в предположении, что температура поверхности стенки равна температуре жидкости, находящейся в них. Температура жидкости обычно бывает задана технологическим проектом.

Количество теплоты, поступающей с 1 м² нагретой поверхности, имеющей температуру $t_{\text{пов}}$, в помещение с температурой воздуха $t_{\text{в}}$ определяется как сумма потоков лучистого и конвективного тепла по формуле:

$$q = \alpha_{\text{пов.}} (t_{\text{пов.}} - t_{\text{в}}) = (\varepsilon_{\text{пр.}} C_0 b + A \sqrt[3]{t_{\text{пов.}} - t_{\text{в}}}) (t_{\text{пов.}} - t_{\text{в}}) \quad (3.1)$$

где $t_{\text{пов}}$ и $t_{\text{в}}$ – температуры, соответственно, поверхности бака и воздуха, °С;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – коэффициент приведения коэффициента излучения абсолютно чёрного тела к величине коэффициента излучения поверхности печи;

C_0 - коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, равен $5,77 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$;

b - температурный коэффициент, вычисляемый по формуле (3.2);

A – коэффициент, вычисляемый по данным таблицы 3.1.

Приведенный коэффициент излучения $\varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0$ для небольшой металлической поверхности, обменивающейся излучением с помещением, стенки которого выполнены из неметаллических строительных материалов принимается равным коэффициенту излучения нагретой металлической поверхности из соответствующего металла. Для ржавых или окисленных стальных и окрашенных стальных поверхностей $\varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0$ может быть принят равным 4,7. Температурный коэффициент b , вычисляется как:

$$b = 0,81 + 0,005(t_{\text{пов}} + t_{\text{в}}) \quad (3.2)$$

Коэффициент A в формуле (3.1) для вертикальной поверхности может быть принят по данным таблицы 3.1.

Таблица 3.1.

$t_{\text{пов.}}^{\circ\text{C}}$	A	$t_{\text{пов.}}^{\circ\text{C}}$	A
20	1,67	380	1,41
80	1,6	480	1,36
180	1,53	580	1,33
280	1,47	980	1,19

Для нагретых горизонтальных поверхностей, обращённых вверх, коэффициент A увеличивают на 30%, обращённых вниз – уменьшают на 30% против значений, приведенных в таблице.

Теплопоступления от нагретых поверхностей теплоизолированных металлических стенок баков, ванн с водой или иными нагретыми жидкостями

существенно меньше, нежели в случае ёмкостей и труб со стальными стенками, так как температура наружной поверхности тепловой изоляции существенно меньше температуры жидкости, содержащейся в баке. Расчет теплоступлений основан на предположении о стационарном режиме теплопередачи через теплоизолированную стенку.

Вычисления ведут методом попыток, задаваясь различными значениями температуры наружной поверхности стенки. Критерием правильности выбора температуры поверхности является равенство потоков теплоты, проходящих через толщу стенки от жидкости до наружной поверхности теплоизоляции и отдаваемой наружной поверхностью теплоизоляции конвекцией и излучением.

Расчёты, проводимые методом попыток, трудоёмки. Более ускоренно расчёт можно, выполнив расчёт компьютером.

Теплоступления от промышленных печей. В промышленных печах осуществляют нагрев заготовок под ковку, для отжига, снятия температурных напряжений и т.д. Диапазон температур, который выдерживается в печах $t_{\text{печ}}$ может колебаться от 250...1400 °С и выше. Источником теплоты для печей являются электричество, мазут, газ.

Промышленные печи могут быть сложной конструкции:

1. иметь встроенный рекуператор для утилизации теплоты дымовых газов;
2. в стенках печи могут быть теплопроводные включения, например, в виде элементов металлического каркаса и т.д.

В силу сложности конструкции точные вычисления теплоступлений печи в цех невозможны, обычно, их принимают по данным технологов.

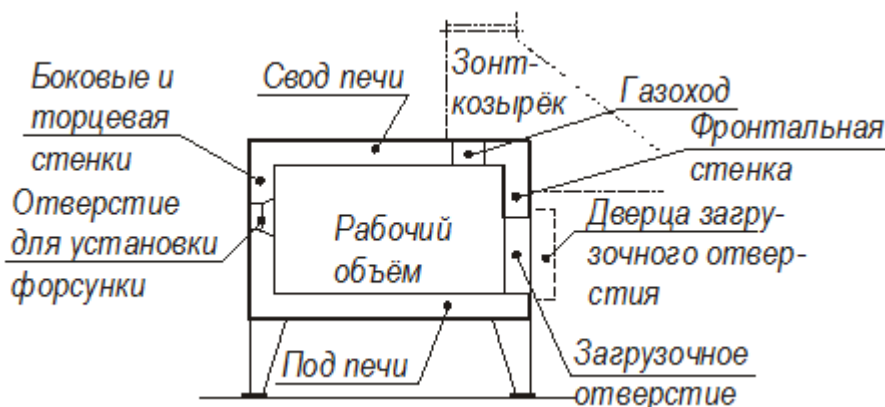


Рис. 3.1. Конструкция и отдельные элементы нагревательной печи.

Печи простой конструкции (рис. 3-1), представляют собой пустотелый параллелепипед с загрузочным проёмом, прикрываемым дверцей, как правило, перемещающееся вертикально вдоль стенки печи. Если печь отапливается газом или мазутом, в стенках устраивают отверстия для размещения форсунок, в своде – отверстия для удаления дымовых газов. Над загрузочным отверстием устанавливается зонт – козырёк для улавливания вырывающихся из отверстия дымовых газов. Попутно зонт – козырёк улавливает значительную часть конвективной теплоты от фронтальной стенки печи. Печи небольших размеров часто устанавливают на станину, в виде рамы на ножках. В этом случае под печи не контактирует с полом и теплоступления происходит конвекцией и излучением с вертикальных стенок печи, свода, пода и дверцы, прикрывающей загрузочное отверстие. Потери теплоты подом печи в случае установке печи на станину и отсутствию контакта пода учитываются в тепловом балансе полностью.

Термическое сопротивление дверцы существенно меньше, нежели термическое сопротивление стенок печи, а температура поверхности выше, так как она представляет собой чугунную обойму с толщиной стенки 10...15 мм, позволяющую наполнять её со стороны печи шамотом слоем толщиной 100...120 мм.

Теплоступления от таких сравнительно простых печей могут быть определены сравнительно несложным расчётом.

Поступления теплоты от печи в помещение состоят из перечисленных в балансовом уравнении составляющих:

$$Q_{\text{печи}} = Q_{\text{верт.ст.}} + Q_{\text{пода}} + Q_{\text{свода}} + Q_{\text{фронт.}} + \\ + Q_{\text{загруз.лв.}} + Q_{\text{загруз.отв.}} \quad (3.3)$$

где $Q_{\text{верт.ст}}$ - теплопоступления от 3 – х вертикальных стенок печи, за исключением фронтальной, Вт; $Q_{\text{пода}}$ - теплопоступления от пода печи, Вт; $Q_{\text{свода}}$ - теплопоступления от свода печи, Вт; $Q_{\text{фронт.}}$ – теплопоступления от фронтальной стенки с частичным учётом конвективной составляющей по причине установки над загрузочным отверстием зонта – козырька, Вт; $Q_{\text{загруз.дв.}}$ – теплопоступления через загрузочную дверцу, Вт; $Q_{\text{загруз.отв.}}$ – теплопоступления через открытое загрузочное отверстие, Вт.

Тепловыделения через стенку промышленной печи. В зависимости от рабочей температуры стенка печи может выполняться полностью из глиняного кирпича, либо дополнительно иметь футеровку, выполняемую из шамота или иного огнеупора. Футеровка имеет высокую температуру, поэтому в коэффициент теплопроводности должна вводиться температурная поправка. Например, для шамота температурная зависимость коэффициента теплопроводности от температуры равна, Вт/(м °C):

$$\lambda = 0,838 + 0,000582t \quad (3.4)$$

Теплопоступления через стенку рассчитываются методом попыток. Более точно, нежели вручную, выполнить вычисления можно с помощью таблиц Excel. Отличие состоит в том, что температура стенки в объёме печи принимается на 10 °C ниже расчётной температуры печи, учитывается температурная зависимость коэффициента теплопроводности футеровки.

В последовательности расчёта фиксированной является температура внутренней поверхности футеровки. В случае выполнения расчёта на компьютере следует:

- задаться температурой на границе кирпичной кладки футеровки;
- вычислить среднюю температуру футеровки и её коэффициент теплопроводности;
- вычислить поток теплоты через футеровку;

- поскольку процесс теплопередачи принят стационарным, этот тепловой поток проходит и через кирпичную кладку на поверхность, где отдаётся конвекцией и излучением окружающей среде;

- вычисляются потоки конвективного и лучистого тепла с поверхности печи, сумма этих потоков должна быть равной тепловому потоку через слой футеровки.

Правильный результат достигается изменением температуры на границе кирпичной кладки и футеровки.

Вышеизложенный алгоритм позволяет вычислить также:

- поступления теплоты через свод;
- то же через под печи, если тот не соприкасается с землёй;
- то же от дверцы загрузочного отверстия; конвективная часть потока теплоты улавливается зонтом – козырьком, в помещение поступает только лучистая часть теплового потока;

- то же от фронтальной стенки печи: лучистая часть потока учитывается полностью, конвективная – частично, или не учитывается вовсе, так как улавливается зонтом – козырьком.

Теплопоступления через открытое загрузочное отверстие печи состоят только из лучистой составляющей. Инженерные расчёты основаны на предположении, что среда рабочего объёма печи эквивалентна абсолютно чёрному телу. Поступления теплоты в помещение $q_{\text{загруз.отв.}}$, Вт, рассчитываются с учётом частичного отражения лучистого потока от откосов загрузочного отверстия и времени, мин./час, когда загрузочное отверстие является открытым:

$$q_{\text{загруз.отв}} = C_0 \left(\frac{T_{\text{печи}}}{100} \right)^4 \varphi_{\text{загруз.отв}} \frac{n}{60} A_{\text{загруз.отв}} \quad (3.5)$$

где C_0 – коэффициент излучения абсолютно чёрного тела, Вт/(м² К⁴);

$T_{\text{печи}}$ – абсолютная температура рабочего объёма печи;

$\varphi_{\text{отв}}$ - коэффициент облучённости (в некоторых пособиях называемый коэффициентом диафрагмирования) отверстия, можно определить по графику рис.3-2, рассчитанного профессором С.Н. Шориным.

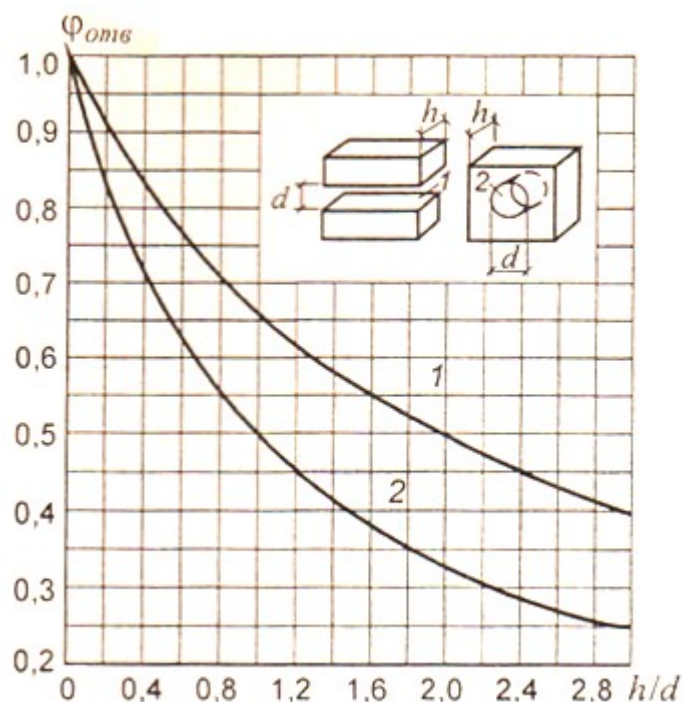


Рис. 3-2. Коэффициент облучённости $\varphi_{\text{отв}}$ плоскости в пределах загрузочного отверстия в стенке толщиной h на отметке наружной поверхности печи с учётом отражения от поверхности откосов в рабочий объём печи для щелевого (1) и цилиндрического отверстий (2)

Если печь предназначена для нагрева поковок, то вблизи загрузочного отверстия работает подручный кузнеца, подающий разогретые заготовки к ковочному молоту или прессу и загружающий холодные заготовки в печь. Такие рабочие места подвергаются тепловому облучению, и оборудуются установками воздушного душирования.

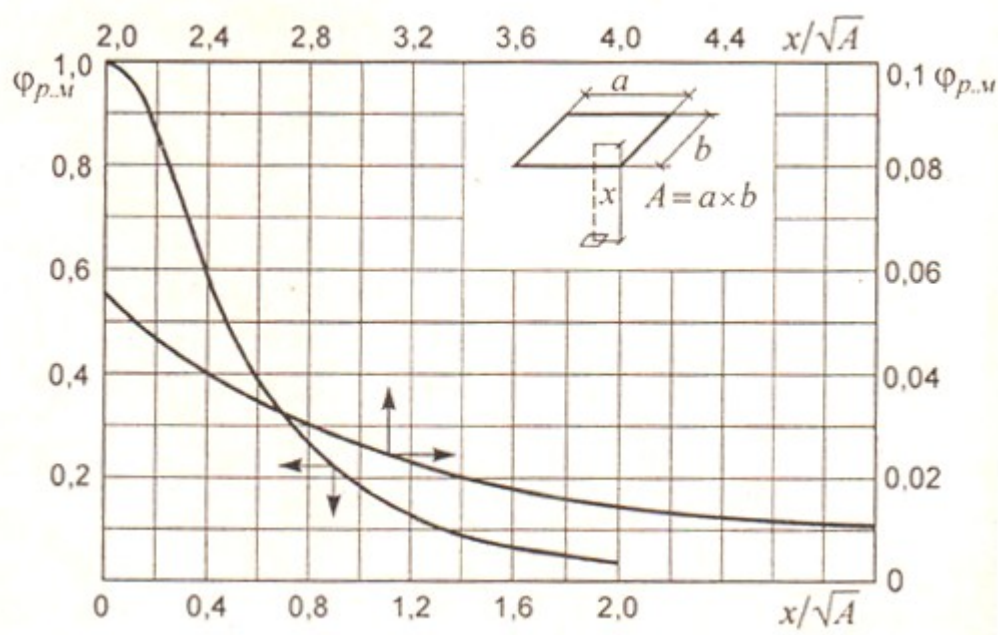


Рис. 3-3. Зависимость коэффициента облучённости рабочего места от расстояния x до центра излучающей поверхности площадью F (в зависимости от отношения $x/\sqrt{F}$)

Чтобы подобрать воздушный душ, необходимо знать интенсивность теплового облучения на рабочем месте. Её величина может быть вычислена по формуле:

$$q_{\text{загруз. отв.}} = \varphi_{\text{р.м.}} \varphi_{\text{отв}} C_0 (T_{\text{печ.}}/100)^4 A \quad (3.6)$$

где $\varphi_{\text{р.м.}}$ – коэффициент облучённости рабочего места загрузочным отверстием площадью A , принимаемый по рис.3-3.

Теплопоступления от электрических печей нельзя рассчитывать по величине установочной электрической мощности $N_{\text{уст.}}$, указываемой в каталоге. Вследствие особенности работы печи в помещение поступает лишь часть электрической мощности печи, называемая иногда “мощность холостого хода”, имеющая место при стационарном тепловом состоянии печи.

Для определения тепловыделений в помещение электрическими печами существует несколько способов:

- По мощности холостого хода $N_{\text{хх}}$, кВт:

$$Q_{\text{эл.печи}} = 1000 N_{\text{xx}} \quad (3.7)$$

- По доле $n\%$ от номинальной электрической мощности печи, расходуемой на теплопотери печью:

$$Q_{\text{эл.печи}} = 1000 (n/100) N_{\text{уст}} \quad (3.8)$$

Если указанные величины неизвестны, ориентировочно теплоступления можно определить по назначению печи.

В таблице 3.2 указаны значения величин тепловыделений в Вт на 1 кВт установочной мощности для печей различного назначения.

Таблица 3.2.

Тип электрической печи	Значения а, Вт
Камерные, шахтные, методические	200
Колокольные	130
Муфельные	150
Печи – ванны	400
Печи, без указания типа печи	250

- Теплоступления определяют как:

$$Q_{\text{эл.печи}} = a N_{\text{уст}} \quad (3.9)$$

где $N_{\text{уст}}$ установочная электрическая мощность печи в кВт.

Если в цехе установлено несколько групп печей разных типов, расчёт теплоступлений ведётся отдельно по каждой группе однотипных печей с учётом коэффициентов загрузки $K_{\text{загр.}} < 1$ (учитывающем несовпадение во времени тепловых режимов каждой из печей) и одновременности действия $K_{\text{одн.}} < 1$, (по условиям технологического процесса не все печи в группе могут работать).

Теплопоступления от электродвигателей станков и механизмов.

Станочное оборудование и электрический привод к нему могут находиться в одном или, (что встречается реже) различных помещениях.

Станками электроэнергия в основном расходуется на выполнение механической работы, которая, в конечном итоге превращается в тепловую (джоулева теплота). Электродвигатель часть подводимой к нему электрической энергии превращает в тепловую, и только часть в механическую.

Если механическое оборудование и электропривод размещены в разных помещениях, то теплопоступления, Вт, в каждое из помещений будут следующими:

- помещение, в котором установлен станок:

$$Q_{\text{мех.об.}} = 1000\eta N_{\text{уст.}} K_{\text{т}} \quad (3.10)$$

- помещение с установленным электроприводом:

$$Q_{\text{пр.}} = 1000(1 - \eta) N_{\text{уст.}} \quad (3.11)$$

где η – коэффициент полезного действия электродвигателя в долях единицы; $N_{\text{уст.}}$ – установочная мощность электродвигателя, принимаемый по каталогу, обычно находящийся в пределах (0,75 – 0,92), кВт; $K_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий, что часть перешедшей в теплоту электрической мощности не выделяется в помещении, а уносится, например водо – эмульсионным охлаждением деталей во время обработки, переносится с неостывшими изделиями в другое помещение и т.д. (0,1 – 1).

- электрический привод смонтирован вместе с механическим оборудованием и представляет единый агрегат (станок):

$$Q_{\text{агр.}} = 1000 N_{\text{уст.}} (1 - \eta + \eta K_{\text{т}}) \quad (3.12)$$

При любом варианте взаимного расположения механического оборудования и приводящего его в действие электродвигателя необходимо дополнительно вводить поправки:

- коэффициент одновременности работы, $K_{\text{одн}}$ (0,5 – 1) (при нескольких единицах установленного оборудования часть может простаивать, например, по причине ремонта);
- коэффициент загрузки, $K_{\text{загр}}$ (0,5 – 0,8) (при работе механического оборудования не всегда используется вся установочная мощность);
- коэффициент использования мощности $K_{\text{исп}}$ (0,7 – 0,9) (коэффициент полезного действия электродвигателя в каталоге указывается для установочной мощности; если используемая мощность меньше установочной, коэффициент полезного действия двигателя меньше указанного в каталоге);
- коэффициент, учитывающий количество теплоты, поступившей в воздух помещений от обработанных деталей, находящихся в помещении ограниченное время (коэффициент $K_{\text{т}}$).

Окончательно формулы (3.10) (3.11) (3.12) примут вид:

$$Q_{\text{мех.об.}} = 1000\eta N_{\text{уст.}} K_{\text{одн.}} K_{\text{загр.}} K_{\text{исп}} K_{\text{т}} \quad (3.13)$$

$$Q_{\text{пр.}} = 1000(1 - \eta) N_{\text{уст.}} K_{\text{одн.}} K_{\text{загр.}} K_{\text{исп}} \quad (3.14)$$

$$Q_{\text{агр.}} = 1000 N_{\text{уст.}} K_{\text{одн.}} K_{\text{загр.}} K_{\text{исп.}}(1 - \eta + \eta K_{\text{т}}) \quad (3.15)$$

Тепловыделения от силовых трансформаторов. Любое промышленное предприятие для снабжения электроэнергией технологического оборудования имеет трансформатор большой электрической мощности, выделяющий значительные количества теплоты. Одиночные трансформаторы устанавливаются в специальных помещениях (трансформаторных), которые

следует вентилировать. Трансформаторные помещения обычно не отапливаются и сообщаются с наружным воздухом через отверстия в стене или дверях трансформаторной камеры. Отверстия располагают ниже и выше трансформатора. Проёмы отверстий защищают от нежелательных проникновений в помещение жалюзийными решётками. Подогретый теплотой, выделяемой трансформатором, воздух выходит через верхнее отверстие, а на его место поступает более холодный наружный воздух. В случае установки трансформатора в помещении, не сообщаемом с наружным воздухом, устраивается механическая приточно - вытяжная вентиляция.

Теплопоступления от силового трансформатора можно определить как:

$$Q_{\text{пр}} = 1000(1 - \eta) N_{\text{уст.}} K_{\text{загр.}} K_{\text{исп}} \quad (3.16)$$

Теплопоступления от сварочных трансформаторов. Сварочные трансформаторы могут размещаться в помещении, где производятся сварочные работы и вне его. Вся электрическая мощность, подводимая к трансформаторам, превращается в теплоту. Если сварочные работы проводятся в том же помещении, где установлены и трансформаторы, тепловыделения $Q_{\text{тр.}}$, Вт составят:

$$Q_{\text{пр.}} = 1000 \Sigma N_{\text{уст.}} K_{\text{одн.}} K_{\text{загр.}} K_{\text{исп}} K_{\text{т}} \quad (3.17)$$

$\Sigma N_{\text{уст}}$ – общая установочная мощность всех находящихся в помещении сварочных трансформаторов, кВт.

Если сварочные трансформаторы находятся вне помещения, где выполняются сварочные работы, теплопоступления в помещение сварочных работ можно определить как:

$$Q_{\text{мех.об.}} = 1000\eta \Sigma N_{\text{уст.}} K_{\text{одн.}} K_{\text{загр.}} K_{\text{исп}} K_{\text{т}} \quad (3.18)$$

Теплопоступления от мест газовой сварки, не оборудованных местными отсосами, $Q_{\text{св.}}$ могут быть определены, если известны секундный расход газа U , н/м³, и его теплотворная способность, Q_p^H , кДж/нм³:

$$Q_{\text{св.}} = \eta_{\text{г}} Q_p^H U \quad (3.19)$$

где $\eta_{\text{г}}$ - КПД сварочной газовой горелки, равен примерно 0,9; $G_{\text{п}}$ - расход пара молотами, кг/ч; $i_{\text{нач}}$ и $i_{\text{вых}}$ - энтальпия пара на входе и выходе из молота.

Теплопоступления от остывающих материалов имеют место в кузнечных, термических цехах и подобных им производствах. Иногда для утилизации теплоты остывающих деталей, устраивают специальные вентилируемые камеры, в которых детали остывают. Теплота удаляемого воздуха утилизируется. Остывать могут изделия, изготовленных из других материалов, например, бетонные плит после пропаривания в цехе железобетонных изделий. Полное количество теплоты, выделяющееся при остывания изделия составит:

$$Q_{\text{остыв.}} = c G (t_{\text{мат.}} - t_{\text{в}}) \quad (3.20)$$

где c – удельная теплоёмкость материала остывающего изделия, кДж/кг °С; G – масса остывающих изделий, кг; $t_{\text{мат.}}$ и $t_{\text{в}}$ – соответственно, начальная температура материала изделия и температура воздуха цеха, °С.

В литейных цехах металлургических и машиностроительных заводов выделяется теплота от остывания жидкого металла до температуры отверждения и теплота отверждения металла. Полное количество выделяющейся теплоты составит:

$$Q_{\text{остыв.}} = c_{\text{ж}} G (t_{\text{ж.мет.}} - t_{\text{тв.}}) + i_{\text{тв.}} + c G (t_{\text{тв.}} - t_{\text{в}}) \quad (3.21)$$

где $c_{ж}$ – удельная теплоёмкость жидкого металла, кДж/кг $^{\circ}\text{C}$; $t_{ж.мет.}$ и $t_{тв.}$ – соответственно, температура жидкого металла, заливаемого в формы и температура отверждения металла, $^{\circ}\text{C}$; $i_{тв.}$ – теплота плавления или отверждения металла, кДж/кг.

В таблице 3.3 представлены теплофизические характеристики стали и чугуна, позволяющие определить количество теплоты по формулам 1.57 и 1.58.

Таблица 3.3

Теплофизические характеристики стали и чугуна.

Материал	Температура плавления или отверждения металла, $^{\circ}\text{C}$	Теплота плавления или отверждения металла, кДж/кг	Теплоёмкость металла	
			В расплавленном состоянии, кДж/кг $^{\circ}\text{C}$	В твёрдом состоянии от 0 до $t_{тв}$ кДж/кг $^{\circ}\text{C}$
Сталь	1300 – 1500	92 – 100	1,17	0,73
Чугун	1050 – 1500	96 – 100	1,05	0,755

Интенсивность теплоотдачи при остывании нагретых деталей изменяется во времени, постепенно снижаясь. Ориентировочно поступление теплоты от нагретых материалов и изделий за некоторый промежуток времени Δz с начала охлаждения можно определить по формуле:

$$Q'_{\text{ост.}} = c G (t_{\text{мет.}} - t_{\text{в}}) B \quad (3.22)$$

где B – доля избыточного содержания теплоты, потерянного телом за время Δz с начала охлаждения.

Величина B зависит от размеров, формы, теплофизических свойств, продолжительности охлаждения. Оно может быть приближённо определено по графику на рис.3-4 в зависимости от критерия F_0 , равного:

$$Fo = \frac{\Delta z}{cGR} \quad (3.23)$$

где c – теплоёмкость материала; G – масса изделия; R – полное сопротивление теплопередаче со всей поверхности остывающего изделия, $^{\circ}\text{C}$, равное:

$$R = \frac{G}{\rho\lambda A^2} + \frac{1}{\alpha_{\text{пов.}} A} \quad (3.24)$$

(здесь ρ – плотность материала, кг/м^3 ; λ – теплопроводность материала, $\text{Вт/м}^{\circ}\text{C}$, в случае сыпучих материалов должна быть увеличена на 25%; $\alpha_{\text{пов.}}$ – коэффициент теплообмена на поверхности изделия, вычисляемы по формуле: $\alpha_{\text{пов.}} = (\varepsilon_{\text{пр.}} C_0 b + A \sqrt[3]{t_{\text{пов.}} - t_{\text{в.}}})$; A – поверхность изделия, м^2).

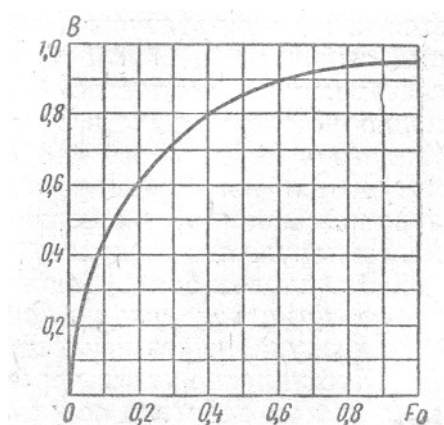


Рис 3-4. Зависимость от критерия Fo доли избыточной теплоты изделия, выделившейся в помещение

В то же время для помещения рассчитывается тепловой баланс тепловых потоков, имеющих размерность, Вт. Для перевода полученных количеств выделившихся за некоторый промежуток времени Δz теплоты в осреднённый по периоду Δz тепловой поток, Вт, следует определить как:

$$Q_{\text{остыв.}} = \frac{0,278cG(t_{\text{мет.}} - t_{\text{в.}})B}{\Delta z} \quad (3.25)$$

Δz – промежуток времени в часах, за который рассчитывается осреднённый тепловой поток от изделия.

В практике проектирования ориентировочно принято считать, что за первый час охлаждения нагретое изделие выделит 50% избыточной теплоты, за второй 30%, и за третий час – 20%. В этом случае при использовании формулы 2.25 величина временного интервала Δz должна приниматься не менее 1-го часа.

Расход теплоты на подогрев ввозимых материалов рассчитывается по формулам, аналогичным 3.23 – 3.24. Для определения расхода теплоты, расходуемой на подогрев транспортных средств, обычно пользуются справочными данными, представленными в табличной форме для отдельных типов автомобилей и железнодорожных вагонов.

В качестве примера такого вида данных в таблице 3.4 представлены данные по расходу теплоты на подогрев товарного железнодорожного вагона.

Таблица 3.4.

Расход теплоты на подогрев железнодорожных вагонов различного типа.

Тип вагона	Грузоподъёмность, т	Затраты теплоты на подогрев товарного вагона, Q`, МДж при расчётной температуре наружного воздуха, °С.									
		-15		-20		-25		-30		-35	
		и температуре воздуха помещения, °С.									
		+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15	+5	+15
Крытый	50	301,4	452,2	376,8	527,5	452,2	590,3	527,5	678,3	590,3	753,6
Платформа	50	251,2	376,8	314	439,6	376,8	502,4	439,6	611,3	502,4	628
Хоппер	60	226,3	339,1	282,6	395,7	339,1	452,2	395,7	508,7	452,2	565,2

Для получения величины теплового потока, необходимо воспользоваться величиной В и формулой:

$$Q_{\text{ост.ваг.}} = 0,278 Q' B / \Delta z \quad (3.26)$$

Тепловой баланс помещения. Цель составления теплового баланса помещения состоит в определении величины теплоизбытков, на основе которых определяется требуемый для их удаления воздухообмен. Если в помещении имеют место теплонедостатки, по их величине вычисляется необходимая степень перегрева приточного воздуха в случае совмещения приточной вентиляции с воздушным отоплением. Ещё одна важная функция теплового баланса – определение удельных теплоизбытков, приходящихся на один кубический метр объёма помещения, иногда называемых теплонапряжённостью. По величине удельных теплоизбытков можно оценить наличие или отсутствие грубых ошибок в подсчётах теплопоступлений и теплопотерь, так как каждому виду технологического процесса соответствует некоторый известный диапазон удельных теплоизбытков или теплонедостатков.

В таблице 3.5 представлены данные о величинах тепловой напряжённости “горячих” цехов предприятий металлургии и металлообработки.

Таблица 3.5.

Теплонапряженность горячих цехов $q_{п.}$

Цех	Значения $q_{п.}$, Вт/м ³ при объеме цеха в тыс. м ³				
Мартеновский, конверторный, электросталеплавильный	-	-	230	200	175
Прокатный	-	200	175	140	116
Стале-чугунолитейный	58	42	-	-	-
Термический	290	175	-	-	-
Кузнечно – прессовый	230	160	90	-	-

В расчётах вентиляции тепловые балансы рассчитываются для 3 – х периодов года: тёплого, переходного и холодного.

Расчёт теплового баланса удобно производить в форме таблиц, в отдельные графы которых заносят данные о теплотерях и тепlopоступлениях. Ниже приводится примерная форма таблицы теплового баланса для помещения промышленного здания.

Примерная форма таблицы теплового баланса помещения производственного здания.

Таблица 3.6.

Наименование помещения	Объём помещения, м ³	Расчётный период года	Теплопоступления в помещение, Вт					
			От людей	От солнечной радиации	От искусственного освещения	От оборудования с электроприводом	От теплового оборудования	От остывания материалов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Тёплый						
		Переходный						
		Холодный						

Теплопоступления		Теплопотери помещения					Избыточная теплота	
От коммуникаций	суммарные	Через ограждения	От инфильтрации	Нагрев материалов и транспорта	Врывание воздуха через проёмы	Суммарные	Вт	Вт/м³
10	11	12	13	14	15	16	17	18

3.3 Источники поступления газов и паров в воздух помещения промышленного здания, расчет поступлений от них

Тепло- и массообмен между воздухом, и поверхностью жидкости.
Процесс тепло- и влагообмена поверхности жидкости с окружающей средой является комплексным процессом, в котором теплообмен взаимно связан с процессом испарения.

Если температура поверхности ниже точки росы, на поверхности жидкости будет происходить конденсация водяного пара из воздуха; это явление используется в контактных аппаратах кондиционирования воздуха, например оросительных камерах, для осушки и охлаждения воздуха. *Ориентировочный расчёт количеств явной теплоты и влаги*, поступающих в воздух помещения с открытой водной поверхности может быть определён по эмпирическим формулам:

- поток конвективного (явного) тепла с одного квадратного метра водной поверхности, Вт:

$$q_{\text{конв}} \approx (5,71 + 4,06v)(t_{\text{пов}} - t_{\text{в}})A_{\text{пов}} \quad (3.27)$$

где v – скорость движения воздуха над поверхностью воды, м/с; $t_{\text{пов}}$ – температура поверхности воды °С; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха, °С; $A_{\text{пов}}$ – площадь водной поверхности, с которой происходит испарения, м².

• поток водяного пара с одного квадратного метра водной поверхности, кг/ч:

$$i \approx (a + 0,131v) (p_{\text{пов}} - p_{\text{в}}) A_{\text{пов}} \quad (3.28)$$

где a – коэффициент, зависящий от температуры поверхности воды $t_{\text{пов}}$.

Таблица 3.7.

Значения коэффициентов a в зависимости от температуры испаряющейся воды.

$t_{\text{пов}} \text{ } ^\circ\text{C, до}$	30	50	70	90
A	0,216	0,248	0,303	0,383

Если нагретая вода в резервуаре не перемешивается принудительно, температура её поверхности $t_{\text{пов}}$ ниже средней температуры толщи воды $t_{\text{ж}}$. Применительно к представленным выше формулам, экспериментально были получены данные, представленные в таблице 3.8.

Таблица 3.8.

Значения разности температур толщи испаряющейся жидкости и её поверхности при различных значениях температуры толщи жидкости

Температура толщи воды, $^\circ\text{C}$	До 40	70 – 75	99
Разность температур толщи воды и температуры её поверхности, $^\circ\text{C}$	2	12	3

Испарение с поверхности смоченного пола W , г/м² ч:

$$W = 6,1 (t_{\text{с}} - t_{\text{м}}) \quad (3.29)$$

где $t_{\text{с}}$ и $t_{\text{м}}$ – соответственно, температуры воздуха помещения по сухому и мокрому термометру.

Испарение с поверхности кипящей воды. При кипении воды вся подводимая теплота расходуется на испарение. Масса поступающего в воздух водяного пара $M_{вп}$, г/ч, определяется количеством подводимой теплоты:

$$\begin{aligned} M_{вп} &= Q' / i_{100} = 3600 Q / 1000(2500 + 1,8t) = \\ &= 3,6Q / (2500 + 1,8 \cdot 100) \approx 1,348 \cdot Q \end{aligned} \quad (3.30)$$

Q – количество подводимой в воде теплоты, Вт; i_{100} – энтальпия воды при температуре кипения.

Поступление влаги от станков с эмульсионным охлаждением. При эмульсионном (обычно содержащем поверхностно-активные вещества, облегчающие резание металла) охлаждении деталей, обрабатываемых на токарно-винторезных станках, в воздух помещения поступает 150 г/ч водяного пара на каждый кВт электрической мощности станка.

Выделение газов и паров со свободной поверхности не содержащей воду жидкости. Массовый расход испаряющейся жидкости, содержащей химические вещества, может быть определен с достаточной точностью по формуле:

$$G = M (0,000352 + 0.000786v) pA \quad (3.31)$$

где G - массовый расход испаряющейся жидкости, кг/ч; M - относительная молекулярная масса испаряющейся жидкости; v — скорость перемещения воздуха над поверхностью жидкости, м/с; p - упругость пара испаряющейся жидкости, насыщающего воздух при температуре её поверхности мм рт. ст.: A - площадь поверхности испарения, м².

Значения упругости пара p некоторых жидкостей, испаряющихся при температуре помещения, приведены в табл. 3.9.

Таблица 3.9.

Упругость p насыщенного пара некоторых жидкостей при температуре 20° С.

Жидкость	p , Па, (мм рт. ст.)	Жидкость	p , Па, (мм рт. ст.)
Этиловый спирт	5720 (43)	Амиловый спирт, хлорбензол	532 (4)
Ацетон	3720 (28)	Анилин, нитробензол	40 (0,3)
Этиловый спирт, бензол, дихлорэтан	2000 (15)	Ртуть	0,16 (0,0012)

Выделение углекислого газа CO_2 людьми. Количество углекислого газа, выделяемого людьми, зависит от интенсивности выполняемой ими работы и может быть определено по табл. 3.10.

Таблица 3.10.

Возраст людей и характер выполняемой работы	Объёмный расход CO_2 , л/час	Массовый расход CO_2 , г/час
Взрослые люди при выполнении работы: Умственной или в состоянии покоя	23	45
Лёгкой физической	30	60
Тяжёлой	45	90
Дети до 12 лет	12	24

Газовыделения при зарядке аккумуляторов. При зарядке наиболее распространённых свинцовых аккумуляторов выделяются водород и кислород; в виде так называемых «полых капель» - пузырьков газа, заключенных в оболочку электролита H_2SO_4 . Полые капли, поднимаясь над поверхностью электролита, лопаются и загрязняют воздух мельчайшими частицами серной

кислоты. Наиболее интенсивное их выделение наблюдается в конце зарядки аккумуляторов.

В процессе зарядки идет реакция разложения серной кислоты, находящейся аккумуляторе: $2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{H}_2 + 2\text{SO}_3 + \text{O}_2$.

Происходит выделение в воздух помещения водорода и кислорода, которые могут образовывать взрывоопасную смесь при содержании водорода в воздухе 4% по объему.

По закону Фарадея один элемент при пропускании тока в 1 А·ч при 0° С и 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) выделяет следующие объем и массу водорода и кислорода:

Таблица 3.11.

Выделения водорода и кислорода одним элементом свинцового аккумулятора при зарядке

Удельные величины	Водород	Кислород
Объём, л	0,418	0,21
Масса, г	0,03748	0,2984

Обычный автомобильный аккумулятор состоит из шести элементов и является аккумуляторной батареей. При установке на зарядку нескольких батарей в аккумуляторном или ином помещении средний объемный расход выделяющегося водорода может быть определен по формуле:

$$V = 0,418 \frac{T}{273} \frac{1}{10B} \sum I \cdot n \cdot 10^3 \quad (3.32)$$

где V - средний объемный расход выделяющегося водорода, м³/ч; T – абсолютная температура воздуха, К, B - барометрическое давление, МПа; I – максимальная сила зарядного тока, А, для каждой из батарей, находящихся в аккумуляторном отделении; n - число элементов в батареях, находящихся под зарядкой.

При проектировании вентиляции аккумуляторного помещения допустимое содержание водорода в воздухе из условия взрывобезопасности принимается равным 0,7% по объёму.

Глава 4. Местные отсосы, конструкция и требуемый объем удаляемого воздуха

4.1. Общие сведения о местных отсосах

Специальные вентилируемые укрытия, называемые *местными отсосами* (далее МО), позволяют удалять вредные выделения непосредственно от мест их выделения с существенно большими концентрациями, и соответственно, меньшим количеством воздуха.

Местный отсос – вентилируемое устройство для локализации вредных выделений у места их образования и удаления загрязненного воздуха за пределы помещения с концентрациями, более высокими, нежели при общеобменной вентиляции.

Местные отсосы препятствуют прониканию вредных выделений в зону дыхания работающих, осуществляя санитарно-гигиеническую функцию, экономят теплоту, электроэнергию за счёт снижения общего воздухообмена в помещении, но требуют прокладки в помещении сетей вытяжных воздуховодов.

Причинами распространения вредных выделений являются воздушные потоки вблизи мест их выделения, а также общая циркуляция воздуха в помещении.

Технологические требования к МО:

а) источник вредных выделений должен быть укрыт МО максимально (насколько это позволяет технологический процесс), рабочий проем должен иметь минимальные размеры;

б) не должен мешать работнику выполнять производственные операции и снижать производительность труда;

в) движение воздуха в пределах МО должно совпадать с направлением естественного движения вредных выделений: газов и паров легче воздуха – снизу - вверх, тяжелых и пыли – сверху - вниз;

г) должен иметь простую конструкцию, малое гидравлическое сопротивление, легко сниматься и устанавливаться на место после чистки и ремонта.

Местные отсосы условно делят на *закрытые, полуоткрытые, и открытые.*

Закрытые отсосы являются составной частью кожуха машины или аппарата, имеют небольшие рабочие отверстия. У *полуоткрытого отсоса* источник вредных выделений располагается внутри отсоса, в стенке МО имеется рабочий проём, достаточный для выполнения технологических операций. Отсосы *открытого типа* находятся за пределами источника вредных выделений — над ним или сбоку от него, осуществляют локализацию вредностей воздушными потоками, формируемыми *спектрами всасывания* у отверстий и щелей, через которые из местных отсосов удаляется воздух. Существует также классификация отсосов *по конструктивному признаку:*

- кожуховые укрытия (кожухи);
- вытяжные шкафы;
- витринные отсосы;
- вытяжные зонты;
- панели равномерного всасывания;
- бортовые, кольцевые, боковые и нижние отсосы.

Работа МО должна быть стабильной в течение всего года, поэтому обслуживаются они исключительно вытяжными системами с механическим побуждением, которые относятся к *местным вытяжным вентиляционным системам.*

Местная вытяжная система обслуживает некоторое количество местных отсосов, которые могут удалять *разные виды вредных выделений*, в том числе и вступающие между собой в химические реакции с образованием *новых химических соединений*. Кроме того, оборудование, защищённое местными

отсосами, часто имеет индивидуальный временной режим работы. Поэтому обслуживать одной вытяжной системой рекомендуется местные отсосы:

- защищающие оборудование с одинаковыми или достаточно близкими временными режимами работы;
- удаляющие вредности, при химическом взаимодействии которых не будут получены соединения, более вредные для здоровья человека, нежели вредности, которые удаляет каждый из местных отсосов.

Вытяжные системы с местными отсосами, вентилируемыми естественной тягой существуют. Как правило, это МО, удаляющие высокотемпературные смеси воздуха и газов от промышленных печей.

Местные отсосы классифицируются как полностью *закрытые отсосы* или *кожухи*, *полуоткрытые* и *открытые отсосы*. В пособии представлены виды местных отсосов имеющие место в курсовых проектах.

4.2. Описание местных отсосов, их конструкция, места установки. Расчет требуемого объема удаляемого воздуха

Кожуховое укрытие перегрузочного узла сыпучего материала с одной транспортёрной ленты на другую с помощью жёлоба являются часто встречающимся случаем вентилируемого укрытия для так называемых «пересыпок».

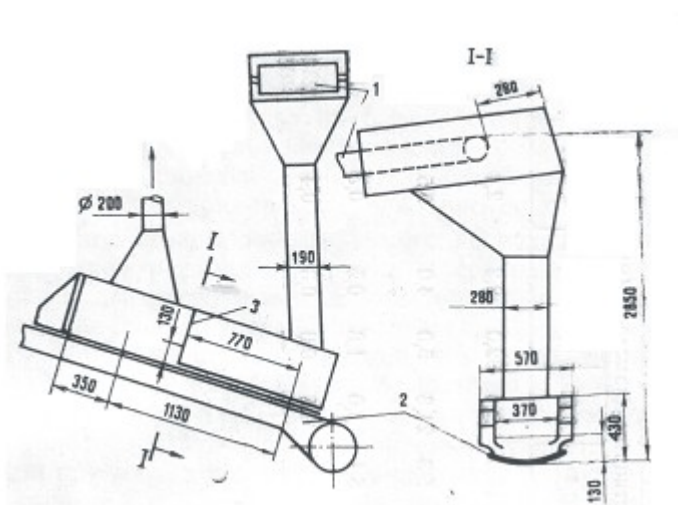


Рис. 4-1. Схема перегрузочного узла сыпучего материала из желоба на транспортёрную ленту.

1 – верхний конвейер; 2 – нижний конвейер; 3 – внутренняя жёсткая перегородка

Описание перегрузочного узла и местного отсоса. Пересыпка происходит из окончания транспортёрной ленты верхнего конвейера в начальную часть транспортёрной ленты нижнего конвейера действием силы тяжести. Разность отметок транспортёрных лент верхнего и нижнего конвейера - 2850 мм. МО состоит из трёх элементов:

- укрытого бункера с проёмом для прохода транспортёрной ленты верхнего конвейера;
- присоединённого к его нижней части желоба сечением 280x190 мм;
- корытообразного укрытия, разделённого жёсткой перегородкой, к нижней части которого присоединён желоб, а из верхней части осуществляется вытяжка воздуха воздуховодом Ø280 мм; именно в этой части создаётся расчётная величина разрежения.

Сыпучий материал ссыпается с верхнего конвейера 1 в промежуточный бункер, и далее в вертикальный желоб. В бункере и по желобу сыпучий материал перемещается силой тяжести. Падающий материал вовлекает в движение воздух, придавая ему кинетическую энергию. По достижении транспортёрной ленты нижнего конвейера кинетическая энергия воздуха превращается в статическое давление, которое выбивает запылённый воздух во вне укрытия. Через зазор между внутренней жёсткой перегородкой и слоем транспортируемого сыпучего материала происходит разрежение в верхней части укрытия, препятствующего выбиванию запылённого воздуха не только из укрытия нижнего, но и верхнего конвейеров.

В таблице 4.1 содержатся рекомендуемые разрежения в укрытии узла перегрузки сыпучего материала на ленту транспортёра (рис. 4-1).

Таблица 4.1.

Рекомендуемые разрежения в укрытии перегрузочного узла сыпучего материала из желоба на транспортёрную ленту представлены ниже

Вид материала	Оптимальное разрежение в различных укрытиях, Па	
	с одинарными стенками	с двойными стенками
Кусковой	10 - 12	6 - 8
Зернистый	9 - 10	6 - 8
Порошкообразный	-	5 - 6

Приведенные в таблице величины разрежения позволяют определить требуемый объём вытяжки.

Объёмный расход воздуха, м³/час, вносимого в укрытие «пересыпки» с поступающим по желобам материалом, определяется по формуле:

$$L_m = 0,12K_y W_m v_m^2 \quad (4.1)$$

где K_y — коэффициент, зависящий от конструкции укрытия материала: при вентилируемых перепадах с ленты на ленту транспортёра $K_y = 1...1,2$; для емких укрытий, загружаемых через желоб, и невентилируемых перепадов с ленты на ленту транспортёра $K_y = 1,4...2$; для укрытий на транспортёре при поступлении материала из дробилок $K_y = 2,2...3$; W_m - объёмный расход материала, загружаемого через желоб, м³/час; v_m - скорость движения материала в укрытие из загрузочной точки, м/сек.

Расход поступающего материала, м³/ч, можно определить по формуле:

$$W_m = 300b^2 v_2 \quad (4.2)$$

где b — ширина ленты транспортера, м; v_2 ; — скорость движения ленты транспортера, м/с.

Скорость движения материала определяется по жолобу как:

$$v_m = [19,62 H(1 - 1,2f_m \operatorname{ctg} \alpha)]^{0,5} \quad (4.3)$$

где H — высота падения материала в жолобе, м; f_m — коэффициент трения материала о поверхность жолоба; α - угол наклона жолоба к горизонтали, град.

Коэффициент трения материала f_w может приниматься равным:

для гипса и руды	0,65
глины и сырой земли	0,8
сухой земли, щебня, гравия и каменного угля	0,5
песка и шлака	0,6

Вентиляция очистного (галтовочного) барабана.

Описание очистного барабана и местного отсоса к нему.

Мелкое и среднее литьё очищают от формовочной земли и окалины в *очистных (галтовочных) барабанах* путём соударения деталей друг с другом при вращении барабана, заполняемого очищаемыми деталями примерно на жве трети объёма. Иногда дополнительно к деталям в барабан загружают сыпучие абразивные материалы (рис.4-2). Образующаяся пыль отсасывается через полую цапфу с объёмным расходом, $\text{м}^3/\text{ч}$, равным:

$$L = 1800 d^2 \quad (4.4)$$

Поскольку запылённость отсасываемого воздуха высока, предусматривается пылеосадочная камера в качестве первой ступени очистки. Компенсирующий вытяжку из барабана приток поступает через другую, тоже полую, цапфу.

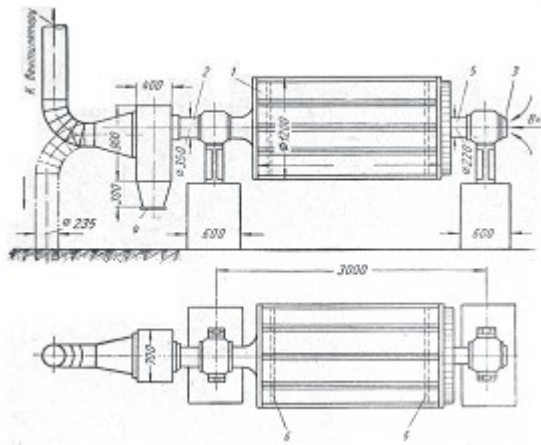


Рис. 4-2. Вентиляция очистного (галтовочного) барабана.

1 – очистной барабан; 2 – полая цапфа, через которую удаляется запылённый воздух; 3, 5 – полая цапфа, через которую воздух поступает в барабан; 4 – пылесадочная камера; 6 – решётка внутри барабана.

Вентиляция камер пескоструйной и гидropескоструйной очистки среднего литья. Очистку более крупного литья или иных металлических деталей производят в камерах пескоструйной и гидropескоструйной очистки.

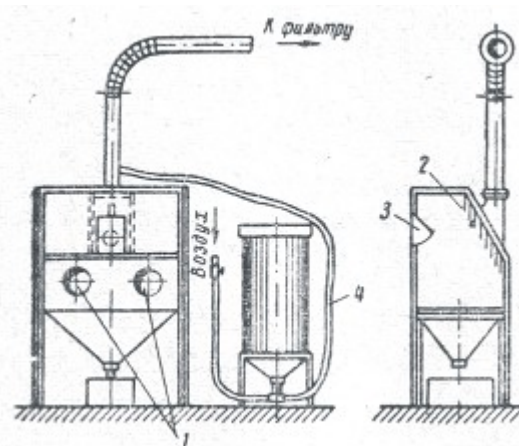


Рис. 4-3. Пескоструйная камера для очистки металлических изделий. Рабочее место находится за пределами объёма пескоструйной камеры.

1 – отверстия для рук; 2 – щитки или цепи, предотвращающие попадание песка в воздуховод; 3 – смотровое окно; 4 – шланг с сжатым воздухом.

Описание пескоструйной (гидropескоструйной) очистки литья и камеры пескоструйной очистки деталей. На поверхности деталей, полученных способом литья в опоку, имеются остатки формовочной земли, окалина.

Очистка поверхности осуществляется струёй сжатого воздуха, истекающей из сопла, в которой содержится сухой или мокрый песок.

Песок, в основном состоит из двуокиси кремния. В процессе очистки происходит частичное разрушение песчинок с образованием пыли, называемой *кварцевой*. Вдыхание кварцевой пыли приводит к заболеванию *силикозом*. Поступление пыли в воздух в процессе очистки деталей снижают подмешиванием в песок воды. Пескоструйные установки, в сжатый воздух которых подмешивается мокрый песок, называют *гидропескоструйными*.

Пескоструйные камеры малого объёма предполагают размещение рабочего вне камеры, в камерах большого объёма работник размещается внутри камеры. В камерах с внешним обслуживанием размещается поворотный стол, на котором размещается подвергаемая очистке деталь, которая поворачивается в направлении смотрового окна. Вытяжка из камеры должна быть достаточной, чтобы обеспечить приемлемую степень видимости очищаемой детали.

Камеры малого и среднего объёма установок обоих видов (рис. 4-3) обслуживаются снаружи. При внутреннем объёме камеры меньшем 1 м^3 , объём удаляемого из камеры воздуха не может быть меньше $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, но должен обеспечивать кратность воздухообмена 1800 1/час . Если объём камеры в пределах $1...8 \text{ м}^3$, кратность вытяжки из камеры должна составлять $\sim 1200 \text{ 1/час}$, а объём вытяжки должен быть не менее $2000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Столь высокий воздухообмен, в обоих случаях, обусловлен необходимостью обеспечения видимости очищаемой детали в камере, заполненной запылённым воздухом.

Защитно-обеспыливающие кожухи устраивают у станков, обработка изделий которыми производится с помощью абразивных или матерчатых кругов. К ним относятся обдирочно — шлифовальные, полировальные и заточные станки. В кожухах (рис. 4-4) удалением запылённого воздуха создается разрежение, при котором скорость входа воздуха в рабочее отверстие значительно выше скорости витания частиц пыли, образующейся в процессе обработки изделий.

Объемный расход воздуха, удаляемого от полировальных станков оборудованных:

матерчатыми кругами:

$$L = 6d_{кр} \quad (4.8)$$

войлочными:

$$L=4d_{кр} \quad (4.9)$$

Вытяжные шкафы имеют рабочий проем, достаточный для проведения различного вида работ, сопровождающихся выделениями вредных веществ.

На рис. 4-5 представлены три конструктивных схемы вытяжных шкафов для выполнения работ, сопровождающихся выделениями:

рис. 4-5-1 - газов и паров, плотность которых меньше плотности воздуха; вытяжка из верхней зоны шкафа;

рис. 4-5-2 - пыли, газов и паров, плотность которых больше плотности воздуха; вытяжка у основания шкафа;

рис. 4-5-3 - газов и паров одинаковой, или большей плотности, нежели у воздуха, которые могут выноситься вверх и конвективными или иными восходящими струями.

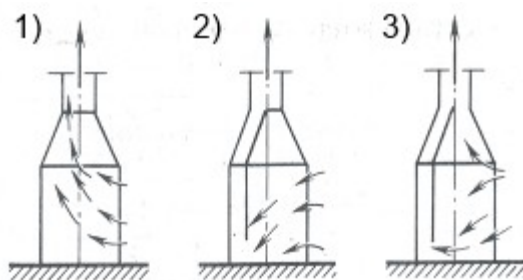


Рис. 4-5. Конструктивные схемы вытяжных шкафов для улавливания вредных паров и газов различной плотности и пыли.

1 – плотность выделяющихся паров и газов меньше плотности воздуха; 2 - плотность выделяющихся паров и газов больше плотности воздуха; 3 – плотности воздуха и вредных паров и газов примерно одинаковы, возможен вынос вредных веществ тяжелее воздуха в верхнюю часть шкафа конвективными и иными вертикальными потоками воздуха.

Если тепловыделения в шкафу во время выполнения технологических операций отсутствуют или незначительны, температура в объеме шкафа

практически будет равна температуре воздуха помещения, а объём вытяжки, м³/ч, определяется через рекомендуемую скорость в рабочем проёме как:

$$L_{\text{шкафа}} = 3600 A v \quad (4.10)$$

где: A – площадь рабочего проёма вытяжного шкафа, м²; v – рекомендуемая скорость воздуха в рабочем проёме, м/с.

Рекомендуемая скорость воздуха выбирается в зависимости от класса опасности вредных выделений (табл. 4.2).

Таблица 4.2.

Рекомендуемые скорости всасывания воздуха в рабочих проёмах вытяжных шкафов при некоторых производственных операциях.

Производственные операции	Основные вредные выделения	Класс опасности	Рекомендуемая средняя скорость воздуха в рабочем проёме
Операции с особо вредными веществами	Радиоактивные вещества, теллур, бериллий	Чрезвычайно опасные	2 – 3
Работа с нагретой ртутью	Пары ртути	Высокоопасные.	1,1 – 1,3
Работа с метиловым спиртом	Метиловый спирт	Умеренноопасные	0,9 – 1,1
Промывка бензином	Пары бензина	Малоопасные	0,5 – 0,6

Вытяжные зонты применяются для улавливания вредных выделений, выносимых в помещение устойчивыми конвективными струями (средняя скорость в конвективной струе должна составлять $\approx 0,5$ м/сек). При отсутствии

устойчивых конвективных струй над тепловыми источниками и наличии в помещении горизонтальных воздушных потоков, способных изменить траекторию конвективной струи загрязненного воздуха, применение традиционных зонтов не рекомендуется, но возможно применить *зонты со свесами*.

Пояснение: свесы - съёмные экраны из листового материала, огораживающих пространство между источником и зонтом с трёх, двух и одной стороны. Работа зонта с тремя свесами приближается к работе вытяжного шкафа.

Наибольшая степень улавливания при наименьшем расходе воздуха может быть достигнута, если скорость в рабочем отверстии зонта будет равна скорости воспринимаемой отсосом струи, а конфигурация вытяжного отверстия соответствовать конфигурации струи на входе в отсос.

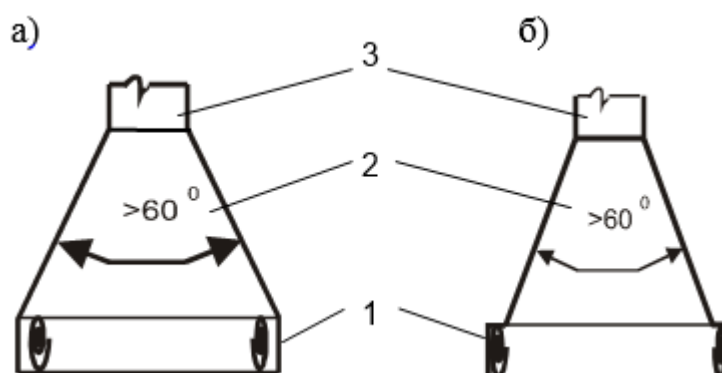


Рис. 4-6. Принципиальная схема вытяжного зонта.

а – с «юбкой» общепринятой формы; б – с юбкой оптимальной формы, более трудоёмкой в изготовлении; 1 – «юбка»; 2 – конусная часть; 3 – вытяжной воздуховод.

Получить в рабочем отверстии зонта подобное скоростное поле - задача эта сложная, обычно ограничиваются получением равномерного скоростного поля в плоскости всасывающего отверстия. Скорости в рабочем отверстии зонта будут примерно одинаковыми, если угол между образующими конусной части зонта не будет превышать 60° . Если высота помещения не позволяет иметь один подобный зонт над источником, улавливание производится несколькими сочленёнными зонтами с рекомендуемым углом раскрытия

образующих. Когда и это решение оказывается неприемлемым, зонт превращают в разновидность панели равномерного всасывания путём установки в рабочем отверстии специальной решетки.

По аэродинамической схеме зонт представляет собой конический вход в воздуховод, поэтому вблизи кромок входного отверстия имеет место некоторое сужение потока, заполненное замкнутым вихрем, способствующим выбиванию вредностей. Этот недостаток устраняется устройством «юбки», образующей «карман», в котором размещается вихрь, препятствовавший плавному входу воздушного потока в зонт. Обычно применяют зонты со следующими параметрами:

$$A_{\text{зонта}} = 1,5 A_{\text{источника}} ; L_{\text{зонта}} = 1,5 L_{\text{конв. стр.}} \quad (4.11)$$

где $A_{\text{источника}}$ и $L_{\text{конв. стр.}}$ — площадь горизонтальной проекции источника вредных выделений и расход воздуха в конвективной струе на входе в зонт; $A_{\text{зонта}}$ и $L_{\text{зонта}}$ соответственно, площадь рабочего проёма, м^2 , и объём вытяжки зонта, $\text{м}^3/\text{час}$.

Нижняя кромка зонта должна отстоять от пола на высоте 1,8...2,0 для того, чтобы не мешать работе.

Начальный объёмный расход воздуха $L_{\text{конв. стр.}}$, $\text{м}^3/\text{час}$, в тепловой струе, поднимающейся над источником, может быть определён по формуле:

$$L = 4,04 \cdot 10^{-2} \sqrt[3]{QAH} \quad (4.12)$$

где Q — количество конвективного тепла, выделяемого источником, Вт;
 F — площадь горизонтальной проекции поверхности источника тепловыделений, м^2 ;
 H — расстояние от источника тепловыделений до кромки зонта, м.

Всасывающие воронки являются разновидностью обычных зонтов (рис. 4-7), предназначены для улавливания потоков запыленного воздуха кинетического происхождения от вращающихся кругов абразивного инструмента или обрабатываемых неметаллических изделий (например, графитовые электроды). Применяются в случаях, когда не удаётся применить по технологическим причинам кожуховые укрытия. Воронки применяют в случае наличия в загрязнённом воздухе твёрдых частиц со значительной кинетической энергией, имеющие большую скорость, нежели воздушный поток. Гасят скорость частиц стенками воронки, размещая воронку, как только возможно, ближе к источнику пылевых выделений.

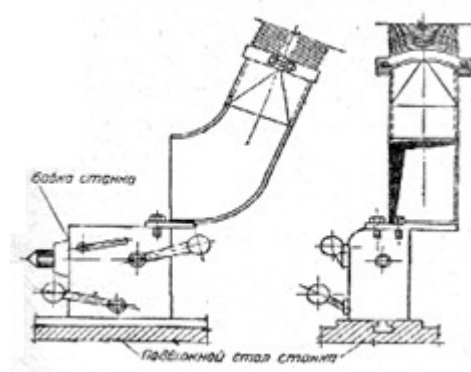


Рис. 4-7. Схема всасывающей воронки

Зонты-козырьки устанавливают над загрузочными отверстиями промышленных печей для улавливания дымовых газов или защитной атмосферы, как при открытых, так и при закрытых загрузочных отверстиях.

Пояснение: промышленные печи могут иметь электрическое, газовое, мазутное отопление, служат для выполнения операций отжига, снятия напряжений, цементации, нагрева поковок. Повышенное окисление металла, находящегося при высокой температуре металла, в случае проникновения воздуха в объём печи, предотвращают дымовые, *защитная атмосфера* или *эндогаз*, подаваемые в рабочую камеру электрической печи.

Дымовые газы из зазоров между дверкой загрузочного отверстия и стенкой печи постоянно выбиваются наружу. Максимальных значений выбивание газов достигает в момент открывания дверки для загрузки – выгрузки деталей или материалов. В электропечах эндогаз постоянно находится в процессе химических реакций с окислами железа, и должен постоянно подаваться в печь, что также приводит к выбиванию раскалённой атмосферы из печи. Это и вынуждает устанавливать над загрузочными отверстиями печей *зонт-козырёк*. На поду печи поддерживается давление дымовых газов или эндогаза равным атмосферному, чтобы воздух не поступал в печь. На отсечке верхней кромки загрузочного отверстия давление дымовых газов будет превышать атмосферное, что и служит причиной их выбивания наружу.

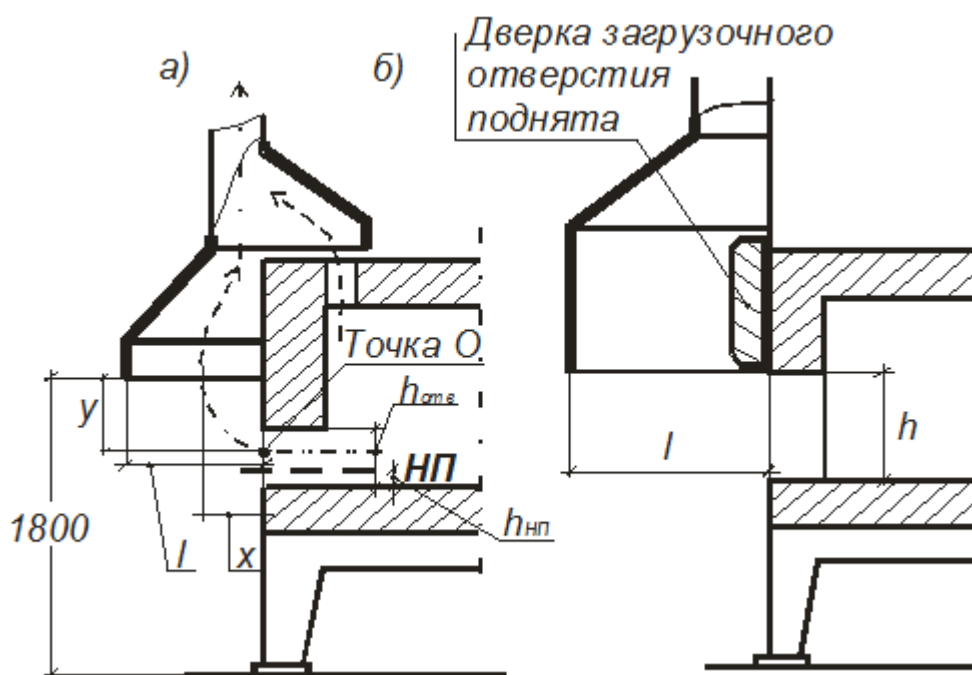


Рис. 4-8. Схемы зонтов – козырьков.

а – зонт – козырёк промышленной печи с газовым или мазутным отоплением.

б – зонт – козырёк электрической печи; $h_{нп}$ - высота нейтральной плоскости над подом печи, м.

Пояснение. На чертеже «а» дверца загрузочного отверстия не показана. «Жирным» пунктиром указана нейтральная плоскость.

Газовые и мазутные печи обычно имеют свою систему отвода дымовых газов через газоходы, но иногда она ограничивается устройством дымоотводящих каналов в своде печи, что приводит к выбросу газов непосредственно в помещение. В этом случае, чтобы избежать этого нежелательного явления, их улавливают зонтом - козырьком увеличенного размера (рис. 4-8а) или дополнительно над печью устраивают зонт над печью.

Расчёт зонта – козырька. Расчётным режимом является момент «мгновенного» открывания дверцы, сопровождающийся «залповым выбросом» в помещение дымовых газов. В момент полного открытия через нижнюю часть загрузочного отверстия воздух поступает в полость печи, а через верхнюю часть вырывается струя раскалённых газов. Границей нижней и верхней частей загрузочного отверстия разделяет нейтральная плоскость. Под влиянием разности плотностей дымовых газов и воздуха цеха ось струи газов искривляется вверх. Задача зонта-козырька полностью уловить эту струю.

Температура вырывающихся газов может превышать 1000°C , а вытяжка от зонтов-козырьков осуществляется естественной тягой или вентиляторами. В обоих случаях её приходится снижать до приемлемых пределов подмешиванием воздуха цеха:

- при естественной вытяжке - в пределах $300 — 400^{\circ}\text{C}$;
- если вытяжка производится вентиляторами с клиноременной передачей, температуру смеси принимают в пределах $120 – 130^{\circ}\text{C}$;
- в случае крепления рабочего колеса вентилятора на ось электродвигателя (исполнение 1) – 80°C .

Столь существенное снижение температуры удаляемой смеси дымовых газов и воздуха объясняется низкой температурной устойчивостью лаковой электрической изоляции обмоток электродвигателей. Во избежание коробления зонт-козырёк и вытяжной воздуховод выполняются из листовой стали толщиной не менее 2 мм.

Цель расчёта зонта – козырька состоит в определении длины («вылета») и ширины зонта – козырька, а также массового расхода удаляемой смеси продуктов сгорания и воздуха помещения. В данном пособии излагается алгоритм расчёта зонта - козырька, составленный для мазутной или газовой печи рис.4-8.

Расчёт зонта – козырька состоит из двух этапов:

1. определение положения нейтральной плоскости, разделяющей загрузочное отверстие на части, работающие на приток и вытяжку, относительно пода печи; массовых расходов воздуха и газа в газоходе, верхней и нижней частей загрузочного отверстия;

2. расчёт параметров истекающей из верхней части отверстия струи, размеров зонта – козырька и требуемого объёма вытяжки.

Последовательность расчётов 1-го этапа.

Пояснение. Расчёт проводится методом попыток.

а) задаются положением плоскости относительно пода печи, тем самым разделив загрузочное отверстие на части, работающие на приток в печь воздуха и на выброс дымовых азот в цех.

б) вычисляют гравитационное давление, под действием которого пересекаются воздух и дымовые газы.

Гравитационное давление для части загрузочного отверстия, расположенного ниже нейтральной плоскости $\Delta p_{\text{нижеНП}}$, Па:

$$\Delta p_{\text{нижеНП}} = g \frac{H_{\text{НП}}}{2} (\rho_{\text{печ}} - \rho_{\text{в}}) \quad (4.13)$$

Давление для части загрузочного отверстия, расположенного выше НП:

$$\Delta p_{\text{нижеНП}} = g \frac{H - H_{\text{НП}}}{2} (\rho_{\text{печ}} - \rho_{\text{в}}) \quad (4.14)$$

Гравитационное давление для газохода:

$$\Delta p_{\text{газоход}} = g \frac{H_{\text{газ}} - H_{\text{НП}}}{2} (\rho_{\text{печ}} - \rho_{\text{в}}) \quad (4.15)$$

Эти давления расходятся на создание скорости в отверстиях, которые перемещают массовые расходы воздуха:

- массовый расход через часть загрузочного отверстия ниже НП, кг/ч:

$$G_{\text{нижеНП}} = 3600 \mu H_{\text{НП}} B \sqrt{2 \Delta p_{\text{нижеНП}} \rho_{\text{в}}} \quad (4.16)$$

- массовый расход через часть загрузочного отверстия выше НП, кг/ч:

$$G_{\text{вышеНП}} = - 3600 \mu (H - H_{\text{НП}}) B \sqrt{2 \Delta p_{\text{вышеНП}} \rho_{\text{печ}}} \quad (4.17)$$

- массовый расход через газоход, кг/ч:

$$G_{\text{газоход}} = - 3600 \mu A_{\text{газ}} \sqrt{2 \Delta p_{\text{вышеНП}} \rho_{\text{печ}}} \quad (4.18)$$

- баланс массовых расходов, кг/ч:

$$\Delta G = G_{\text{газ}} + G_{\text{нижеНП}} + G_{\text{вышеНП}} + G_{\text{газоход}} \quad (4.19)$$

Если положение нейтральной плоскости выбрано правильно, баланс расходов будет равен нулю. При ручном счёте приходится пользоваться способом попыток.

Последовательность расчётов 2-го этапа:

- скорость истечения струи из верхней части отверстия загрузочного отверстия, м/с:

$$v_{\text{струи}} = \frac{G_{\text{вышеНП}}}{\rho_{\text{печ}} (H_{\text{отв}} - H_{\text{НП}}) B} \quad (4.20)$$

эквивалентный диаметр $d_{\text{экв}}$, м, части загрузочного отверстия, из которого происходит истечение струи дымовых газов:

$$d_{\text{экв}} = \frac{2(H_{\text{отв}} - H_{\text{НП}})B}{(H_{\text{отв}} - H_{\text{НП}}) + B} \quad (4.21)$$

величина критерия Архимеда, Ar , струи дымовых газов, определяющих степень искривления траектории оси струи под действием гравитационных сил:

$$Ar = \frac{gd_{\text{экв.}}}{v_{\text{струи}}^2} \frac{T_{\text{печи}} - T_{\text{в.}}}{T_{\text{в.}}} \quad (4.22)$$

на основе уравнения оси струи, искривляемой действием гравитационных сил:

$$\frac{y}{d_{\text{экв.}}} = \frac{0,5}{m} Ar \frac{x}{d_{\text{экв.}}^3} \quad (4.23)$$

где y – расстояние по вертикали от оси струи, истекающей из части отверстия выше НП, м; $m = 4,0$ – коэффициент затухания осевой скорости струи; x – расстояние от фронта печи до точки пересечения оси струи с плоскостью всасывающего отверстия зонта, м.

Вычисляется расстояние x :

$$x = \sqrt[3]{\frac{m y d_{\text{экв}}^2}{0,5 Ar}} \quad (4.24)$$

Но зонт – козырёк должен принять в себя всю струю, поэтому кромка должна отстоять от фронта печи («вылет зонта») на расстоянии:

$$l_{\text{вылет}} = x + \frac{B_x^{\text{струи}}}{2} \quad (4.25)$$

Высота струи на входе в зонт:

$$H_x^{\text{струи}} = (H_{\text{отв}} - H_{\text{НП}}) + 0,36x \quad (4.26)$$

Ширина зонта:

$$B_{\text{зонта}} = B + 0,36x \quad (4.27)$$

Вытяжка от зонтов – козырьков – механическая, поэтому температуру вырывающихся газов приходится снижать подмешиванием к ним воздуха помещения. Балансовое уравнение теплосодержаний, если принимать теплоёмкости воздуха и дымовых газов равными:

$$G_{\text{дым.газ}} t_{\text{дым.газ}} + G_{\text{возд.}} t_{\text{возд}} = (G_{\text{дым.газ}} + G_{\text{возд.}}) t_{\text{смеси}} \quad (4.28)$$

Количество подмешиваемого к дымовым газам воздуха с целью получения требуемой $t_{\text{смеси}}$:

$$G_{\text{возд.}} = G_{\text{дым.газ.}} \frac{t_{\text{дым.газ.}} - t_{\text{в.}}}{t_{\text{смеси}} - t_{\text{в.}}} \quad (4.29)$$

Общая масса удаляемого от зонта-козырька воздуха $G_{\text{расчётн.}}$:

$$G_{\text{расчётн.}} = G_{\text{дым.газ}} + G_{\text{дым.газ}} \quad (4.30)$$

Бортовые отсосы применяют, обычно, для предотвращения поступления вредных выделений с поверхности растворов в ваннах, где происходят процессы травления, обезжиривания и металлопокрытия. Применять более энергоэффективные укрытия (вытяжные шкафы, витринные отсосы) не удаётся,

так как загрузка – выгрузка кондукторов с обрабатываемыми изделиями выполняют тельферами или иными подобными механизмами. Применение сдвижных укрытий затруднено высокой коррозионностью выполняемых технологических процессов.

Различают *однобортные* отсосы, когда щель отсоса расположена вдоль одной из длинных сторон ванны, *двухбортные*, когда щели расположены у двух противоположных длинных сторон, и *угловые* — при расположении щелей у двух соседних сторон.

Бортовой отсос называют *простым* (рис.4-9а), когда воздухоприёмные щели расположены в вертикальной плоскости, и *опрокинутым* (рис.4-9б), когда щель расположена горизонтально, параллельно зеркалу ванны. Опрокинутые бортовые отсосы обеспечивают большую по сравнению с обычными отсосами эффективность улавливания вредностей при меньшем расходе воздуха.

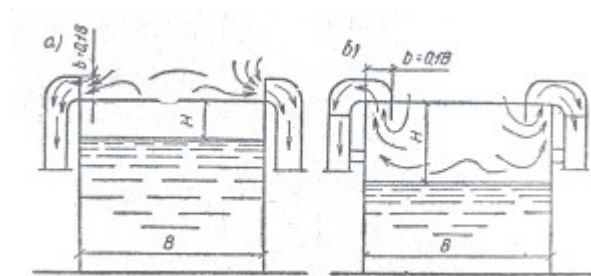


Рис4-9. Бортовые отсосы.

а – простой двухсторонний; б – опрокинутый двухсторонний

Простые отсосы (рис.4-9а) следует применять при высоком стоянии уровня раствора в ванне, когда расстояние от зеркала раствора до кромки щели отсоса H составляет менее 80 - 150 мм; при более низком стоянии уровня раствора ($H = 150 - 300$ мм и более) применяют опрокинутые отсосы (рис.4-9б).

Основная причина выноса вредностей из ванн – конвективный поток, формирующийся над зеркалом испарения.

Принцип действия бортового отсоса: удаляемый через бортовой отсос формирует спектр всасывания, накладывающийся на конвективную струю и

создающий результирующее скоростное поле, направленное к воздухоприёмному отверстию бортового отсоса.

Односторонний бортовой отсос применяется при ширине ванны до 600 мм, двухсторонний - используют при ширине ванны до 1200 мм. Расчетная ширина ванны для простых бортовых отсосов - от борта до борта. В случае опрокинутых бортовых отсосов расчётная ширина ванны измеряется от бортового отсоса до противоположного борта ванны для односторонних и от одного бортового отсоса в случае 2-х сторонних бортовых отсосов.

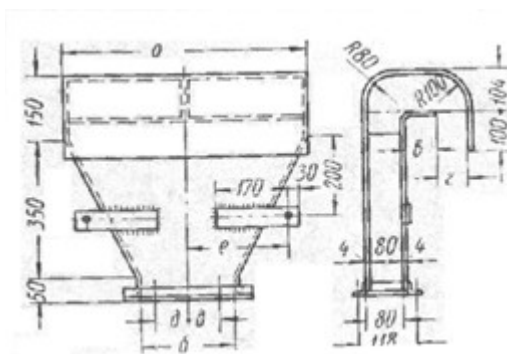


Рис. 4-10. Конструкции секций обычного и опрокинутого бортовых отсосов

Конструкция секций бортовых отсосов должна обеспечивать постоянство расхода по всей длине воздухозаборной щели. В случае обычных и опрокинутых бортовых отсосов необходимая протяжённость щели обеспечивается последовательной установкой отдельных секций вдоль борта ванны. Секции выполняются в виде плоского конуса с углом раскрытия не более 60° . (рис.4-10). Для обеспечения большей равномерности расхода воздуха в секции иногда предусматривают сужение вблизи щели. Ширину (высоту) щели отсоса принимают равной 0,1 ширины ванны B , но не менее 50 мм.

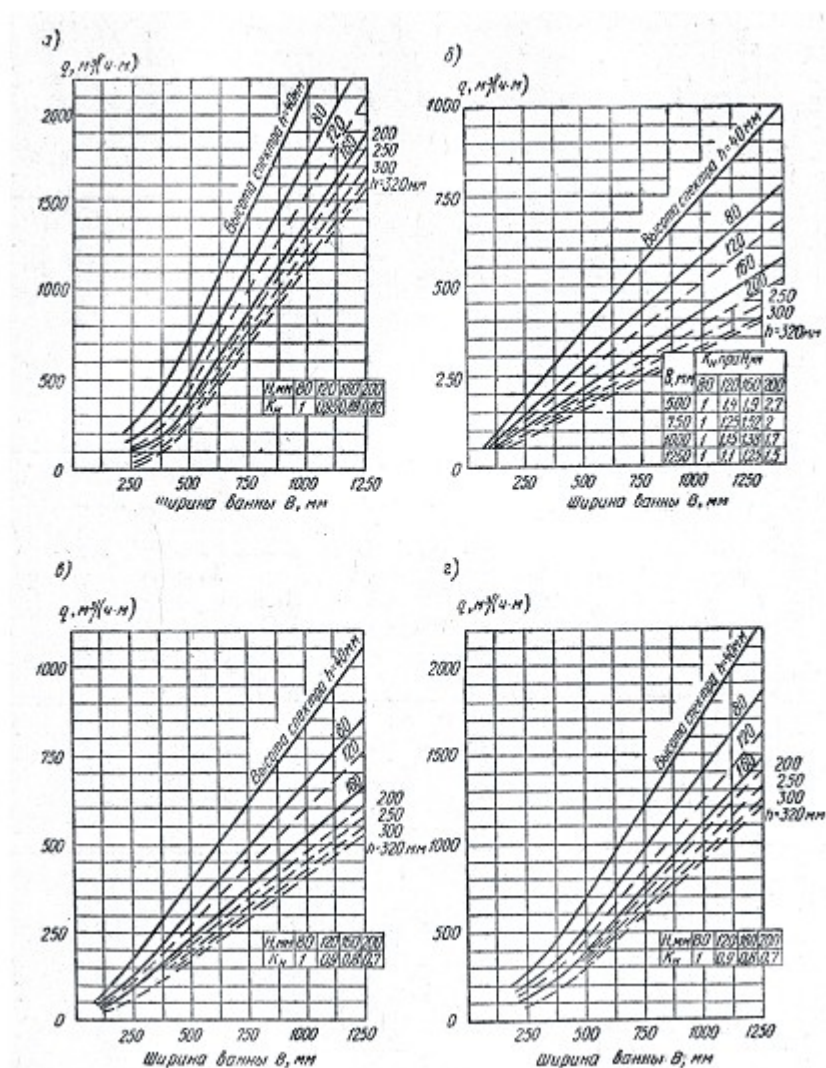


Рис. 4-11. Графики для определения удельного расхода воздуха одним погонным метром щели бортового отсоса: а) обычный однобортовой отсос; б) обычный двухбортовой отсос; в) опрокинутый двухбортовой отсос; г) опрокинутый однобортовой отсос.

Секции бортовых отсосов присоединяются к воздуховоду, размещаемому ниже днища ванны с уклоном в сторону вентилятора для стока конденсата, образующегося их мелких капель электролита или паров, захватываемым всасываемым воздухом. Воздуховод может размещаться этажом ниже под потолком перекрытия, на котором установлены ванны и в котором предусматриваются проёмы для пропуска патрубков. Ванны устанавливают также на металлическую конструкцию рамного типа, в объёме которой и прокладывается воздуховод.

Расчет обычных и опрокинутых бортовых отсосов по методу М. М. Баранова основан на использовании графиков, построенных по результатам экспериментов (рис. 4-12).

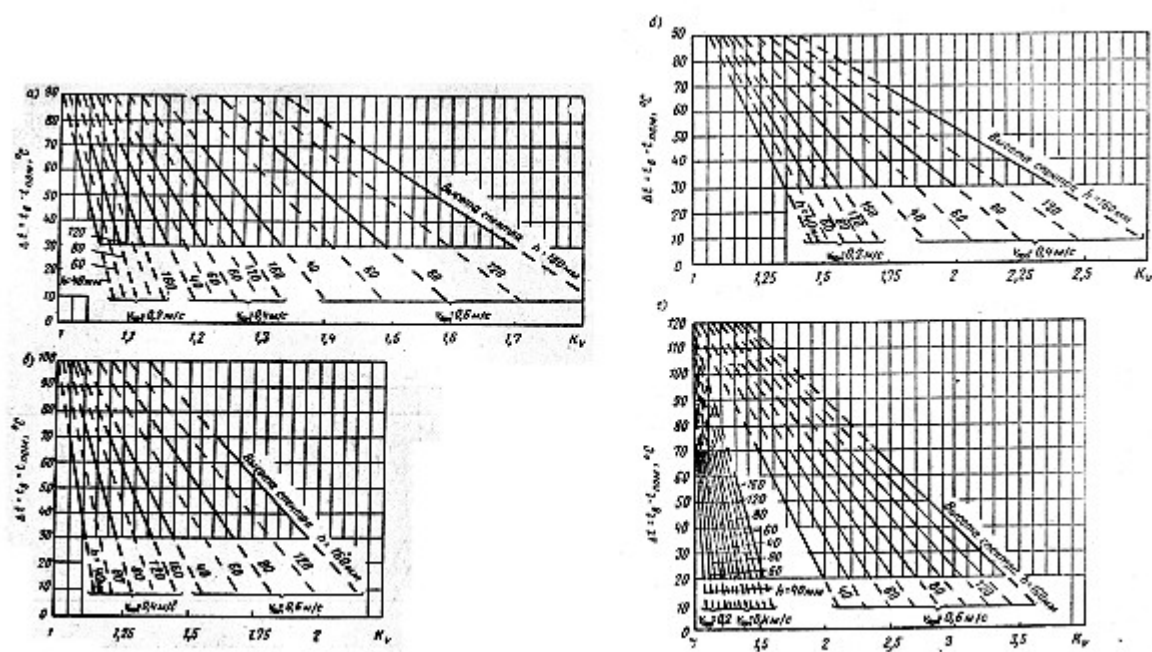


Рис. 4-12. Поправки на подвижность воздуха в помещении.

а) для односторонних обычных и опрокинутых отсосов; б) для обычных двухсторонних отсосов при заглублении зеркала раствора относительно кромки бортов ванны 80 мм; в) то же при заглублении 200 мм; г) для опрокинутых двухсторонних бортовых отсосов.

Объемный расход воздуха L , м³/ч, удаляемого бортовыми отсосами перечисленных выше видов, может быть определен по формуле:

$$L = q (t_g - t_{\text{ном.}}) l K_H K_V \quad (4.31)$$

где q - удельный расход воздуха, м³/ч на 1 м длины ванны, определяемый по графикам на рис. 4-12 в зависимости от высоты спектра вредных выделений h и ширины ванны B ; l — длина ванны, м; K_H - поправочный коэффициент на глубину уровня раствора в ванне H ; K_V - поправочный коэффициент на скорость движения воздуха в помещении.

Для всех ванн с температурами, близкими к температуре воздуха цеха (холодные ванны) разность $\Delta t = t_{\text{в}} - t_{\text{пом}}$ следует принимать не менее 10°C . Эффективность бортового отсоса при одной и той же ширине ванны определяется объёмом вытяжки на 1 п. м. борта ванны. С увеличением количества удаляемого воздуха эффективность возрастает. Эффективность отсоса должна быть тем выше, чем токсичнее выделяющиеся вредные выделения. Это требование выполняется путём выбора соответствующей величины высоты спектра вредных выделений над уровнем поверхности зеркала ванны h , мм, согласно таблицы 4.3. Под спектром вредных выделений понимают куполообразный насыщенный испарениями слой воздуха, который располагается над поверхностью зеркала ванны. Его можно наблюдать при задымлении прилежащего к зеркалу ванны слоя воздуха.

Таблица 4.3.

Рекомендуемые высоты спектра вредных выделений электротехнических процессов

Название ванн	Обрабатываемый материал	Температура раствора $^{\circ}\text{C}$	Химикаты	Вредные выделения	Высота спектра вредных выделений h , мм
Травление	Сталь	15 – 60	Серная кислота	Аэрозоль серной кислоты	80
	Сталь	30 – 40	Соляная кислота	Хлористый водород	80
	Сталь	15 – 20	Азотная кислота	Пары кислоты	40
	Медь	15 – 20	Плавиковая кислота	Фтористый водород	40
	Кадмий	15 – 20	Цианистый калий	Цианистый водород	80
Декапирование	Медь и сплавы	15 – 20	Цианистый калий или натрий	Цианистый калий или натрий	80
	Сталь	15 – 20	Хромпик	Аэрозоль серной кислоты	80
Матирование	Медь	15 – 20	Азотная и серная кислоты	Пары азотной кислоты и окислы отсоса	40

	Алюминий	-	Хлористый натрий	Аэрозоль едкой щёлочи	160
Цинкование	Чёрные металлы	18 – 20	Цианистый натрий	Цианистый водород	160
Меднение	Сталь	18 – 25	Цианистый калий	Цианистый водород	80
Лужение	Медь	60 – 70	Едкий натрий	Пары щёлочи	80
Кадмирование	Чёрные металлы	15 – 20	Электролит	Цианистый водород	80
Обезжиривание		60 – 80	Фосфористый водоорд	Пары воды и щёлочи	160
Свинцевание	Чёрные металлы	15 – 20	Углекислый свинец, плавиковая кислота	Фтористый водород	40
Латунрован					
Латунирование	Чёрные металлы	30 – 40	Свободный цианид	Цианистый водород	80
Хромирование	Чёрные и цветные металлы	45 – 60	Хромовый ангидрид, серная кислота	Хромовый ангидрид	40
Серебрение	Цветные металлы	15 – 20	Цианистый калий	Цианистый водород	80
Золочение	Цветные металлы	15 – 20	Цианистый калий	Цианистый водород	80
Оксидирование	Чёрные металлы	130 – 155	Едкий натрий, азотная кислота	Пары едкой щёлочи	40
	Латунь	18 – 25	Аммиак	Аммиак	160
Фосфатирование	Чёрные металлы	98 – 100	Мажеф	Фосфорная кислота	160
Осветление	Цветные металлы	15 – 20	Хромовый ангидрид, азотная кислота	Окислы азота	40
Железнение	Сталь	100	Серная кислота	Пары серной кислоты	80
Снятие металлических покрытий		18 – 20	Соляная и серная кислоты	Хромовый ангидрид	80
Промывка в горячей воде		70 – 80		Пары воды	160

Кольцевые отсосы применяют для предотвращения поступления вредных выделений от шахтных печей, как правило, имеющих в плане кольцевую форму, загрязнённый воздух удаляется через кольцевую щель постоянной высоты. Применяют три вида кольцевых отсосов: обычный (рис. 4-13а), с заглублённой щелью (рис. 4-13б) и щелью у верхней кромки ванны и экраном

(рис.4-13в). Характерным для работы таких отсосов является подтекающий в направлении «сверху вниз», параллельно оси шахтной печи, поток воздуха, препятствующий выбиванию вредностей. Более надёжную локализацию вредностей обеспечивают:

- отсос с заглублённой щелью;
- отсос с экраном.

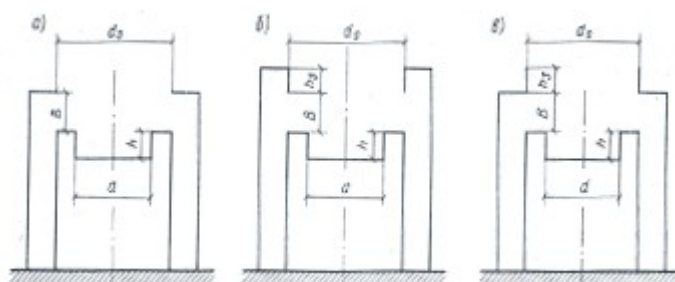


Рис. 4-13. Схемы кольцевых отсосов.

а – с щелью у верхней кромке ванны; б – с заглубленной щелью; в – с щелью у верхней кромки ванны с экраном.

Для получения единообразной формулы определения расчётного объёма вытяжки все три конструкции кольцевого отсоса оценивают обобщённым габаритом Γ . Конструкции кольцевого отсоса, представленного:

- рис. 4-13а: $\Gamma = B$.
- рис. 4-13б - $\Gamma = (B + h_2)$.
- рис. 4-13в - $\Gamma = (B + h_2)$.

Если габарит Γ одинаков, то все три вида кольцевого отсоса равноценны по расходу удаляемого воздуха и его расчётный расход определяется как произведение некоторого характерного расхода:

$$L_0 = 69,3 Q^{1/3} d^{5/3} \quad (4.32)$$

L_0 - характерный расход воздуха, м³/ч;

Q – конвективная теплодача источника, Вт;

d – диаметр рабочего проёма, м.

$$L_0 = L_0 K_{\text{п}} K_{\text{т}} K_{\text{в}} \quad (4.33)$$

$K_{\text{п}}$ - влияние геометрических и режимных параметров системы «источник выделений – сток»;

$K_{\text{в}}$ - влияние подвижности воздуха в помещении;

$K_{\text{т}}$ - токсичность вредных веществ.

Объёмный расход воздуха в тепловой струе, поднимающегося над поверхностью ванны или печи, на расстоянии $B/d_0 = \geq 1,5$ определяется по эмпирической формуле:

$$L_{\text{конв.}} = 145 (Q A^2 h) \quad (4.34)$$

Q – тепловой поток от печи или ванны, Вт;

A – площадь поверхности источника вредных выделений, м^2 ;

H – высота расположения сечения струи над нагретой поверхностью печью или ванны, м.

Значение Q определяется по формуле:

$$Q = \alpha F (t_{\text{пов}} - t_{\text{возд}}) \quad (4.35)$$

где $\alpha = 3,26 \sqrt[4]{t_{\text{пов.}} - t_{\text{с.}}}$ – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$;

$t_{\text{пов}}$ и $t_{\text{в}}$ - температура поверхности печи или ванны и температура воздуха помещения, $^\circ\text{C}$.

Панели равномерного всасывания.

Электродуговая сварка электродами с качественной обмазкой сопровождается выделением в воздух высокодисперсной электросварочной пыли, в состав которой входит окись марганца. При ручной сварке на стационарных постах, включая и сварку в кабинах, устраивают местный отсос в виде панели равномерного всасывания (рис.4-14). Панель равномерного всасывания отклоняет запылённую конвективную струю от зоны дыхания рабочего. Хороший эффект достигается при удалении от панели 3200 – 3300 м³/ч загрязнённого воздуха.

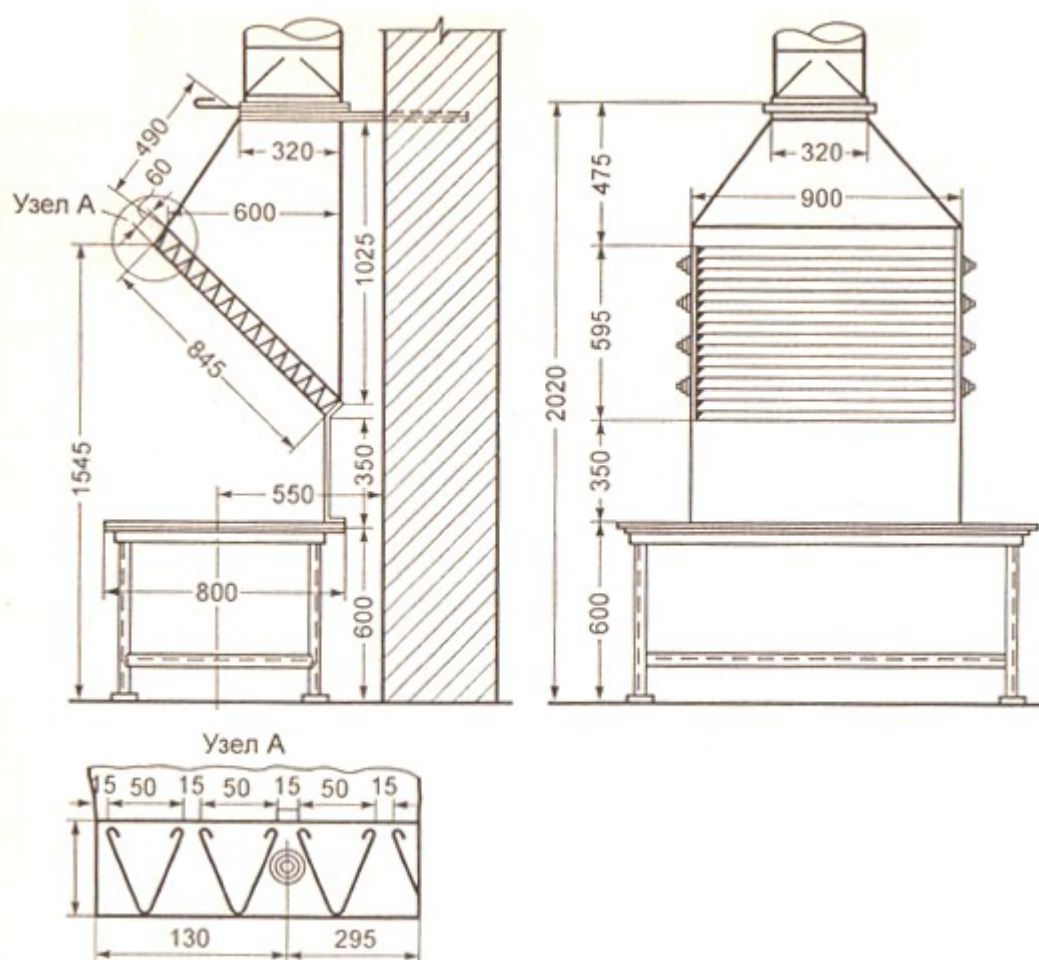


Рис. 4-14. Панели равномерного всасывания конструкции инж. Чернобережского.

В последнее время получили применение, особенно для сварки крупногабаритных деталей передвижные местные отсосы, выполненные в виде конфузора и присоединённые к гибкому шлангу.

Глава 5. Расчёт и организация воздухообмена в помещении. Аэрация.
Определение температуры притока и производительности общеобменных
приточных и вытяжных камер. Воздухораспределители промышленных
зданий

5.1. Аэрация

Аэрацией называется организованный естественный воздухообмен, возникающий за счет гравитационных сил или ветра или того и другого вместе. Аэрация может обеспечить весьма интенсивное проветривание помещений.

Аэрацию применяют в цехах со значительными тепловыделениями, если концентрация пыли и вредных газов в приточном воздухе не превышает 30% предельно допустимой в рабочей зоне. Аэрацию не применяют, когда по условиям технологии производства требуется предварительная обработка приточного воздуха или приток наружного воздуха вызывает образование тумана либо конденсата.

В промышленных цехах одновременно с аэрацией может применяться и механическая вентиляция. Нельзя применять аэрацию в цехах, в которых имеются источники выделения газов и паров вредных веществ или пыли из-за опасности отравления окружающей среды. Кроме того, естественный приток в этих цехах способствует распространению вредных выделений по объему помещения. Не применяется аэрация и в кондиционируемых помещениях.

Преимущества аэрации:

- 1) организация воздухообмена без затраты механической энергии, большая экономическая выгода;
- 2) возможность широкого применения.

Недостатки аэрации:

- 1) невозможность обработки подаваемого воздуха;

- 2) непостоянство расхода воздуха во времени;
- 3) при организации аэрации возможно возникновения циркуляции воздуха в помещении.

Приток наружного и удаление загрязненного внутреннего воздуха производится через специально устраиваемые аэрационные проемы: а) нижние и верхние фрамуги окон или специальные аэрационные проемы в стенах здания; б) проемы аэрационно-световых и аэрационных фонарей; в) специальные шахты.

Фрамуги окон и створки, закрывающие проемы аэрационно-световых фонарей, устраиваются верхнеподвесными, среднеподвесными и нежнеподвесными. В производственных зданиях их открытие и закрытие осуществляется с помощью специальных механизмов.

Для притока наружного воздуха в теплый период года устраивают проемы в наружных стенах, располагая низ проемов на высоте 0,3-1,8 м от пола; приточные проемы можно размещать в два яруса и более в продольных стенах здания, которые должны быть свободны от пристроек.

Проемы для притока наружного воздуха в переходный и холодный периоды года устраивают в наружных стенах, располагая низ проемов в цехах высотой менее 6 м на высоте не 3 м от пола (при этом проемы оборудуются козырьками или другими конструктивными элементами, отклоняющими приточный воздух под углом в верх), а в цехах высотой более 6 м на высоте не менее 4 м от пола.

Для притока наружного воздуха в многопролетных цехах могут устраиваться проемы в наружных стенах и фонари в "холодных" пролетах, которые должны чередоваться с "горячими", причем "холодные" пролеты отделяют от "горячих" спущенными сверху перегородками, не достигающими до пола на 2-4 м.

Различают прямую и обратную задачи аэрации. Прямая задача: определение площади проемов, необходимых для обеспечения расчетного

общеобменного воздухообмена в помещении. Обратная – определение фактического воздухообмена при известных площадях и размещении в ограждениях аэрационных отверстий в уже существующих зданиях.

В зависимости от соотношения величин гравитационного и ветрового давлений возможны три варианта выбора расчетного давления:

- гравитационное давление;
- давление ветра;
- совместное действие гравитационного и ветрового давлений.

Аэрация рассчитывается на действие только гравитационных сил, если

$$p_v \leq 0,5H\Delta\rho g \quad (5.1)$$

Аэрация рассчитывается на действие только ветра при условии

$$p_v \geq 10H\Delta\rho g \quad (5.2)$$

Аэрация рассчитывается на совместное действие гравитационных сил и ветра в случае седующего соотношения между гравитационным и давлением ветра:

$$0,5H\Delta\rho g < p_v < 10H\Delta\rho g \quad (5.3)$$

Сопротивление аэрационного проема проходу воздуха через него оценивается коэффициентом местного сопротивления ζ или связанным с ним соотношением коэффициента расхода μ

$$\mu = (1/\zeta)^{0,5} \text{ или } \zeta = 1/\mu^2 \quad (5.4)$$

А также коэффициентом сопротивления S для турбулентного движения воздуха. Расчеты аэрации расхода воздуха в проемах и потерь давления в них можно проводить через упомянутые выше характеристик сопротивления.

Определение расходов воздуха в аэрационном проеме. В случаи прямой задачи определяется требуемая площадь приточных и вытяжных проемов, при решении обратной – расходы воздуха в уже существующих проемах. Расчетные формулы получаются на основе закона сплошности среды, записанного в виде массового расхода через проем:

$$G = 3600 \rho v A_{\text{проема}} \quad (5.5)$$

в предположении, что в пределах отверстия разность давлений, приложенная по обе стороны отверстия, полностью переходит в динамическое давление воздушного потока:

$$\Delta p = \frac{v_{\text{проема}}^2}{2} \rho \rightarrow v_{\text{проема}} = \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}} \quad (5.6)$$

Подставив полученное значение скорости в 5.5 и выразив формулу через площадь аэрационного проема получаем:

$$A_{\text{проема}} = \frac{G}{3600 \mu \sqrt{2 \Delta p \rho}} \quad (5.7)$$

Определение коэффициента сопротивления прохождению воздуха через аэрационный проем и расхода воздуха в нем. В пределах аэрационного проема потерями на трение принято пренебрегать из-за их малости. Поэтому коэффициент сопротивления аэрационного проема может быть определен из соотношения:

$$\Delta p = S G^2 = \xi_{\text{проема}} \frac{v_{\text{проема}}^2}{2} \rho = \frac{1}{\mu_{\text{проема}}^2} \cdot \frac{v_{\text{проема}}^2}{2} \rho \quad (5.8)$$

или

$$S = \frac{v_{\text{проема}}^2 \rho}{2 \mu_{\text{проема}}^2 G^2} = \frac{v_{\text{проема}}^2 \rho}{2 \mu_{\text{проема}}^2 (3600 A_{\text{проема}} v_{\text{проема}} \rho)^2} = \frac{1}{25,92 \cdot 10^6 \mu_{\text{проема}}^2 \rho A_{\text{проема}}^2} \quad (5.9)$$

Расход через проем определяется как

$$G = \sqrt{\frac{\text{abs}(p_{\text{внеш}} - p_{\text{пом}})}{S}} \text{ЗНАК}(p_{\text{внеш}} - p_{\text{пом}}) \quad (5.10)$$

В основу расчета воздушного режима зданий, предложенного Тертичником Е.И., вошли балансовые уравнения, включающие расходы воздуха через проемы, определяемые по формуле 5.10.

Расчет аэрации однопролетных цехов. При расчете аэрации могут быть поставлены две задачи: прямая и обратная. Прямая задача — по заданному воздухообмену определить площадь приточных и вытяжных проемов. Обратная — по заданной площади проемов определить воздухообмен. Поставленные задачи могут быть решены тремя методами: методом внутренних избыточных давлений; методом ветровых давлений и методом фиктивных ветровых давлений.

Расчет по методу внутренних избыточных давлений. Прямая задача. Для проведения расчета аэрации должны быть заданы: количество вредных выделений в помещении, высота здания $H_{зд}$, отметки центров приточных и вытяжных отверстий, коэффициенты расхода μ , температуры t_{pz} и t_n , количество воздуха G_{np} и G_{yd} .

Последовательность расчета.

1. Принимаем $t_{np} = t_n$.
2. Определяем t_{yx}

$$t_{yx} = t_{pz} + K \cdot (H - 2) = t_n + \frac{t_{pz} - t_n}{\mu} \quad (5.11)$$

3. Определяем среднюю температуру по объему здания

$$t_{cp} = \frac{t_{yx} + t_{pz}}{2} \quad (5.12)$$

4. Задаемся соотношением площадей $\frac{f_{np}}{f_{yd}} = 1,25$.

5. Определяем расстояние от центров отверстий до нейтральной плоскости H_1 и H_2 .

$$H = H_1 + H_2; H_2 = \frac{H}{\left(\frac{\mu_2 \cdot f_2}{\mu_1 \cdot f_1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\rho_{yx}}{\rho_n}\right) + 1} \quad (5.13)$$

6. Определяем перепады давлений в каждом из проемов

$$\Delta P_1 = g \cdot H_1 \cdot (\rho_n - \rho_{cp}), \Delta P_2 = g \cdot H_2 \cdot (\rho_n - \rho_{cp}) \quad (5.14)$$

7. Определяем скорости в приточных и вытяжных проемах

$$v_1 = \frac{1}{\mu_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_1 \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_{cp})}{\rho_n}}; v_2 = \frac{1}{\mu_2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_2 \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_{cp})}{\rho_{cp}}} \quad (5.15)$$

8. Определяем площади приточных и вытяжных проемов

$$f_{np} = \frac{G_{np}}{3600 \cdot \mu_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_1 \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_{cp})}{\rho_n}} \cdot \rho_n} \quad (5.16)$$

$$f_{yd} = \frac{G_{yd}}{3600 \cdot \mu_2 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_2 \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_{cp})}{\rho_{cp}}} \cdot \rho_{yx}} \quad (5.17)$$

Обратная задача — по площади открытых проемов определяем расходы воздуха.

Последовательность расчета.

1. Задаются внутренним избыточным давлением на уровне пола (-0,8 или -0,3 кг/м²).
2. Определяют внутреннее избыточное давление на уровне центра отверстий.
3. Задаются схемой движения воздуха.
4. Определяют количество воздуха поступающего или удаляемого через тот или иной проем.
5. Проверяют баланс $G_{np} = G_{yd}$, если равенство не получилось, надо перезадаваться внутренним избыточным давлением на уровне пола, им задаются только два раза.

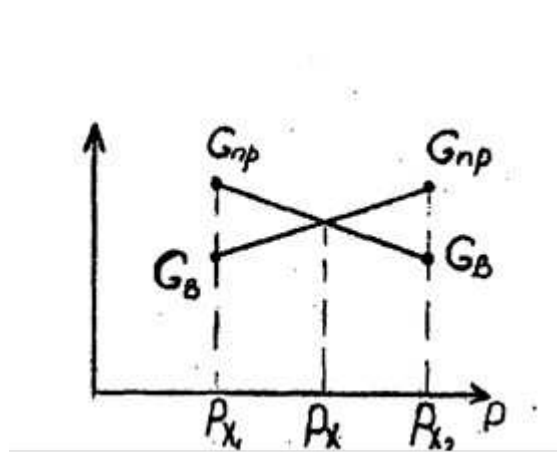


Рис. 5-1. К определению баланса воздуха

Метод ветрового давлений.

По известным расходам воздуха $G_{пр}$ и $G_{уд}$ определяют площади аэрационных проемов $F_{пр}$ и $F_{уд}$.

Последовательность расчета.

1. Определяют температуры $t_{рз}$, t_v , $t_{уд}$, t_n .
2. Определяют по таблицам значение аэродинамических коэффициентов K_1 и K_2 .
3. Определяют наружное избыточное давление

$$P_1 = K_1 \cdot \frac{g^2 \cdot \rho}{2}; P_2 = K_2 \cdot \frac{g^2 \cdot \rho}{2} \quad (5.18)$$

4. Задаваясь соотношением площадей определяют P_x .
5. Зная давление внутри и наружи определяют перепад давлений

$$\Delta P_1 = P_1 - P_x; \Delta P_2 = P_x - P_1 \quad (5.19)$$

6. Определяют скорости из условия

$$g_1 \rightarrow \frac{g_1^2 \cdot \rho_n}{2} = \Delta P_1; g_2 \rightarrow \frac{g_2^2 \cdot \rho_{уд}}{2} = \Delta P_2 \quad (5.20)$$

7. Определяют площади аэрационных проемов

$$F_{уд} = \frac{G_{пр}}{3600 \mu_1 \cdot g_1 \cdot \rho_n}; F_{уд} = \frac{G_{уд}}{3600 \mu_2 \cdot \rho_{уд} g_2} \quad (5.21)$$

Метод фиктивных давлений.

Данный метод аналогичен ветровых давлений, только давление P_2 заменяют на фиктивное ветровое давление $P_{\phi 2}$. По известным расходам воздуха определяем площади аэрационных проемов.

Последовательность расчета.

1. Определяют температуры t_{pz} , t_v , $t_{y\partial}$, t_n .
2. Определяют по таблицам значение аэродинамических коэффициентов K_1 и K_2 .
3. Определяют наружное избыточное давление

$$P_1 = K_1 \cdot \frac{g^2 \cdot \rho}{2}; P_2 = K_2 \cdot \frac{g^2 \cdot \rho}{2} \quad (5.22)$$

4. Определяют фиктивное ветровое давление

$$P_{\phi 2} = P_2 - g \cdot H \cdot \Delta \rho \quad (5.23)$$

5. Определяют внутреннее избыточное давление P_x

$$P_x = \frac{P_1 \cdot F_1^2 + P_{2\phi} \cdot F_2^2}{F_1^2 + F_2^2} = \frac{P_1 \cdot \alpha^2 + P_{2\phi}}{\alpha^2 + 1} \quad (5.24)$$

6. Определяют перепад давлений для приточных и вытяжных проемов

$$\Delta P_1 = P_1 - P_x; \Delta P = P_x - P_{2\phi} \quad (5.25)$$

7. Определяют скорости из условия

$$g_1 \rightarrow \frac{g_1^2 \cdot \rho_n}{2} = \Delta P_1; g_2 \rightarrow \frac{g_2^2 \cdot \rho_{y\partial}}{2} = \Delta P_2 \quad (5.26)$$

8. Определяют площади аэрационных проемов

$$F_{уд} = \frac{G_{пр}}{3600 \mu_1 \cdot g_1 \cdot \rho_n}; F_{уд} = \frac{G_{уд}}{3600 \mu_2 \cdot \rho_n \cdot g_2} \quad (5.27)$$

Расчет аэрации многопролетных цехов. Рассмотрим аэрацию многопролетного цеха (рис. 5-1).

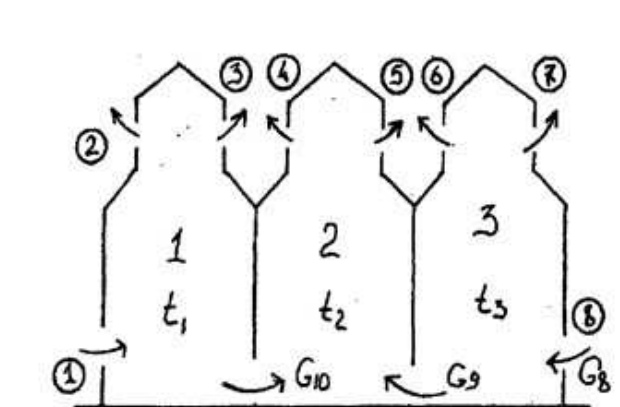


Рис. 5-2. Схема аэрации многопролетного цеха

Особенность расчета заключается в том, что во внутренний пролет воздух может поступать только из крайних пролетов. Загрязненный воздух удаляется из всех пролетов через фрамуги аэрационных фонарей. Часть воздуха поступившего в 1 и 3 пролеты будет поступать во 2 пролет, следовательно, приточный воздух поступивший во 2 пролет отличается параметрами от воздуха 1 и 3 пролетов, т.к. он ассимилирует часть теплоизбытков.

Последовательность расчета.

1. Определяем теплоизбытки в каждом пролете.
2. Принимаем площади 9 и 10 отверстий.
3. Принимаем температуру воздуха в рабочей зоне 1 и 3 пролетов.
4. Принимаем соотношение расходов воздуха поступающего через 9 и 10

отверстия. $\frac{G_9}{G_{10}} = \alpha; G_9 = G_{10} \cdot \alpha.$

5. Определяют температуру уходящего воздуха из 1 и 3 пролетов

$$t_{yx} = t_{np} + \frac{t_{p3} - t_{np}}{m} \quad (5.28)$$

6. Определяем среднюю температуру приточного воздуха во 2 пролете.

$$t_{np}^{(2)} = \frac{G_9 \cdot t_{p3}^{(3)} + G_{10} \cdot t_{p3}^{(1)}}{G_9 + G_{10}} = \frac{\alpha \cdot t_{p3}^{(3)} + t_{p3}^{(1)}}{\alpha + 1} \quad (5.29)$$

7. Определяют температуру уходящего воздуха из 2 пролета

$$t_{y\partial}^{(2)} = t_{np}^{(2)} + \frac{t_{p3}^{(2)} + t_{np}^{(2)}}{m^{(2)}} \quad (5.30)$$

8. Определяют необходимое количество воздуха для каждого пролета

$$G^{(2)} = \frac{Q_{изб}^{(2)}}{c \cdot (t_{y\partial}^{(2)} - t_{np}^{(2)})} = G_9 + G_{10} = G_{10} \cdot (\alpha + 1); G_{10} = \frac{G^{(2)}}{\alpha + 1}; G_9 = G_{10} \cdot \alpha \quad (5.31)$$

9. Определяют количество воздуха удаляемого из 2-3 и 6-7 отверстий

$$G_{2-3} = \frac{Q_{изб}^{(1)}}{c \cdot (t_{y\partial}^{(1)} - t_{np}^{(1)})}; G_{6-7} = \frac{Q_{изб}^{(3)}}{c \cdot (t_{y\partial}^{(3)} - t_{np}^{(3)})} \quad (5.32)$$

Через 1 отверстие поступает в первый пролет

$$G^{(1)} = G_{2-3} = G_{10} \quad (5.33)$$

Аналогично определяется количество воздуха поступающего через 8 отверстие.

$$G_3 = G_{6-7} + G_9 \quad (5.34)$$

10. Для каждого пролета определяется располагаемый тепловой напор

$$\Delta P = H \cdot \Delta \rho \cdot g \quad (5.35)$$

11. Определяются площади отверстий

$$f = \frac{G}{3600 \cdot \mu \cdot \rho \cdot g} \quad (5.36)$$

5.2. Расчёт воздухообмена в помещении. Определение температуры притока и производительности общеобменных приточных и вытяжных камер

Факторы, учитываемые при составлении балансовых уравнений потоков воздуха и вредных выделений. Выбор параметров воздуха для балансовых уравнений для вычисления общеобменного воздухообмена и

температуры притока. Существует определённая разница в определении расчётного воздухообмена в помещениях производственных и гражданских зданий. Источником вредных выделений в помещениях промышленных зданий является, преимущественно человек, поступления теплоты от которого сравнительно невелики.

В производственных помещениях теплоизбытки могут значительно превышать теплотери, наблюдаться в течение всего периода работы, что делает устройство постоянно работающей отопительной системы нецелесообразным. Решение на устройство системы отопления в производственных помещениях должно приниматься по результатам анализа теплового баланса, составляемого для трёх периодов года.

Составлению балансовых уравнений предшествует принятие решение на организацию воздухообмена в помещении для осеннего – зимнего - весеннего и летнего периодов года.

Организация воздухообмена в помещении должна обеспечить поддержание расчётных параметров воздуха в рабочей зоне помещения минимально – возможным воздухообменом при максимальной экономии расходов электроэнергии и теплоты.

Согласно требованиям норм, воздухообмен должен рассчитываться на три периода года (тёплый, переходный и холодный). Система балансовых уравнений математически описывает принятую организацию воздухообмена, уточняет, подтверждает или опровергает принятое решение.

Объёмы притока и вытяжки в помещениях, как правило, принимают одинаковыми. В кондиционируемых и «чистых» помещениях иногда поддерживают *подпор* (превышение притока над вытяжкой). *Подпор* предотвращает поступление воздуха расчётное помещение из окружающих помещений. В загрязнённых помещениях поддерживают *разрежение* (превышение вытяжки над притоком), что локализует загрязнённый воздух в

пределах помещения, где он выделяется, и предотвращает его попадание в соседние помещения более «чистые».

Как правило, подпор или разрежение задаются в процентах от общего воздухообмена.

Величина расчётного общеобменного воздухообмена при одновременном выделении нескольких видов значимых вредностей зависит от *одно- и разнонаправленности* их действия на организм человека:

- при *разнонаправленном* действии вредных выделений расчётный воздухообмен в помещении принимается равным величине *максимального* из вычисленных по всем видам значимых вредных выделений воздухообменов;
- в случае *однонаправленного* действия – сумме воздухообменов, вычисленных по всем видам значимых вредностей.

При составлении балансовых уравнений пользуются объёмным, $\text{м}^3/\text{ч}$, и массовым, $\text{кг}/\text{ч}$, расходами воздуха:

- *массовым расходом* при составлении системы балансовых уравнений расходов и теплосодержаний + избытков – недостатков поступающей в помещение теплоты;

Пояснение. Вентилятор перемещает объёмы воздушной массы. Однако в помещении с избытками теплоты он нагревается, и приточный воздух будет более холодным, иметь большую плотность, нежели нагретый удаляемый воздух. При равенстве притока и вытяжки по объёму, в помещении накапливается некоторая масса воздуха и возникает избыточное давление, выдавливающее избыточный воздух через неплотности ограждений вовне, что может быть нежелательным в некоторых случаях. Если поступления в помещение теплоты меньше её потери помещением, остывший удаляемый воздух будет более плотным, нежели приточный. Возникнет разрежение и, как следствие, подсос воздуха в помещение. При подборе вентилятора следует пересчитывать массовый расход в объёмный при температуре поступающего в вентилятор воздуха, и подбирать на этот расход вентилятор.

- *объёмным расходом* при определении требуемого воздухообмена по газовым или пылевым вредностям, так как концентрация газовых и пылевых примесей в воздухе измеряется в мг/м^3 или г/м^3 .

Балансовое уравнение теплосодержания и избытков – недостатков теплопоступлений содержит температуры: притока, рабочей зоны и удаляемого из помещения воздуха. Правильный выбор этих параметров определяет точность расчётов.

Температура притока в ТП через открытый проём равна расчётной температуре наружного воздуха. В случае подачи притока вентилятором - превышает температуру наружного воздуха на $0,5...1,0^\circ\text{C}$. Температура рабочей зоны задаётся нормами. В холодный и переходный периоды года температура притока подлежит определению.

Более сложную задачу представляет определение температуры удаляемого воздуха из верхней зоны. Причина тому — стратификационные процессы в воздушной массе помещения.

Под *стратификацией* понимается разделение воздуха помещения на отдельные массы с разными температурами, концентрациями примесей и т.д. В вентилируемом помещении одним воздушным массам свойственно вихревое движение, другим – квазипотенциальное. Квазипотенциальные структуры перемещают воздух от приточных отверстий к вытяжным. Вихревые структуры малоподвижны и плохо обмениваются воздухом с квазипотенциальными структурами, перемещающими более чистый воздух и являются плохо вентилируемыми зонами. Опасность этих зон состоит в возможности образования в их объёме взрывоопасных концентраций горючих газов и паров.

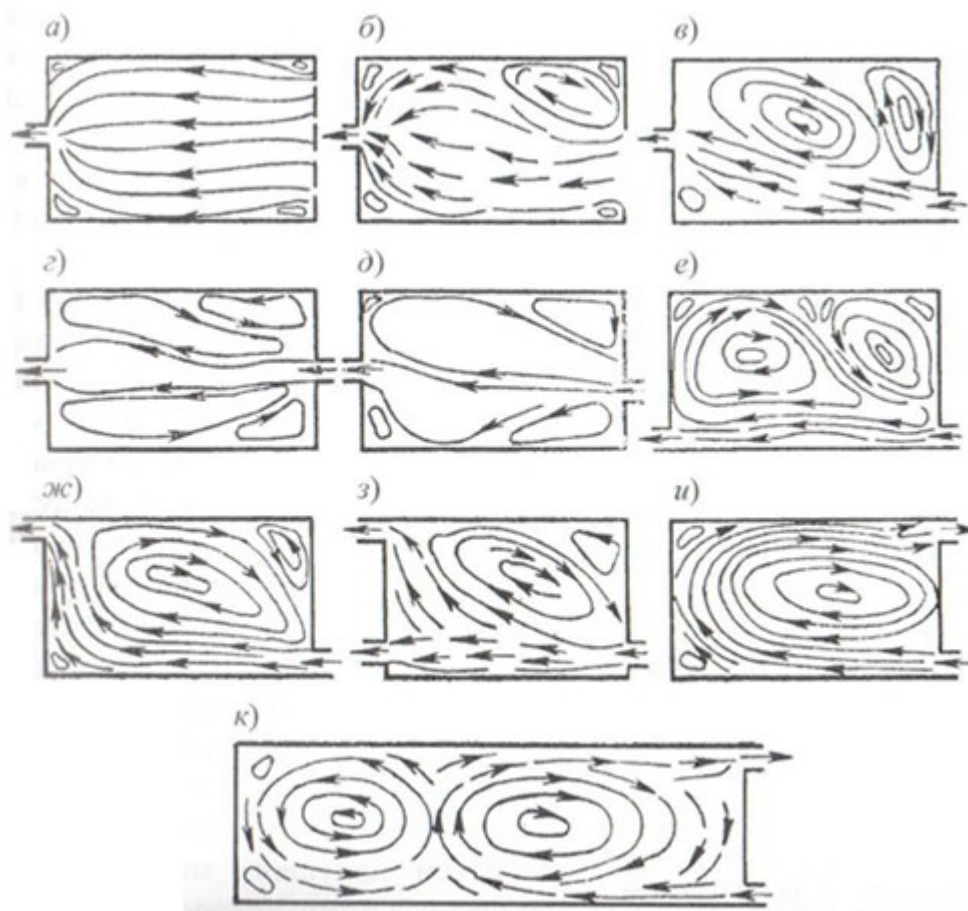


Рис. 5-3. Схемы движения воздуха в моделях вентилируемого помещения

На рис. 5-3 представлены схемы движения воздуха в помещении, полученные В.В. Батуриным и В.И. Ханжонковым в изотермических условиях. Особенность движения воздушных масс состоит в том, что приточные и вытяжные отверстия соединены воздушными потоками, а меж ними располагаются объёмы с вихревым движением воздуха. Наилучшее проветривание объёма помещения имеет место в случаях 5-3а и 5-3б, худшими являются варианты 5-3з и 5-3и. В случае протяжённого помещения (рис. 5-3к) примерно 1/3 помещения не проветривается даже частично, так как этот объём полностью заполнен непроветриваемой зоной циркуляции.

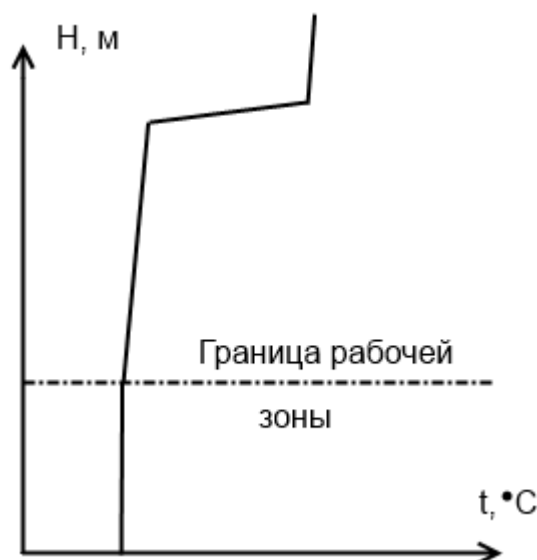


Рис. 5-4. Распределение температуры воздуха по высоте помещения с естественным расслоением воздуха в виде «температурного перекрытия»

Проявлением стратификационных процессов является и так называемое «температурное перекрытие» или «тепловая подушка» – слой воздуха под потолком с повышенной относительно верхней зоны температурой воздуха и чётко прослеживаемой границей между воздухом верхней зоны и «тепловой подушки». (Рис 5-4) «Температурное перекрытие» возникает в помещениях с теплоизбытками при условии, что масса нагретого воздуха, выносимого конвективными струями в верхнюю зону помещения превышает объём вытяжки из неё. Одной из причин образования «тепловой подушки» может явиться завышенная температура приточного воздуха при воздушном отоплении, приводящая к «всплыванию» перегретого воздуха под потолок. Температура рабочей зоны, при этом остаётся достаточно низкой. Стратификационные явления затрудняет выбор расчётных параметров удаляемого из верхней зоны воздуха.

В практике проектирования применяют следующие способы определения параметров удаляемого воздуха:

а) *через температурный градиент по высоте помещения.* Основой способа является известный факт превышения температуры под потолком помещения над температурой рабочей зоны.

$$t_y = t_{p.z.} + (\text{grad } t) \cdot (H_{\text{пом}} - h_{p.z.}) \quad (5.37)$$

где t_y - температура удаляемого из верхней зоны помещения воздуха, °С;
 $t_{p.z.}$ - расчётная температура рабочей зоны помещения, °С;
 $(\text{grad } t)$ – градиент повышения температуры воздуха по высоте помещения, °С/м, в таблица 5.1;
 $H_{\text{пом}}$ и $h_{p.z.}$ - соответственно, высота помещения и рабочей зоны, м.

Таблица 5.1.

Градиенты температуры воздуха по высоте помещений

Удельные избытки явного тепла, кДж/м³	Grad t, °С
Более 80	0,8 – 1,5
40 – 80	0,3 – 1,2
Менее 40	0 – 0,5

Примечание: меньшие величины grad t соответствуют холодному периоду года большие — теплоту.

Формула расчёта температуры уходящего воздуха через температурный градиент достаточно корректна, если воздухообмен организован по схеме: приток в рабочую зону, вытяжка из верхней («снизу – вверх»). Если применены схемы организации воздухообмена «сверху – вверх», то температуру уходящего воздуха можно принимать равной температуре рабочей зоны.

б) *второй способ для промышленных зданий - с помощью симплексов температуры, концентрацией вредных веществ и влагосодержания, получивших названия:*

температурный коэффициент воздухообмена:

$$K_t = \frac{t_y - t_0}{t_{p.з.} - t_0} \quad (5.38)$$

концентрационный коэффициент воздухообмена:

$$K_c = \frac{C_y - C_0}{C_{p.з.} - C_0} \quad (5.39)$$

коэффициент воздухообмена по влагосодержанию:

$$K_c = \frac{d_y - d_0}{d_{p.з.} - d_0} \quad (5.40)$$

где t , C , d – соответственно, температура, °С, C - концентрация, мг/м³ и d - влагосодержание, г/кг; индексы «у», «р.з.» и «0» - относятся к воздуху: удаляемому, рабочей зоны и приточному.

Существуют разные мнения о факторах, влияющих на величину коэффициента воздухообмена k_t . Представляется более достоверной зависимость этого параметра от способа воздухообмена и доли тепловыделений, поступающих в рабочую зону помещения q_o :

$$q_o = \frac{Q_{p.з.}}{Q}, \text{ где } Q_{p.з.} - \text{тепловыделения, ассимилируемые в рабочей зоне, Вт; } Q$$

– общие тепловыделения, поступающие в рабочую зону помещения, Вт.

Тепловыделения, поступающие в рабочую зону: $Q_{p.з.} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$, где Q_1 – конвективная составляющая полных тепловыделений оборудования, если его высота не превышает высоту рабочей зоны; в противном случае считается, что в рабочей зоне ассимилируется конвективная теплота нагретых поверхностей расположенных в пределах рабочей зоны. Q_2 – часть лучистой теплоты оборудования, попадающая в рабочую зону и ассимилируемую в ней; Q_3 – тепловыделения от светильников, расположенных в пределах рабочей зоны; в случае местного освещения (в швейных цехах - освещение ткани вблизи

иглы швейной машины) тепловыделения имеют место и должны учитываться в светлое время суток; Q_4 – тепlopоступления от солнечной радиации; Q_5 – тепловыделения от людей.

Таблица 5.2.

Значения коэффициента воздухообмена k_t в зависимости от способа подачи притока в рабочую зону

Способ подачи воздуха	$Q_{p.з.}$	Место удаления воздуха общеобменной вентиляцией	k_t
Непосредственно в рабочую зону (далее Р.З.)	1 0,7 0,5	Из верхней зоны	1 1,4 2,0
Наклонными струями в направлении Р.З. с высоты до 4-х метров от пола помещения	1 0,7 0,5	То же	1 1,2 1,3
То же с высоты более 4-х метров настилающимися на потолок или вертикальными струями по схеме «сверху-вниз»	1 0,7 0,5	То же	1 1 1,2
То же с высоты более 4-х метров настилающимися на потолок компактными, веерными струями	1 0,5	При вытяжке из настилающейся струи или из зоны вблизи распространяющейся в горизонтально струи.	0,9 0,85
Выше рабочей зоны настилающейся струей		при $\frac{h_g}{\sqrt{A_{стр}}} = 10$ при $\frac{h_g}{\sqrt{A_{стр}}} = 20$ при $\frac{h_g}{\sqrt{A_{стр}}} = 30$	0,8 0,9 0,95
Выше рабочей зоны не настилающимися на потолок струями	1 0,7 0,5	Из верхней зоны	0,85 0,95 1

Пояснения.

1. h_g – высота оси струи относительно отметки пола, м; $A_{стр}$ – площадь струи на входе в рабочую зону, м².

Кроме того, численные значения коэффициентов воздухообмена, включая концентрационный и влагосодержаний, приводятся в справочно-нормативной литературе.

Температура верхней зоны помещения через коэффициент воздухообмена определяются по формуле:

$$t_y = t_o + K_t(t_{p.z} - t_o) \quad (5.41)$$

Определение общеобменного воздухообмена по величине концентрации примеси в воздухе и теплоизбытков в помещении.

Определение температуры притока и общеобменного воздухообмена может быть определено двумя способами:

- с помощью уравнения потоков значимой вредности, поступающей в помещение как с приточным воздухом, выделяемых технологическим оборудованием и удаляемыми из него вытяжными системами вентиляции. Способ применим в случае, если приток в помещение подаётся одной приточной камерой или несколькими, но подающими воздух с одинаковыми параметрами притока;

- через систему балансовых уравнений расходов воздуха и балансового уравнения значимой вредности. Способ универсален, позволяет рассчитывать общеобменный воздухообмен и температуру притока при наличии в помещении нескольких приточных камер, подающих в помещение воздух с различными параметрами притока.

Определение общеобменного воздухообмена по газовым и пылевым примесям к воздуху с помощью балансового уравнения потоков значимой вредности. Источником значимых потоков вредной примеси могут быть:

- технологическое оборудование выделяющее значимую вредную примесь в количестве M , г/ч или мг/ч;

- воздух $L_{прит}$, м³/ч, общеобменного, местного или суммы этих притоков с содержанием примеси значимой вредности с концентрацией C_o , г/(м³ч), мг/(м³ч).

Поток поступающей в помещение значимой вредности с приточным воздухом равен: $C_0 L_{\text{прит}}$.

Поток вредной примеси, удаляемый воздушным потоком равен произведению объёмного расхода удаляемого воздуха на разность концентраций в месте его забора в объёме помещения и в приточном воздухе: $L_{\text{выт}}(C_{\text{уд}} - C_0)$, где $C_{\text{уд}}$ – концентрация примеси в удаляемом воздухе из верхней зоны помещения, г/м³ или мг/м³.

Если вытяжка загрязнённого воздуха производится через местные отсосы, то поток удаляемой значимой вредности определится как: $L_{\text{выт}}^{\text{МО}} (C_{\text{рз}} - C_0)$, где $C_{\text{рз}}$ – расчётная величина концентрации вредной примеси в воздухе рабочей зоны, г/м³ или мг/м³.

Ниже представлены выкладки получения расчётных формул расчётного воздухообмена для нескольких традиционных схем организации воздухообмена в помещениях производственных зданий при наличии в них одного вида значимой вредной примеси.

Если видов значимых вредностей несколько, расчёт общеобменного воздухообмена выполняется для каждого вида вредности.

Вариант 1п - одна приточная и одна вытяжная общеобменные вентиляционные установки.

Составляющие уравнения расходов вредности:

- приток и вытяжка сбалансированы по объёму и равны L , м³/ч. Вытяжка - из верхней или нижней зоны, в зависимости от плотности выделяющейся примеси.

- количество выделяющейся примеси – M , мг/ч;

- концентрация вредной примеси в наружном воздухе - C_0 ;

- то же в удаляемом воздухе верхней или нижней зоны — $C_{\text{уд}}$, мг/м³.

Решение.

Балансовое уравнение потоков вредностей:

$$-L(C_{y\partial} - C_0) + M = 0.$$

Воздухообмен, м³/ч, ассимилирующий вредность:

$$L = \frac{M}{C_{y\partial} - C_0} \quad (5.42)$$

Вариант 2п – одна общеобменная приточная установка + одна общеобменная вытяжная установка + одна местная вытяжная установка, удаляющая воздух через местные отсосы.

Составляющие балансовых уравнений:

- один общеобменный приток в количестве L , м³/ч;
- одна вытяжка из верхней или нижней зоны $L_{y\partial}$, м³/ч, в зависимости от плотности выделяющейся примеси;
- вытяжка через местные отсосы L_{mo} , м³/ч;
- выделение примеси M , мг/ч;
- концентрация вредной примеси в наружном воздухе - C_0 , мг/м³;
- то же, но в удаляемом — $C_{y\partial}$, мг/м³.

Балансовое уравнение потоков вредностей, удаляемых через местные отсосы и через верхнюю зону: $L_{mo}(C_{pz} - C_0) - (L - L_{mo})(C_{y\partial} - C_0) + M = 0$.

Расчётный воздухообмен по притоку:

$$L = \frac{M + L_{mo}(C_{y\partial} - C_{pz})}{C_{y\partial} - C_0} \quad (5.43)$$

Вариант 3п – одна общеобменная приточная установка и одна приточная установка местного притока + общеобменная вытяжка.

Составляющие балансовых уравнений:

- общеобменный приток в рабочую зону, L , м³/ч;
- местный, $L_{душ}$, м³/ч, на постоянные рабочие места загазованного помещения;

•вытяжка общеобменная, определяется как $(L + L_{душ})$ из верхней или нижней зоны в зависимости от плотности примеси;

•выделение примеси M , мг/ч;

•концентрация вредной примеси в наружном воздухе - C_0 , мг/м³;

•то же, но в удаляемом из верхней зоны воздухе — $C_{уд.}$, мг/м³.

Балансовое уравнение источников и потока вредностей:

$$C_0 L + C_0 L_{душ} + M - (L + L_{душ})(C_{уд.} - C_0) = 0, \text{ откуда:}$$

$$L_{прит} = L + L_{душ} = \frac{C_0 L + C_0 L_{душ} + M}{C_{уд.} - C_0} \quad (5.44)$$

Вариант 4п – одна общеобменная приточная установка + одна установка местного притока + одна установка общеобменной вытяжки + одна установка местной вытяжки.

Составляющие балансовых уравнений:

•приток общеобменный, L , м³/ч;

•приток местный, $L_{душ}$, м³/ч;

•вытяжка через местные отсосы, $L_{мо}$, м³/ч;

•вытяжка из верхней зоны помещения, $L_{вз}$, м³/ч;

•выделение вредной примеси – M , мг/ч;

•концентрация вредной примеси в наружном воздухе - C_0 , мг/м³;

•то же в удаляемом — $C_{уд.}$, мг/м³.

Балансовое уравнение:

$$-L_{мо}(C_{рз} - C_0) - L_{вз}(C_{уд.} - C_0) + M + C_0(L + L_{душ}) = 0.$$

Требуемый приток в помещение:

$$L_{прит} = L + L_{душ} = \frac{L_{мо}(C_{рз} - C_0) + L_{вз}(C_{уд.} - C_0) - M}{C_0} \quad (5.45)$$

где $L_{\text{душ}}$ – местный, на постоянные рабочие места приток (воздушное душирование).

Приведенные выше формулы применимы и для определения воздухообмена по влагоизбыткам, концентрации примесей заменяются на влагосодержания d , г/кг.

Расчёт температуры притока и общеобменного воздухообмена при значимых вредностях: теплоизбытки + примеси вредных веществ в воздухе. Теплоизбытки являются одним из наиболее распространённых видов значимых вредностей. В производственных помещениях одновременно могут иметь место несколько значимых вредностей: теплоизбытки + примеси вредных веществ в воздухе. Перед прочими вредностями теплоизбытки имеют преимущество: по их величине вычисляются не только требуемый ассимиляционный воздухообмен, но и температура притока для холодного и переходного периодов года.

В данном разделе рассматривается случай подачи в помещение общеобменного и местного притока, у которых температуры подаваемого воздуха различны. Поэтому все приведенные ниже расчёты общеобменного воздухообмена и температуры притока выполнены системой балансовых уравнений:

- расходов воздуха;
- теплосодержаний воздушных потоков и теплоизбытков.

Далее предполагается вычисление требуемого ассимиляционного воздухообмена по прочим видам значимых вредностей расчётного воздухообмена в помещении с учётом одно – и разнонаправленности действия. В случае превышения расчётного воздухообмена над воздухообменом для ассимиляции теплоизбытков выполняется пересчёт температуры притока для холодного (если требуется, и переходного) периода года.

При составлении балансовых уравнений руководствуются правилом: поступления в помещение теплоты, потоков воздуха - положительны, потери теплоты, удаление воздуха из объёма помещения или через местные отсосы – отрицательны. В данном пособии производственные помещения условно разделены на две группы:

- первой группы (далее «гр.1») – помещения допускают применение проветривание наружным воздухом в холодный и переходный периоды года;
- второй группы (далее «гр.2») – помещения не допускают применение проветривание наружным воздухом в холодный и переходный периоды года.

Эта особенность помещений учитывается в принятии решения на организацию воздухообмена в помещении и составлении балансовых уравнений.

В практике вентиляции существует большое количество вариантов организации воздухообмена в производственных помещениях. Представленные ниже варианты расчётов имеют целью обучение будущих специалистов самостоятельному составлению систем балансовых уравнений и определению с их помощью воздухообменов и температур притока и для других схем организации воздухообмена.

Вариант 1т/изб – одна приточная + одна вытяжная вентиляционные установки, местные отсосы и местные приточные установки отсутствуют.

Вариант 1т/изб-а – поступления теплоты недостаточны для компенсации теплопотерь в ХП.

Обозначения в формулах: c_v – удельная теплоёмкость воздуха, кДж/кг·°C;

$G_{прит}$, $G_{выт}$, G_{CH} , $G_{прит}^{аэр}$, $G_{выт}^{аэр}$ – массовые расходы приточного и удаляемого воздуха систем механической вентиляции и аэрационные, кг/ч;

$t_{нар}^Б$, $t_{нар}^{ПП}$, $t_{прит}$ и $t_{ВЗ}$ – соответственно, расчётные температуры по параметрам «Б», переходного периода, приточного и удаляемого из ВЗ воздуха, °C;

$\pm Q_{ХП}, \pm Q_{ПП}, \pm Q_{ТП}$ – тепловые избытки - недостатки, кДж/ч.

Холодный период года.

Поскольку в помещении имеет место недостаток теплоты, необходима подача в помещение перегретого относительно расчётной температуры рабочей зоны наружного воздуха от приточной камеры в количестве не менее санитарной нормы $G_{НС}$ независимо от принадлежности к «гр.1» или «гр.2». Местных отсосов и установок душирования наружным воздухом в помещении нет, приток, кг/ч, равен вытяжке.

Балансовые уравнения рассматриваемого варианта организации воздухообмена:

уравнение расходов $G_{прит} - G_{выт} = 0$, но $G_{прит} = G_{выт} = G_{CH}$;

уравнение теплосодержаний и избытков – недостатков теплоты:

$$c_{\theta} t_{прит} G_{CH} - c_{\theta} t_{уд} G_{CH} + (- Q_{ХП}) = 0.$$

Поддержание расчётной температуры в РЗ при недостатке теплоступлений компенсируется перегревом притока:

$$t_{прит} = \frac{Q_{ХП} + c_{\theta} t_{уд} G_{CH}}{c_{\theta} G} \quad (5.46)$$

Температура притока не должна превышать расчётную температуру РЗ больше, чем на 2...4°C. В противном случае тёплый воздух может «всплыть» под потолок, а в РЗ будет холодно. Если перегрев воздуха превышает указанное значение, придётся вводить поправки в проект системы отопления, чтобы она в большей степени или полностью компенсировала теплотери помещения с тем, чтобы достичь приемлемой температуры притока.

Переходный период.

Возможны два варианта теплового режима помещения:

- в помещении сохраняются теплонедостатки, в этом случае приточная камера продолжает подавать санитарную норму воздуха, но с меньшим перегревом:

$$t_{прит} = \frac{Q_{ПП} + c_v t_{уд} G_{CH}}{c_v G} \quad (5.47)$$

Но, по-прежнему $t_{прит} > t_{P3}$, решение справедливо для помещений гр1 и гр2.

- в цехе – теплоизбытки $Q_{ПП}$.

Возможны три варианта:

1. избытки теплоты не позволяют подогреть наружный воздух в количестве санитарной нормы от 10°C до расчётной температуры P3, то есть:

$Q_{ПП} < c_v G_{CH}(t_{P3} - t_{нар}^{ПП})$. В этом случае приточная камера подаёт в помещение санитарную норму воздуха с подогревом от 10°C до температуры, определяемой формулой 2.11, однако в этом случае $t_{прит} < t_{P3}$. Справедливо для помещений «гр.1» и «гр.2».

2. $Q_{ПП} = c_v G_{CH}(t_{P3} - t_{нар}^{ПП})$, в помещениях «гр 1» выключаются калориферы приточной камеры и подаётся неподогретый приток с температурой 10...11 C°. На эти температуры должно выполнять подбор воздухораспределителей для этих помещений. В помещениях гр 2 отключается приточная камера, приток поступает через открытый проём действием вытяжных систем.

3. избыточное поступление теплоты значительно:

$Q_{ПП} > c_v G_{CH}(t_{P3} - t_{нар}^{ПП})$. В помещениях «гр 1» в дополнение к приточно – вытяжной вентиляции для ХП и ПП устраивают «летние», работающие только в ТП приточные и вытяжные камеры, увеличивающие воздухообмен до требуемых значений.

Камеры для ХП и ПП удаляют избыточную теплоту в количестве:

$$Q_{удалён} = c_v G (t_{уд} - t_n^{ПП} - 0,5...1^\circ C) \quad (5.48)$$

Приточной и вытяжной камерами для ТП должно удалить – $(Q_{ПП} - Q_{удалён})$.

В помещениях «гр2» устраивают аэрацию, при этом массовые расходы аэрационных притока и вытяжки одинаковы: $c_v t_n^{ПП} G_{прит}^{аэр} - c_v t_{ВЗ} G_{выт}^{аэр} + Q_{ПП} = 0$.

$$G = G_{прит}^{аэр} = G_{выт}^{аэр} = \frac{Q_{ПП}}{c_v (t_{ВЗ} - t_n^{ПП})} \quad (5.49)$$

Тёплый период года.

В помещении – избытки теплоты. Помещения гр 1 вентилируют и камерами для работы в ХП + ПП и устроенными для ТП. Количество теплоты, удаляемой камерами для ХП и ПП, вычисляются по формуле 5.48 с подстановкой параметров для ТП. «Летние» камеры удаляют $(Q_{ТП} - Q_{удалён})$.

Массовый расход воздухообмена для ТП производится по уравнению 5.48, с подстановкой всех входящих в неё данных, соответствующих ТП.

Пояснение. В некоторых случаях приточная «летняя» камера не устраивается, приток осуществляется через открытые окна.

Вариант 1т/и-б – поступления теплоты компенсируют и превышают потери теплоты помещением.

Холодный период. При любой величине избытков теплоты предусматривается приточная камера для подачи в помещение санитарной нормы наружного воздуха на случай снижения поступления теплоты в силу непредвиденных причин.

В данном примере, но уже в ХП имеем позиции анализа, рассмотренные в предыдущем примере для ПП:

1.избытки теплоты недостаточны для подогрева притока в количестве санитарной нормы от температуры наружного воздуха по параметрам «Б» для ХП до расчётной температуры в РЗ. $Q_{ХП} < c_v G_{CH}(t_{РЗ} - t_{нар}^Б)$.

Приточная камера подаёт подогретый приток с температурой:

$$t_{прит} = t_{рз} - \frac{Q_{ХП}}{c_{\epsilon} G_{CH}} \quad (5.60)$$

2. $Q_{ХП} = c_{\epsilon} G(t_{рз} - t_{нар}^{ХП})$ – можно было бы отключить калориферы при работающей камере, но подача неподогретого притока для ХП в помещения «гр1» нормами не допускается. Придётся увеличивать подачу наружного воздуха для ассимиляции избыточного тепла в помещениях «гр1» с температурным перепадом, на который подобраны воздухораспределители.

В помещениях «гр2» можно остановить приточную камеру и подавать не подогретый приток через проём действием камеры вытяжной.

3. $Q_{ХП} > c_{\epsilon} G(t_{рз} - t_{нар}^{ХП})$ – величина избытков теплоты для помещений «гр1» является одной из расчётных для определения расхода воздуха на ассимиляцию теплоизбытков в ХП и ПП. Расчётный температурный перепад определяется типом и размерами устанавливаемых в помещении воздухораспределителей, которые рекомендуется подбирать на $t_{прит} \approx 10...11 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Эти избытки теплоты позволяют организовать аэрационное проветривание в помещениях группы 2. Приточная камера должна существовать, но не включена. Аэрационные расходы вычисляются по формуле 5.48, в которую подставляются данные для ХП.

Переходный период и тёплый периоды года. Избытки теплоты значительны, позволяю организовать аэрацию для их удаления. Требуемые аэрационный приток и вытяжка рассчитываются по формуле 5.48 с подстановкой данных для ПП и ХП. «Летние» камеры удаляют - $(Q_{ТП} - Q_{удалён})$.

• Вариант 2т/изб – одна приточная установка + одна общеобменная вытяжная установка + одна местная вытяжная установка.

Вариант 2т/и-а – поступления теплоты недостаточны для компенсации теплопотерь в ХП.

Обозначения: c_v — удельная теплоёмкость воздуха, кДж/кг °C;

$G_{CH}, G_{прит}; G_{выт}, G_{прит}^{aэp}, G_{выт}^{aэp}$ — массовый расходы, кг/ч, санитарной нормы воздуха, притока и вытяжки механических и аэрационных;

$t_{нар}^B, t_{нар}^{ПП}, t_{прит}$ и t_{B3} , — соответственно, расчётные температуры по параметрам «Б», переходного периода, приточного и удаляемого из ВЗ воздуха, °C;

$\pm Q_{ХП}, \pm Q_{ПП}, \pm Q_{ТП}$ — тепловые избытки - недостатки, кДж/ч;

K_p — кратность воздухообмена;

ρ_{B3} — плотность воздуха верхней зоны, кг/м³;

$V_{пом}$ — объём помещения, м³.

Пояснение:

- минимальный расход по вытяжке из верхней зоны помещения (ВЗ) определен СП 60.13330.2012 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» в один крат:

$$G_{B3} = \rho_{B3} K_p V_{пом} = \rho_{B3} V_{пом} \quad (5.61)$$

- массовый расход воздуха, удаляемого через местные отсосы $\Sigma G_{мо}$ известен по результатам подбора местных отсосов.

Холодный период года. Поскольку имеет место недостаток теплоты, приток производится от приточной камеры перегретым воздухом в количестве:

- $G_{прит} = G_{B3} + \Sigma G_{мо}$, если $G_{B3} + \Sigma G_{мо} > G_{CH}$;
- $G_{прит} = G_{CH}$, если $G_{B3} + \Sigma G_{мо} < G_{CH}$.

Температура притока определяется из балансового уравнения теплосодержаний и тепловых избытков - недостатков (-Q).

$$c_v G_{прит} t_{прит} - c_v G_{мо} t_{P3} - c_v G_{B3} t_{B3} + (-Q_{ХП}) = 0 \quad (5.62)$$

$$t_{прит} = \frac{c_v G_{мо} t_{рз} + c_v G_{вз} t_{вз} + Q_{хп}}{c_v G_{прит}} \quad (5.63)$$

Переходный период.

Возможны два варианта:

- поступления теплоты в помещение недостаточны для компенсации потерь тепла;

- в помещении – избыточные относительно потерь поступления теплоты.

1. В первом случае приточная камера подаёт приток в количестве $G_{сн}$ или $G_{вз} + \Sigma G_{мо}$. Значение температуры притока определится по формуле 5.63 с подстановкой параметров ПП. Решение справедливо для помещений «гр1» и «гр2».

2. Во втором случае следует проверить достаточность теплоизбытков для подогрева притока от 10°C до $t_{рз}$:

- $Q_{ПП} < c_v G_{прит}(t_{рз} - t_n^{ПП})$ – подача воздуха от приточной камеры с температурой притока по формуле 2.16 с подстановкой параметров для ПП;

- $Q_{ПП} = c_v G_{прит}(t_{рз} - t_n^{ПП})$, возможно отключение калориферов в помещениях «гр1» или приточной камеры целиком в помещениях «гр2» с подачей притока через открытый проём работой вытяжных систем;

- $Q_{ПП} \geq c_v G_{прит}(t_{рз} - t_n^{ПП})$, помещения «гр1» переходят на схему работы с дополнительными приточными камерами, в помещениях «гр2» организуется аэрация.

Массовые аэрационные расходы определяются из системы балансовых уравнений:

$$G_{прит}^{аэр} - G_{выт}^{аэр} - G_{мо} = 0;$$

$$c_v t_n^{ПП} G_{прит}^{аэр} - c_v t_{вз} G_{выт}^{аэр} - c_v t_{рз} G_{мо} + Q_{ПП} = 0.$$

Решение системы:

$$G_{выт}^{аэр} = - \frac{Q_{ПП} - c_v G_{мо} (t_n^{ПП} - t_{рз})}{c_v (t_n^{ПП} - t_{вз})} \quad (5.64)$$

$$G_{\text{прит}}^{\text{аэр}} = G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} + G_{\text{мо}} \quad (5.65)$$

Тёплый период года.

В помещении имеются значительные теплоизбытки. Организуется аэрация, рассчитываемая в последовательности и по формулам, аналогичным 5.64 и 5.65 с использованием данных для ТП.

Вариант 2т/и-б - поступления теплоты компенсируют и превышают потери теплоты помещением.

Холодный период года.

Независимо от величины теплоизбытков в ХП должно предусмотреть приточную камеру для подачи притока в количестве равном или большем санитарной нормы, так как в процессе эксплуатации количество теплоизбытков может уменьшиться против расчётного значения по непредвиденным обстоятельствам. Производительность камеры выбирается из условий:

$$G_{\text{прит}}^{\text{мех}} = G_{\text{CH}} \text{ если } G_{\text{CH}} > G_{\text{выт}}^{\text{ВЗ}} + G_{\text{мо}}, \text{ и } G_{\text{выт}}^{\text{ВЗ}} + G_{\text{мо}}, \text{ в противном случае.}$$

Приточная камера в ХП период работает, если $Q_{\text{ХП}} < c_v G_{\text{прит}}(t_{\text{РЗ}} - t_{\text{н}}^{\text{ХП}})$, температура притока:

$$G_{\text{прит}}^{\text{мех}} - G_{\text{ВЗ}} - G_{\text{мо}} = 0;$$

$$c_v t_{\text{прит}}^{\text{ХП}} G_{\text{прит}}^{\text{мех}} - c_v t_{\text{ВЗ}} G_{\text{ВЗ}} - c_v t_{\text{РЗ}} G_{\text{мо}} + Q_{\text{ХП}} = 0$$

или

$$t_{\text{прит}}^{\text{ХП}} = \frac{-Q_{\text{ХП}} + c_v G_{\text{мо}} t_{\text{РЗ}} + c_v G_{\text{ВЗ}}}{c_v G_{\text{прит}}^{\text{мех}}} \quad (5.65)$$

Теоретически, выключить калориферы приточной камеры помещения «гр1» можно по достижении условия $Q_{\text{ХП}} = c_v G_{\text{прит}}(t_{\text{РЗ}} - t_{\text{н}}^{\text{ХП}})$, но подача не подогретого воздуха ХП в помещение этой группы не предусмотрена нормами. Ассимиляцию избытков теплоты, в этом случае, обеспечит приток в количестве:

$$G_{прит} = \frac{-Q_{ХП} + c_v G_{мо} t_{P3} + c_v G_{B3}}{c_v t_{прит}} \quad (5.66)$$

$t_{прит}$ – в формуле 5.66 температура притока принимается по результатам подбора воздухораспределителей, которое должно быть рассчитано на подачу воздуха с температурой 10...11 °С для снижения воздухообмена.

В помещениях «гр2» приточная камера выключается, приток - через открытый проём работой вытяжной вентиляции.

Если $Q_{ХП} > c_v G_{прит} (t_{P3} - t_{нар}^{ХП})$, возможно организовать аэрацию. Составляющие аэрационного воздухообмена вычисляется из системы балансовых уравнений.

$$G_{прит}^{аэр} - G_{выт}^{аэр} - G_{мо} = 0;$$

$$c_v t_{прит}^{ХП} G_{прит}^{аэр} - c_v t_{B3} G_{выт}^{аэр} - c_v t_{P3} G_{мо} + Q_{ХП} = 0$$

Или

$$G_{выт}^{аэр} = - \frac{Q_{ХП} + c_v G_{мо} (t_n^{ХП} - t_{P3})}{c_v (t_n^{ХП} - t_{P3})} \quad (5.67)$$

$$G_{прит}^{аэр} = G_{выт}^{аэр} + G_{мо} \quad (5.68)$$

Переходный и тёплый периоды года. Расчёты выполняются аналогично примеру вариант 2т/и-а.

Вариант 3т/изб – одна приточная общеобменная установка + одна приточная установка местного притока + одна установка общеобменной вытяжки.

Возможные варианты вентилируемых помещений:

- кузнечные цехи с установками воздушного душирования и вытяжкой из ВЗ;

- загазованные помещения без местных отсосов, воздушные души создают на рабочих местах благоприятные условия труда, вытяжка из ВЗ.

Пояснение. Температуру притока воздушного душа изменять нельзя, ибо она определяется требуемыми параметрами воздуха на рабочих местах.

Обозначения: c_v – удельная теплоёмкость воздуха, кДж/кг °С;

$G_{\text{прит}}, G_{\text{выт}}, G_{\text{СН}}$ – массовые расходы приточного и удаляемого воздуха, кг/ч;

$t_{\text{нар}}^{\text{Б}}, t_{\text{нар}}^{\text{ПП}}, t_{\text{прит}}$ и $t_{\text{ВЗ}}$, – соответственно, расчётные температуры по параметрам «Б», переходного периода, приточного и удаляемого из ВЗ воздуха, °С;

$\pm Q_{\text{ХП}}, \pm Q_{\text{ПП}}, \pm Q_{\text{ТП}}$ – тепловые избытки - недостатки, кДж/ч;

$\rho_{\text{ВЗ}}$ – плотность воздуха верхней зоны, кг/м³;

$V_{\text{пом}}$ – объём помещения, м³.

Вариант 3т/изб-а – поступления теплоты недостаточны для компенсации потерь теплоты в ХП.

Холодный период года.

Наименьший воздухообмен в помещении достигается устройством вытяжки из ВЗ в объёме местного притока.

В ХП установки воздушного душирования подают перегретый относительно расчётной температуры РЗ воздух. Следует проверить:

- соответствует ли количество подаваемого установкой местного притока наружного воздуха санитарной норме;

- компенсирует ли перегрев воздуха местного притока недостаток поступления теплоты в помещение:

$$Q_{\text{ХП}} > c_v G_{\text{мп}} (t_{\text{мп}} - t_{\text{РЗ}}) \quad (5.69)$$

Количество теплоты, подаваемой в помещение воздухом воздушного душирования: $Q_{\text{мп}} = c_v G_{\text{мп}} (t_{\text{мп}} - t_{\text{РЗ}})$.

Возможны несколько вариантов:

• $G_{мп} < G_{сн}$, $Q_{мп} < Q_{хп}$ предусматривается дополнительная приточная камера производительностью по воздуху $G_{доп} = G_{сн} - G_{мп}$, доводящая подачу наружного воздуха до санитарной нормы. Температура притока дополнительной камеры определится из уравнения теплосодержаний и тепловых поступлений:

$$c_{в} t_{мп} G_{мп} + c_{в} t_{прит}^{доп} G_{доп} - c_{в} t_{вз} G_{вз} - Q_{хп} = 0$$

$$G_{вз} = G_{сн}$$

$$t_{доп}^{прит} = \frac{c_{в} t_{вз} G_{вз} + Q_{хп} - c_{в} t_{мп} G_{мп}}{c_{в} G_{доп}}$$

• $G_{мп} \geq G_{сн}$, $Q_{мп} < Q_{хп}$ – требуется ввод дополнительного количества теплоты для поддержания расчётной температуры воздуха в РЗ, что достигается либо устройством в помещении системы отопления, либо изменением режима работы уже существующей системы отопления. Например, существующее дежурное отопление переводится в фоновый режим работы;

• $G_{мп} \geq G_{сн}$, $Q_{мп} > Q_{хп}$ – следует проверить величину фактической температуры РЗ:

$$t_{РЗ}^{факт} = t_{РЗ}^{расч} + \frac{Q_{хп} - c_{в} G_{мп} (t_{мп} - t_{РЗ})}{c_{в} G_{мп}} \quad (5.70)$$

В случае «попадания» фактической температуры РЗ в пределы нормативного диапазона ограничиваются устройством вытяжки из ВЗ в количестве местного притока.

Маловероятен случай, когда температура РЗ превышает верхнее значение разрешённого диапазона температур, но, если он имеет место:

- в помещениях «гр1» приходится устраивать дополнительную приточно – вытяжную вентиляцию для удаления излишней теплоты;
- в помещениях «гр2» - аэрацию.

Переходный период.

Возможны варианты:

- недостаток теплоты в помещении сохраняется;
- в помещении избытки теплоты.

Варианты устройства вентиляции при наличии недостатка теплоты проанализированы при рассмотрении ХП.

В ПП температура РЗ и температура местного притока в ПП обычно бывают такими же, как и в ХП, и местный приток по-прежнему вносит в помещение дополнительную теплоту. Полное количество теплоты, которое следует удалить, составит:

$$Q = Q_{ПП} + c_v G_{мп} (t_{мп} - t_{РЗ}) \quad (5.71)$$

Если вентиляционная установка местного притока наружного воздуха не обеспечивает поступление санитарной нормы наружного воздуха, для вентиляции помещения «гр1» приходится устанавливать дополнительную приточную камеру с минимальным массовым расходом воздуха $G_{доп} = G_{сн} - G_{мп}$ и температурой притока, полученной из уравнения теплосодержаний и избытков – недостатков теплоты для этого случая вентилирования:

$$c_v t_{мп} G_{мп} + c_v t_{прит}^{доп} G_{доп} - c_v t_{ВЗ} G_{ВЗ} + Q = 0$$
$$t_{прит}^{доп} = \frac{c_d t_{ВЗ} G_{ВЗ} - Q - c_v t_{мп} G_{мп}}{c_v G_{доп}} \quad (5.72)$$

Поскольку дополнительный приток ассимилирует теплоизбытки, полученное по формуле 5.72, значение температуры притока будет меньше расчётной температуры РЗ. Возможен случай, когда $t_{прит}^{доп} < 10^\circ \text{C}$. Это означает, что санитарной нормы воздуха недостаточно для удаления теплоизбытков, и дополнительный воздухообмен необходимо увеличивать до:

$$G_{доп}^{треб} = \frac{Q + c_v G_{мп} (t_{мп} - t_{РЗ}^{ПП})}{c_v t_{прит}^{доп}} \quad (5.73)$$

$t_{прит}^{доп}$ принимается по результатам подбора воздухораспределителя и не может быть менее 11...10,5 °С с учётом подогрева воздуха в вентиляторе.

В случае «гр2» следует организовать аэрацию:

$$G_{мп} + G_{прит}^{аэр} - G_{выт}^{аэр} = 0$$

$$c_v t_{мп} G_{мп} + c_v t_{нар}^{ПП} G_{прит}^{аэр} - c_v t_{ВЗ} G_{выт}^{аэр} - Q = 0$$

Подставив в уравнение:

$$G_{прит}^{аэр} = G_{выт}^{аэр} - G_{мп}$$

и выполнив преобразования, получим:

$$G_{выт}^{аэр} = - \frac{c_v G_{мп} (t_{мп} - t_{ПП}) + Q}{c_v (t_{ПП} - t_{ВЗ})} \quad (5.74)$$

Тёплый период года.

В помещении – избыточные поступления теплоты. Если установка местного притока обслуживает рабочие места, подвергаемые тепловому облучению, в помещение подаётся охлаждённый относительно температуры РЗ воздух, что уменьшает количество избыточной теплоты. Организация воздухообмена описана в разделе ПП, а определение расходов воздуха производится по формулам 5.73 и 5.74 с подстановкой значений входящих в уравнение величин, соответствующих ТП.

Вариант 4т/изб-б – *поступления теплоты компенсируют и превышают потери теплоты помещением.*

Анализ возможных вариантов организации и расчётов воздухообмена выполняется в соответствии с разделами «Переходный период» и «Тёплый период» предыдущего варианта 4т/изб-а.

Вариант 4т/изб – *в помещении имеются местные отсосы и установки воздушного душирования, подающие наружный воздух.*

Возможные варианты вентилируемых помещений: кузнечные, термические и иные виды «горячих» цехов.

Пояснение: в перечисленных цехах предусматривается вытяжка из ВЗ в связи с поступлением в неё незначимых вредностей, которые могут накапливаться там при отсутствии постоянного проветривания.

Вариант 4т/изб-а – поступления теплоты недостаточны для компенсации теплопотерь в ХП.

Обозначения: c_v – удельная теплоёмкость воздуха, кДж/кг °С;

$G_{прит}$, $= G_{выт} = G_{сн}$ – массовые расходы приточного и удаляемого воздуха, кг/ч;

$t_{нар}^Б$, $t_{нар}^{ПП}$, $t_{прит}$ и $t_{ВЗ}$ – соответственно, расчётные температуры по параметрам «Б», переходного периода, приточного и удаляемого из ВЗ воздуха, °С;

$(\pm Q_{ХП}, \pm Q_{ПП}, \pm Q_{ТП})$ – тепловые избытки - недостатки, кДж/ч;

K_p – кратность воздухообмена;

$\rho_{ВЗ}$ – плотность воздуха верхней зоны, кг/м³;

$V_{пом}$ – объём помещения, м³.

Холодный период года.

При недостаточном поступлении теплоты приток в помещение подаётся от приточной камеры. В соответствии со СНиП:

- количество наружного воздуха $G_{прит}$ не может быть меньше санитарной нормы;
- минимальная вытяжка из ВЗ не может быть меньше однократного воздухообмена. Массовый расход вытяжки из ВЗ см. формулу 5.61.

Количество наружного воздуха, которое необходимо подать в помещение, определяет балансовое уравнение расходов: $G_{прит} - G_{мо} + G_{душ} - G_{ВЗ} = 0$, откуда:

$$G_{прит} = G_{мо} - G_{душ} + G_{ВЗ} \quad (5.75)$$

Если $G_{\text{прит}} < G_{\text{СН}}$, следует принять $G_{\text{прит}} = G_{\text{СН}}$, увеличив вытяжку из ВЗ до:
 $G_{\text{ВЗ}} = G_{\text{прит}} + G_{\text{душ}} - G_{\text{мо}}$

Температура притока определит балансовое уравнение теплосодержаний и избытков - недостатков теплоты в помещении:

$$c_v t_{\text{прит}} G_{\text{прит}} - c_v t_{\text{мо}} G_{\text{мо}} + c_v t_{\text{душ}} G_{\text{душ}} - c_{\text{ВЗ}} t_{\text{ВЗ}} G_{\text{ВЗ}} + (- Q_{\text{ХП}}) = 0$$

или

$$t = \frac{c_v t_{\text{мо}} G_{\text{мо}} - c_v t_{\text{душ}} G_{\text{душ}} + c_{\text{ВЗ}} t_{\text{ВЗ}} G_{\text{ВЗ}} + Q_{\text{ХП}}}{c_v G_{\text{прит}}} \quad (5.76)$$

Переходный период.

Возможны два варианта:

- недостатки теплоты сохраняются и в ПП: $Q_{\text{ПП}} < c_v G_{\text{прит}} (t_{\text{прит}} - t_{\text{ПП}})$;
- имеет место избыточное поступление теплоты в помещение.

В первом случае приточная камера продолжает перегревать воздух относительно температуры РЗ, хотя и меньшей степени.

Во втором случае возможны варианты:

- избыточной теплоты недостаточно для подогрева притока от расчётной температуры ПП до расчётной температуры рабочей зоны. В этом случае приточная камера продолжает работать. Температура притока вычисляется по формуле 5.76, но температура притока будет менее расчётной температуры для РЗ.

- $Q_{\text{ПП}} = c_v G_{\text{прит}} (t_{\text{прит}} - t_{\text{ПП}})$, выключается калориферная группа, действием работающих систем местных отсосов и воздушного душирования;
- $Q_{\text{ПП}} > c_v G_{\text{прит}} (t_{\text{прит}} - t_{\text{ПП}})$, устраивается аэрация.

$$G_{\text{прит}}^{\text{аэр}} - G_{\text{мо}} + G_{\text{душ}} - G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} = 0;$$

$$G_{\text{прит}}^{\text{аэр}} = G_{\text{мо}} - G_{\text{душ}} + G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} \quad (5.77)$$

Подставив $G_{\text{прит}}^{\text{аэр}}$ в балансовое уравнение теплосодержаний и избытков – недостатков теплоты, после преобразований, получим:

$$c_v t_{\text{н}}^{\text{ПП}} G_{\text{прит}}^{\text{аэр}} - c_v t_{\text{РЗ}} G_{\text{мо}} + c_v t_{\text{душ}} G_{\text{душ}} - c_{\text{ВЗ}} t_{\text{ВЗ}} G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} + Q_{\text{ПП}} = 0;$$

$$G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} = \frac{c_v t_n^{\text{ПП}} (G_{\text{мо}} - G_{\text{душ}}) + Q - c t_{\text{РЗ}} G_{\text{мо}} + c_v t_{\text{душ}} G_{\text{душ}}}{c_v (t_{\text{ВЗ}} - t_n^{\text{ПП}})} \quad (5.78)$$

Тёплый период года.

В тёплый период организуется аэрация. Аэрационные воздухообмены вычисляются по формулам 5.77 и 5.78.

Вариант 4 т/изб-б – поступления теплоты компенсируют и превышают потери теплоты помещением.

Холодный период года.

Анализ соотношения избытков теплоты и потерь теплоты помещения выполняются в последовательности, представленной для ПП.

- избыточной теплоты недостаточно для подогрева притока от расчётной температуры ХП до расчётной температуры РЗ. Температура притока вычисляется по формуле, аналогичной формуле 5.76;

- $Q_{\text{ХП}} = c_v G_{\text{прит}} (t_{\text{прит}} - t_n^{\text{Б}})$, выключается калориферная группа, приток подаётся действием работающих систем местных отсосов и воздушного душирования через открытый проём;

- $Q_{\text{ХП}} > c_v G_{\text{прит}} (t_{\text{прит}} - t_n^{\text{Б}})$, устраивается аэрация. Аэрационные расходы вычисляются по формулам 5.77 и формуле, аналогичной формуле 5.78:

$$G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} = \frac{c_v t_n^{\text{ХП}} (G_{\text{мо}} - G_{\text{душ}}) + Q - c t_{\text{РЗ}} G_{\text{мо}} + c_v t_{\text{душ}} G_{\text{душ}}}{c_v (t_{\text{ВЗ}} - t_n^{\text{ХП}})} \quad (5.79)$$

Аэрационный приток определяется по формуле 5.77.

Переходный и тёплый периоды года.

Организуется аэрация. Аэрационные воздухообмены вычисляются по формулам 5.77 и 5.79 с подстановкой значений для ПП и ХП.

5.3. Организация воздухообмена, воздухораспределители промышленных зданий

Схемы организации воздухообмена в помещениях промышленных зданий. Производственные помещения по организации воздухообмена классифицируют на помещения I категории, высотой до 18 м в одноэтажных зданиях и II категории высотой до 6-8 м в многоэтажных промышленных зданиях. В помещениях первой категории рекомендуются: (рис.5-5) подача наклонными струями в рабочую зону; подача сосредоточенными струями в верхнюю зону помещения, сопловая подача в рабочую зону помещений с крупногабаритным оборудованием по схеме «сверху-вниз».

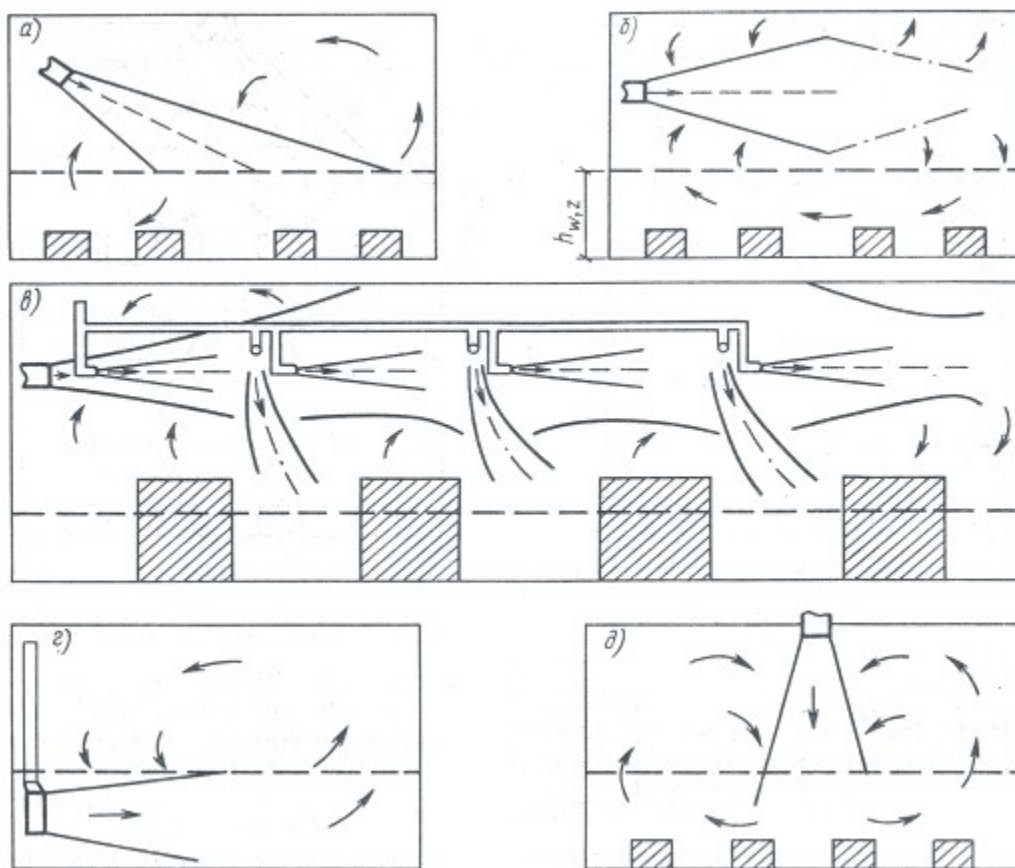


Рис.5-5. Рекомендуемые схемы организации воздухообмена в помещениях производственных помещений 1-ой категории: а – наклонными струями с высоты 4 или 5-6 м; б – сосредоточенная подача в верхнюю зону; в – сопловая подача в горизонтальной и вертикальной плоскостях; г – подача непосредственно в рабочую зону; д – подача «сверху – вниз»

В помещениях второй категории (рис.5-6) применяются: настилающиеся на потолок веерные, компактные и неполные веерные струи, применение плафонов, перфорированных воздухораспределителей и приточных насадков, создающих разомкнутые конические струи.

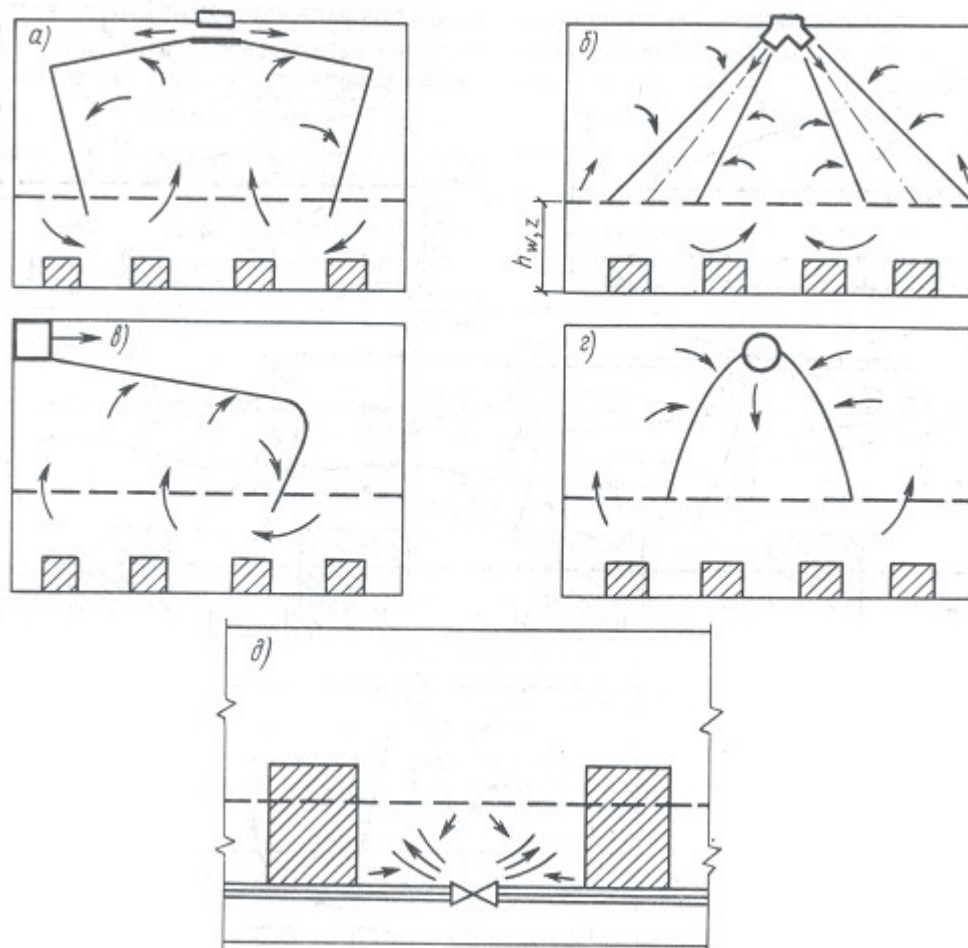


Рис.5-6. Рекомендуемые схемы организации воздухообмена в помещениях производственных помещений 2-ой категории: а – подача плафонами со щитом поперек потока настилающимися веерными струями; б – подача несмыкающимися коническими струями; в- подача настилающимися на потолок струями; г – подача плоскими струями; д – напольная подача воздуха

При выборе схемы организации общеобменной вентиляции в производственном помещении можно руководствоваться также рекомендациями, приведенными в табл. 5.3.

Таблица 5.3.

Зоны производственного помещения, рекомендуемые для подачи и удаления воздуха общеобменной вентиляции

Вредные выделения в помещении	Рекомендуемая зона помещения для	
	притока	вытяжки
Теплоизбытки	Рабочая	Верхняя
Влаговыведения при незначительных избытках тепла или теплонедостатках	верхняя (зимой с перегревом воздуха для предотвращения конденсации водяных паров на потолке)	верхняя
Газы и пары при незначительных избытках тепла или теплонедостатках		
Газы и пары легче воздуха	рабочая	верхняя
То же тяжелее воздуха	верхняя	верхняя и нижняя
Различные газы и пары	рабочая	то же
Пыль (тонкая и грубая) при незначительных избытках тепла или теплонедостатках	верхняя с небольшими скоростями	верхняя или нижняя
Влаговыведения при значительных избытках тепла	Рабочая (зимой частично в верхнюю зону с перегревом воздуха)	верхняя
Газы и пары при значительных избытках тепла	рабочая	верхняя
Пыль при значительных избытках тепла:		
Тонкая	рабочая или верхняя с небольшими скоростями	верхняя
Грубая	верхняя	верхняя и нижняя
Пылевыведение	верхняя	нижняя

Примечания:

1. Подачу воздуха в верхнюю зону высоких помещений осуществляют не выше 6-7 м от уровня пола (исключение - помещения со значительными влаговыведениями).

2. Приточные струи не должны влиять на нормальную работу установок местной вытяжной вентиляции.

В тёплый период года стремятся обеспечить вентиляцию за счёт естественного проветривания, механическая приточная вентиляция предусматривается лишь в случаях, когда естественное проветривание не может быть применено.

Приток осуществляют через открытые окна или специальные вентиляционные (аэрационные) проёмы. Побудителями тяги являются действующие вытяжные установки или гравитационные силы. Если по условиям технологического процесса и иным причинам, приток в помещение через открытые проёмы невозможен, то в дополнение к предусмотренным для работы в холодный и переходный периоды года приточным камерам устраивают летние приточные камеры без калориферов и дополнительные вытяжные установки, формирующие дополнительный летний воздухообмен.

Воздухораспределители промышленных зданий. Воздухораспределители для подачи воздуха в рабочую зону.

Воздухораспределители: эжекционный панельный штампованный (серия 1.494-38) (рис.5-8) подаёт воздух закрученными и поэтому быстро затухающими струями, состоит из воздухораздающей панели в виде стального листа, имеющего отверстия с лопатками и короба. Лопатки имеют постоянный угол установки, придают вращение выходящей из отверстия струе.

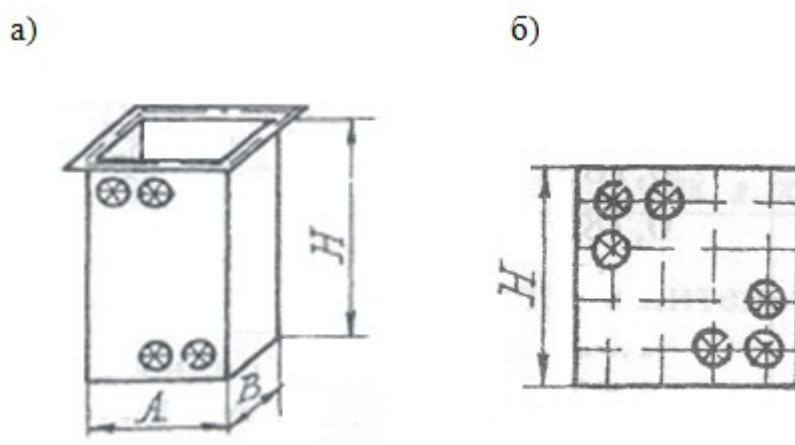


Рис.5-8. Воздухораспределители эжекционные, панельные штампованные ВЭПи.

а – воздухораспределитель ВЭПи ; б – панель воздухораздающая П-ВЭПи-II

Производительность – в пределах от 575 до 1440 м³/ч. Скорость выпуска воздуха 0,3 – 0,8 м/с.

Воздухораспределители для подачи воздуха в рабочую зону сверху - вниз наклонными струями.

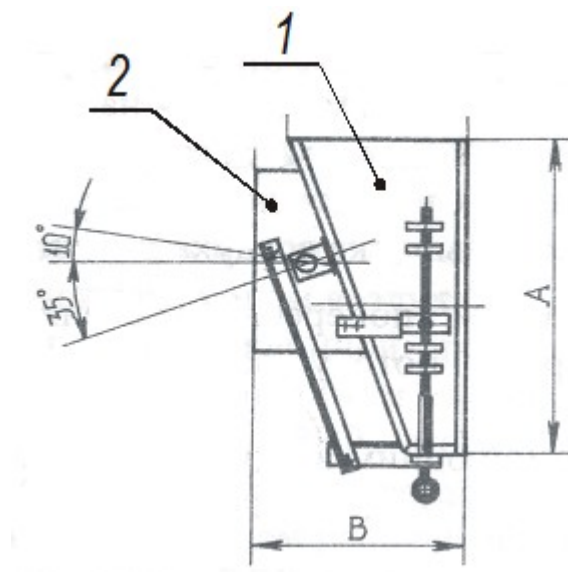


Рис.5-9. Воздухораспределитель для сосредоточенной подачи воздуха прямотруйный типа ВСП

1 –поворотная часть; 2 – прямоточный патрубок прямоугольного сечения

Воздухораспределитель для сосредоточенной подачи воздуха ВСП (серия 5.904-47) (рис.5-9) может подавать приточный воздух:

- 1.компактной, наклонной струёй в рабочую зону производственных помещений с высоты 6 м и более;
- 2.горизонтальной струёй в верхнюю зону сосредоточенно с большой скоростью.

Воздухораспределитель состоит из неподвижного патрубка прямоугольного сечения с фланцем и поворотной части, поворачивающейся от горизонтали на угол 10^0 вверх и 35^0 вниз. Ориентировочная длина участка пролёта, м, обслуживаемая одним воздухораспределителем может быть определена как $l = 4\sqrt{A_{\text{пом.}}}$, где $A_{\text{пом.}}$ – площадь поперечного сечения зоны помещения, обслуживаемая одним воздухораспределителем, м^2 .

Расход воздуха воздухораспределителя – от 3600 до 172800 $\text{м}^3/\text{ч}$. Скорость выпуска воздуха 4 – 12 м/с.

Воздухораспределитель с поворотным соплом ВПС (рис.5-10) может подавать воздух компактной струёй с повышенной скоростью, как наклонной струёй, так и сосредоточенно в верхнюю зону. Приточный воздух из воздуховода через присоединительный патрубок поступает в камеру статического давления и через сопло выпускается в помещение. Угол отклонения оси струи относительно горизонта от $+ 20$ до $(- 31)$ градуса. Производительность $3000 - 56700 \text{ м}^3/\text{ч}$. Скорость выпуска воздуха $5 - 15 \text{ м/с}$.

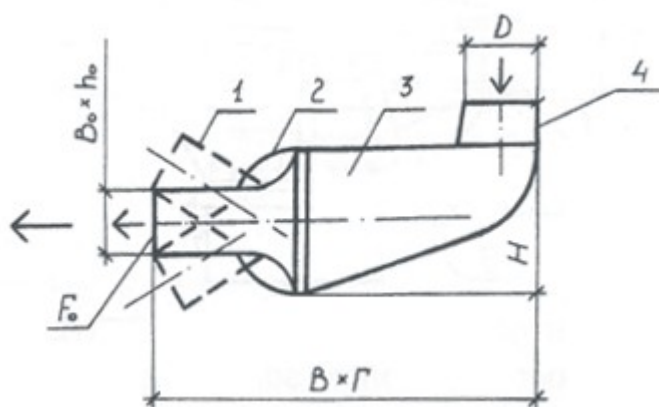


Рис.5-10. Воздухораспределитель с поворотным соплом ВПС.

1 – поворотное сопло; 2 – цилиндрический шарнир; 3 – камера статического давления; 4 – переход с круглого сечения на прямоугольное с поворотными фланцами

Приколонный регулируемый веерный воздухораспределитель НРВ (рис.5-11) подаёт воздух наклонными в рабочую зону или горизонтально в верхнюю зону свободными струями через две или четыре приточные регулируемые решётки РР под углом вверх или вниз до 30° к горизонту. Устанавливается, как правило, у колонн или капитальных стен на высоте не более $3 - 4 \text{ м}$ от пола. Производительность от 2200 до $52200 \text{ м}^3/\text{ч}$. Скорость выпуска воздуха $5,5 - 12 \text{ м/с}$.

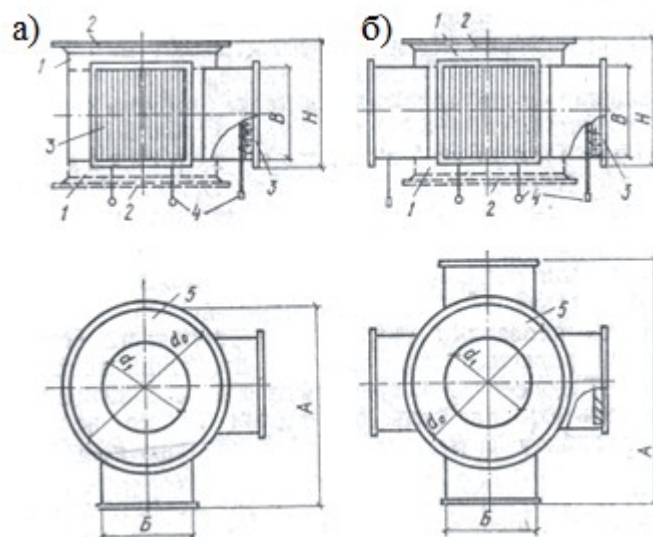


Рис. 5-11. Приколонный регулируемый веерный воздухораспределитель НРВ.

а – двухструйный; б – четырёхструйный.

1 – корпус; 2 – фланец; 3 – решетка; 4 – тяга для изменения положения направляющих лопаток

Воздухораспределители для подачи воздуха в рабочую зону плоскими струями.

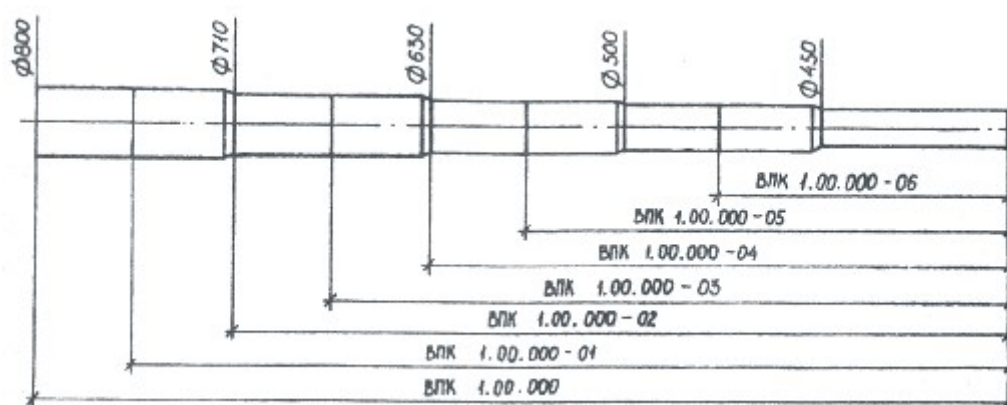


Рис.5-12. Перфорированный воздухораспределитель ВПК1

Воздухораспределитель перфорированный круглый ВПК (рис.5-12) применяется для подачи воздуха в цехи металлопокрытий или иные при необходимости поддержания в рабочей зоне малой подвижности воздуха. Воздухораспределители ВПК1 и другие его модификации устанавливают на отметке до 6 м от пола. Производительности: ВПК1 – 2820...21600; ВПК2 и - ВПК3 11200...86400 м³/ч. Скорости притока - 4÷12 м/с.

Воздухораспределители сосредоточенной подачи воздуха в верхнюю зону помещения.

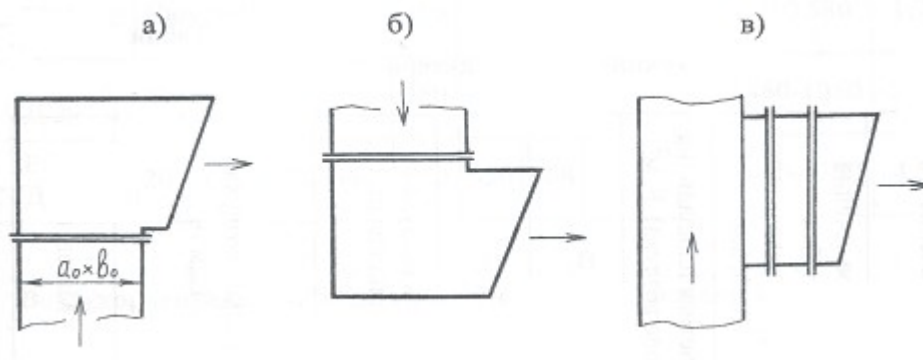


Рис.5-13. Воздухораспределитель ВГК

а – нижний; б – верхний; в – на вертикальном воздуховоде

Воздухораспределитель для подачи воздуха компактной струёй ВГК (рис.5-13) подаёт воздух сосредоточенно компактными струями в верхнюю зону помещения, подвод воздуха сверху, снизу, а также устанавливать на вертикальный приточный воздуховод, обслуживающий несколько этажей. Минимальное расстояние от верхней границы рабочей зоны до оси воздухораспределителя должно быть: $l_h \geq 0,3 \times \sqrt{A_{\text{пом.}}}$, где $A_{\text{пом.}}$ – площадь поперечного сечения части помещения, обслуживаемого одним воздухораспределителем, м^2 .

Производительность насадка 5250 – 138000 $\text{м}^3/\text{ч}$. В качестве ориентировочных данных для установки могут быть приняты следующие данные: расстояние от места выпуска до возможных препятствий не менее: $l \leq 5 \times \sqrt{A_{\text{пом.}}}$, где $A_{\text{пом.}}$ – площадь поперечного сечения помещения, обслуживаемого одним воздухораспределителем, м^2 .

Подача воздуха настилающимися на потолок помещения струями.

Решётка воздухоприточная регулируемая типа РР (рис.5-14) предназначена для подачи приточного воздуха в верхнюю зону помещения, позволяет регулировать расход воздуха и направление потока воздуха относительно горизонта. Предполагается установка решёток РР в воздуховод

поодиночке с минимальным расстоянием между ними 500 мм. Расход воздуха 115 – 1730 м³/ч. Скорость выпуска воздуха 2 – 5 м/с.

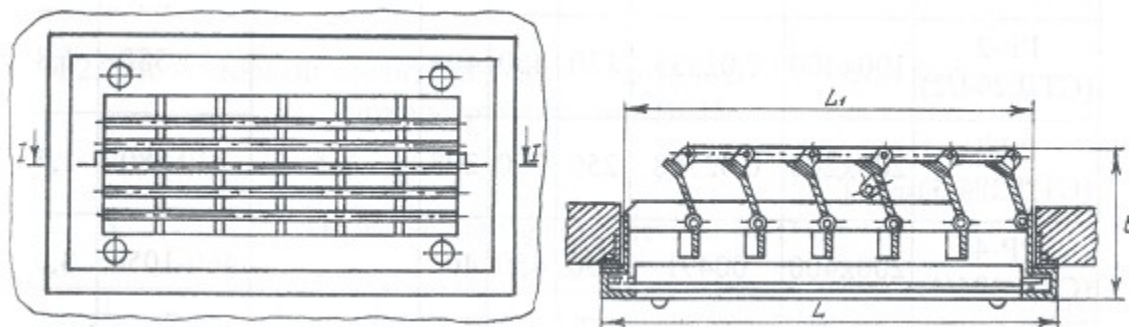


Рис.5-14. Регулируемая решётка типа РР.

1 – запорно – регулирующая решётка; 2 – многостворчатый регулятор расхода; 3 – регулятор направления

Регулируемая вентиляционная решётка типа РВ (рис.5-15) способна создавать неполные веерные струи. Применяется в гражданских и промышленных зданиях для раздачи настилающимися и нестеснёнными струями.

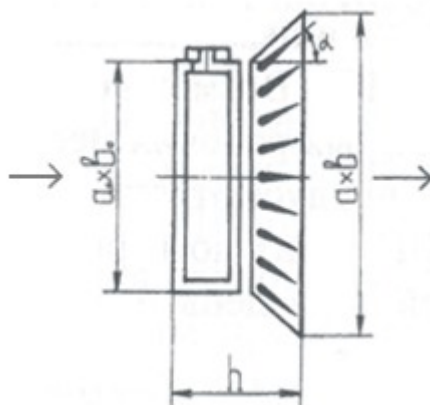


Рис. 5-15. Регулируемая вентиляционная решётка РВ.

1 – коробка; 2 – поворотные направляющие лопатки

Воздухораспределители, монтируемые на потолке.

Воздухораспределители прямоточные регулируемые типа ВР (рис.5-16) подают воздух в верхнюю зону. Изменение угла наклона заслонок из горизонтального положения в наклонное позволяет получать приточные струи двух видов. Если угол наклона 0° относительно горизонта формируется полная

веерная струя, при наклоне в $30 - 45^\circ$ осесимметричные струи. Рекомендуемая высота установки от 3 м и более от пола. Производительность от 710 до 66530 м³/ч, скорость выпуска – 4 – 12 м/с.

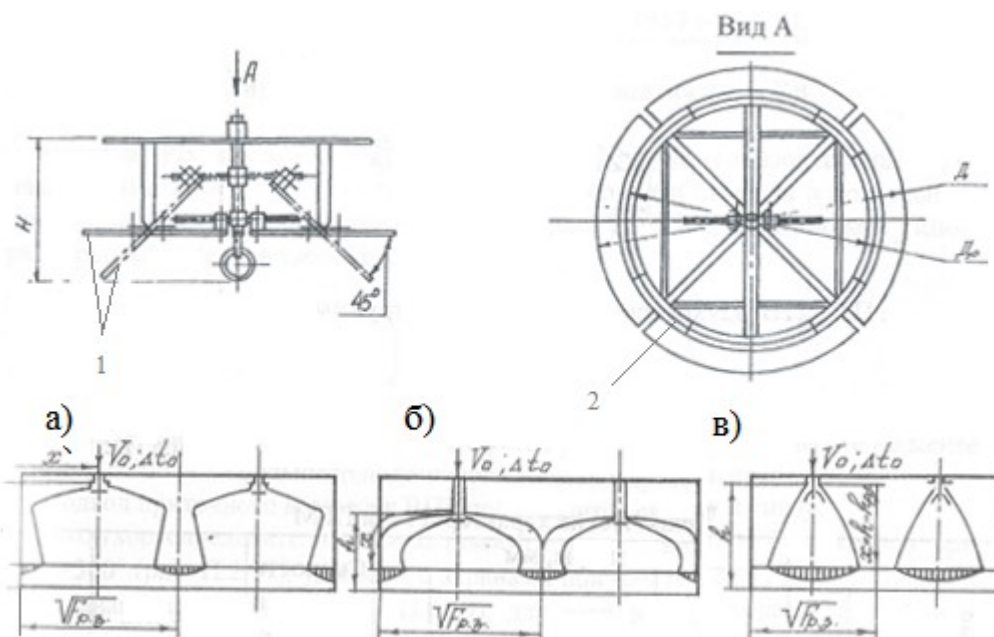


Рис. 5-16. Воздухораспределитель прямоточный регулируемый типа ВР.

а – подача полной веерной струей; б – подача не смыкающейся конической струей; в – подача конической струей; 1 – секторы диска в наклонном и горизонтальном положении; 2 – крепёжное кольцо

Плафон регулируемый многодиффузорный ПРМ (рис.5-17) подают воздух в верхнюю зону помещения с высоты не более 8 м.

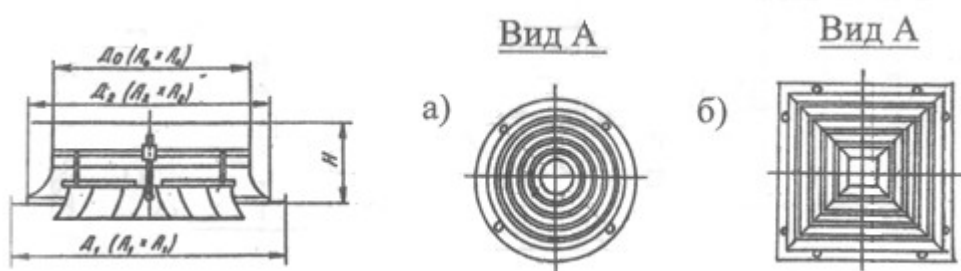


Рис. 5-17. Воздухораспределители ПРМ.

а – круглого сечения (ПРМ); б – прямоугольного сечения (ПРМп и ПРМпф)

Воздухораспределители ВПР (рис.5-18) могут подавать воздух как веерными, так и коническими струями с возможностью регулирования наклона

приточных струй к горизонтальной плоскости в пределах $\pm 35^\circ$.
Производительность от 4230 до 34000 м³/ч. Скорость выпуска – 6 – 12 м/с.

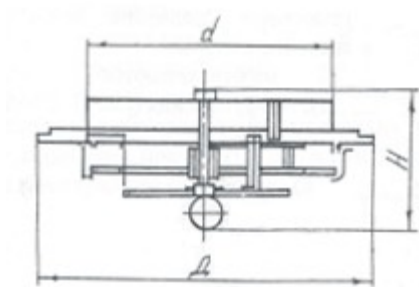


Рис. 5-18. Воздухораспределитель ВПР

Воздухораспределители ВК. (рис.5-19) устанавливаются как под потолком, так и на высоте 3 – 6 м от пола. Приточный воздух из воздуховода поступает через присоединительный патрубок, и конусообразную полость в помещение, образуя полую коническую струю. Угол выпуска составляет – 30° .
Производительность от 900 до 108000 м³/ч. Скорость выпуска 5 – 15 м/с.

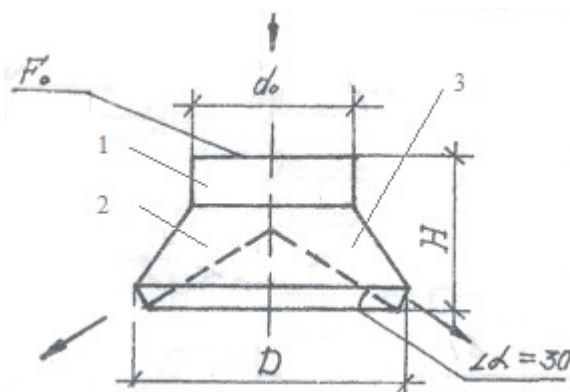


Рис. 5-19. Воздухораспределитель ВК.

1 – приточный воздуховод; 2 – диффузор; 3 – конус – рассекающий воздушный поток

Воздухораспределитель двухструйный шестидиффузорный прямоугольного сечения ВДШп (рис. 5-20) применяют для подачи воздуха в верхнюю зону помещений с повышенными требованиями к интерьеру. Воздухораспределитель относится к группе нерегулируемых. В зависимости от конструктивного исполнения и способа установки подача воздуха производится компактными вертикальными или настиляющимися веерными струями.

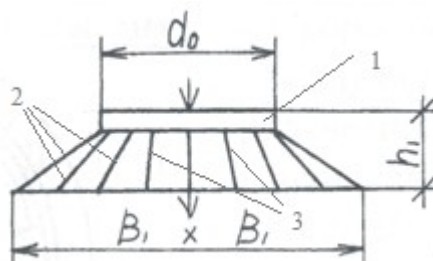


Рис. 5-20. Воздухораспределитель двухструйный шестидиффузорный прямоугольного сечения ВДШп.

1 – соединительный патрубок; 2 - диффузоры, обеспечивающие настиление струи на потолок;

3 – диффузоры для подачи воздуха сверху вниз

Потолочный воздухораспределитель ВРНС, (рис.5-21) формирует полную настилающуюся струю ВРНС, является воздухораспределителем со щитом поперёк потока. Имеет подводящий воздух патрубок и круглый щит с отбортовкой, направляющий поток воздуха к потолку.

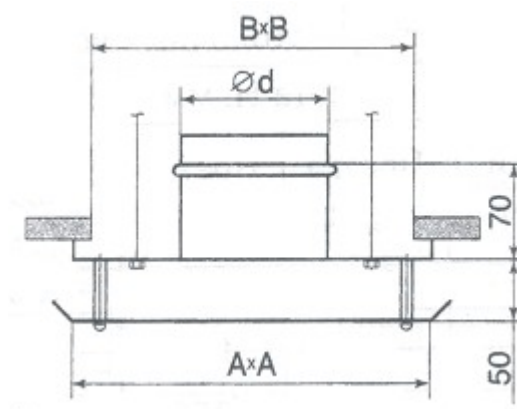


Рис. 5-21. Воздухораспределитель ВРНС

Таблица 5.4.

Основные характеристики воздухораспределителей

Тип воздухораспределит еля, серия рабочих чертежей.	Углы поворота, град.		Коэффициенты			Примечание.
	относи тельно горизо нтальн ые	в горизонта льной	скоростн ой, m	темп ерату рный , n	местн ого сопро тивле ния ζ	
Подача непосредственно в рабочую зону						
ВЭПш Серия 1.494-38	-	-	0,6	нет	330	Значение m при x = 1 Возможно размещение и в верхней зоне помещения
Подача воздуха наклонными компактными струями в рабочую зону помещения.						
ВСП, Серия 5.904-18	+ 10 - 35	-	6,3	4,5	1,25	
Подача воздуха наклонными неполными веерными струями в рабочую зону помещения.						
НРВ Серия 1.494-37	0 ± 30	0	2,3	1,4	3	
Подача плоскими струями						
ВПК Серия 5.904-6	-	-	0,5	1,5	2,4	
Сосредоточенная подача воздуха в верхнюю зону помещения.						
ВГК	+ 10 - 30	-	6,5 6,5	5,1 5,1	1,9 1,9	
Подача воздуха настилающимися или нестеснёнными струями в верхнюю зону.						
РР Серия 1.494-8	-	-	4,5	3,2	2,2	
РРНП	± 45 90	± 45 90	6,7 6,8	5,6 5,1	2,7 1,5	
Подача воздуха на потолок полными веерными струями или смыкающимися коническими струями.						
РВ Серия 5.904-21	0 - 45	-	1 2,7	0,9 2,5	1,5 1,7	без экрана
ПРМ Серия 5.904-39	0 0	- -	0,7 3,2	0,6 2,8	1,4 1,3	с экраном

ПРМп Серия 5.904-9	0 0	- -	1,2 2,5	1,2 3	1,3 1,7	
ВПр Серия 5.904-39	± 35	-	0,75	0,7	2,7	
ВДШп Серия 4.904-29	-	360	1,4	1,05	1,9	

Сильно неизотермические струи или воздушные фонтаны.

Более подробно струйные течения рассматривались в курсе гражданской вентиляции. Подача воздуха в производственные помещения часто выполняется дальнобойными струями, являющиеся, как правило, сильно неизотермическими. В настоящем пособии данные об этих струях повторяются по причине необходимости подбора воздухораспределителей для производственных помещений.

Сильно неизотермической струёй или *воздушным фонтаном* называется неизотермическая свободная воздушная струя, направленная горизонтально или под углом к горизонту, однако ось которой заметно отклоняется от прямой действием гравитационных сил.

В технике воздухораздачи закономерностями сильнонеизотермической струи приходится пользоваться, например, при расчёте притока через щель во внутренней стене плоской свободной струёй. Расчёт траектории выполняется через геометрическую характеристику струи H :

$$H = \sqrt{\frac{m^2 v_0^2 T_{\text{окр.}} \sqrt{A_0}}{ng \Delta t_0}} \quad (5.103)$$

Выражение (5.103) преобразуется для струй различного вида в более простые формулы:

компактные, конические и веерные струи

$$H \approx 5,45 \frac{mv_0^4 \sqrt{A_0}}{\sqrt{n\Delta t_0}} \quad (5.104)$$

плоские струи

$$H \approx 9,6 \times \sqrt[3]{\frac{B_0 (mv_0)^4}{(n\Delta t_0)^2}} \quad (5.105)$$

Сильнонеизотермическая струя сохраняет первоначальное направление движения воздушного потока на расстоянии, м:

$$x < 0,45H \quad (5.106)$$

При вертикальной подаче нагретого воздуха сверху вниз струя воздушного фонтана полностью затормаживаются на расстоянии:

- компактные, конические и неполные веерные, м:

$$x = 0,55H \quad (5.107)$$

- плоские, м:

$$x = 0,8H \quad (5.108)$$

При вертикальной подаче неизотермичность можно не учитывать, если:

$$x < 0,35H \text{ или } \frac{H}{\sqrt{A_0}} > 100 \quad (5.109)$$

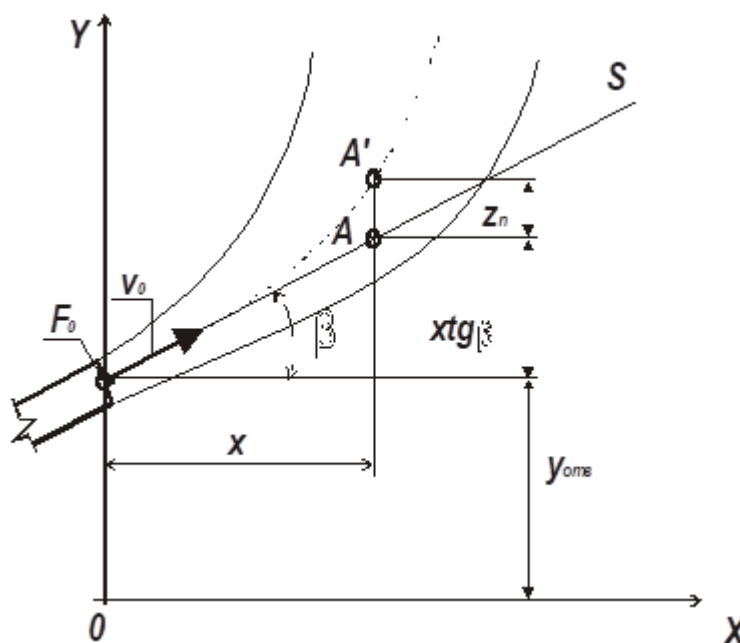


Рис. 5-24. Схема сильнонеизотермической струи, истекающей под углом к плоскости горизонта из приточного отверстия, расположенного на отметке « $y_{отв}$ » относительно плоскости пола помещения.

Уравнение оси сильнонеизотермической струи или фонтана применяется в расчётах воздухопонижения с целью:

2. определения «дальнобойности», под которой понимают координату x точки пересечения осью струи плоскости, ограничивающей рабочую зону помещения сверху (точка А), при подаче воздуха из верхней в нижнюю зону наклонными или горизонтальными свободными струями;

3. «истинную» длину криволинейной оси струи от центра приточного отверстия до точки А.

Уравнение оси струи должно быть составлено в системе декартовых координат, началом которых является точка пересечения абсциссы на отметке пола помещения и ординаты, проходящей через центр приточного отверстия. Вводится также дополнительная ось os , направленная по вектору начальной скорости струи. Угол между абсциссой ox и осью os составляет β . (рис. 5-24).

Траектория струи определяется двумя составляющими:

1.кинетической, определяющей движение в направлении вектора скорости, направленного под заданным углом к горизонту:

$$y = y_{\text{отв}} \pm x \operatorname{tg} \alpha .$$

2.гравитационной, определяющей движение струи вверх или вниз от первоначально заданного направления:

для компактных и веерных струй: $\pm \frac{1}{H^2 \cos^3 \alpha \sqrt{A_0}} \cdot x^3$

для плоских струй $\pm 0,4 \sqrt{\frac{x^3}{H^3 \cos^5 \alpha}}$

Уравнение в общем виде:

для компактных и веерных струй

$$y = y_{\text{отв}} \pm \operatorname{tg} \alpha \cdot x \pm \frac{1}{H^2 \cos^3 \alpha \sqrt{A_0}} \cdot x^3 \quad (5.110)$$

для плоских струй

$$y = y_{\text{отв}} \pm \operatorname{tg} \alpha \cdot x \pm 0,4 \sqrt{\frac{x^3}{H^3 \cos^5 \alpha}} \quad (5.111)$$

где $y_{\text{отв}}$ - ордината центра приточного отверстия относительно пола помещения, принимаемого за условный нуль в расчётах воздухопотока.

Знак перед вторым членом правой части уравнения зависит от направления оси струи относительно плоскости горизонта:

3.вверх относительно плоскости горизонта – знак «плюс»;

4.под горизонт – знак «минус».

Знак перед третьим членом уравнения:

- «минус», если приток охлаждённый;
- «плюс», если вентиляция выполняет функции воздушного отопления.

На рис. 5-25 представлены траектории сильно неизотермических струй для различных вариантов подачи воздуха в помещение.

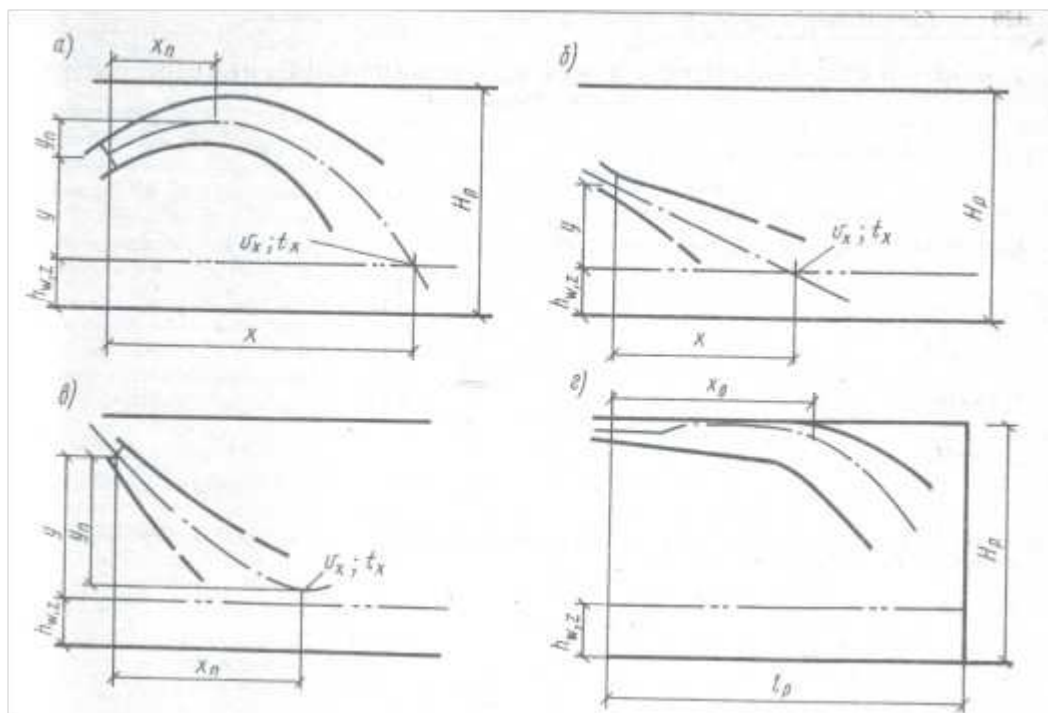


Рис. 5-25. Схемы подачи охлаждённого воздуха вверх под углом к горизонтальной плоскости (а), нагретого воздуха вниз под углом к горизонтальной плоскости – ось струи пересекает РЗ (б), схема настилающей подачи охлаждённого воздуха.

Сосредоточенная подача приточного воздуха в верхнюю зону помещения с большими скоростями. В системах вентиляции, совмещённых с воздушным отоплением, применяют «сосредоточенную подачу» приточного воздуха в верхнюю зону помещения компактными струями с большими скоростями, что позволяет провентилировать и обеспечить отопление пролёта или иной части здания на протяжении 50 – 60 м.

Если вытяжное устройство разместить под приточным отверстием в рабочей зоне, сосредоточенная струя, пойдя некоторое расстояние под потолком, возвращается к месту истечения через рабочую зону помещения.

Исследования показали, что струя не испытывает влияние ограждающих конструкций и развивается как свободная до первого критического сечения, на расстоянии:

$$l_{1кр.} = 0,22m\sqrt{A_n} \quad (5.120)$$

где: m – коэффициент затухания осевой скорости на основном участке струи;
 A_n - площадь части поперечного сечения помещения, обслуживаемая одной приточной струёй, m^2 .

В районе первого критического сечения поперечное сечение струи занимает до 25% части поперечного сечения помещения, обслуживаемого одной струёй. Затем струя переходит к режиму односторонне ограниченной струи между 1-м и 2-м критическими сечениями: замедляется прирост скоростей и расхода воздуха в струе, уменьшается средняя скорость движения воздуха и нарушается постоянство величины кинетической энергии воздушного потока. Второе критическое сечение располагается на удалении от места истечения, равном:

$$l_{2кр.} = 0,31m\sqrt{A_n} \quad (5.121)$$

Во 2-м критическом сечении струя занимает до 42% от площади обслуживаемой части поперечного сечения помещения. После 2-го критического сечения струя начинает разрушаться, от неё отделяются массы воздуха, которые вовлекаются в обратный воздушный поток, располагающийся в рабочей зоне. Но, тем не менее, движение воздуха в верхней зоне помещения продолжается в прежнем направлении, и максимальная дальность струи достигает величины:

$$l_{np.} = 0,62m\sqrt{A_n} \quad (5.122)$$

Между 2-м критическим сечением и зоной максимальной дальностью струи наблюдается повышенная подвижность воздуха в рабочей зоне, поэтому в той части помещения не рекомендуется размещать постоянные рабочие места. Максимальная скорость воздуха и разность температур в рабочей зоне (в обратном потоке во 2-м критическом сечении) при сосредоточенной подаче компактными и неполными веерными струями может быть определена по формулам:

$$v_{\text{макс.}} = 0,78v_0 \sqrt{\frac{A_0}{A_{\text{пом.}}}} \quad (5.123)$$

$$\Delta t_{\text{макс.}} = 1,4\Delta t_0 \sqrt{\frac{A_0}{A_{\text{пом.}}}} \quad (5.124)$$

где A_0 - площадь приточного насадка для подачи воздуха в помещение, м^2 ;
 $A_{\text{пом}}$ - площадь поперечного сечения помещения, обслуживаемая одной струёй, равная произведению высоты помещения $H_{\text{пом}}$ и ширины помещения, обслуживаемой одной струёй $B_{\text{пом}}$.

Указанные закономерности определены путём обработки экспериментальных данных и справедливы для следующих соотношений высоты $H_{\text{пом}}$ и ширины помещения $B_{\text{пом}}$ обслуживаемых одной струёй:

если	$\sqrt{\frac{A_{\text{пом.}}}{A_0}} \geq 22$	то $B_{\text{пом}} < 3,5 H_{\text{пом}};$
если	$22 > \sqrt{\frac{A_{\text{пом.}}}{A_0}} \geq 11$	то $B_{\text{пом.ю.}} < 2,5 H_{\text{пом}};$
если	$\sqrt{\frac{A_{\text{пом.}}}{A_0}} < 11$	то $B_{\text{пом.ю.}} < 1,5 H_{\text{пом.}}$

Глава 6. Об особенностях проектирования, конструктивные элементы вентиляционных систем производственных зданий

6.1. Об особенностях проектирования, конструктивные элементы вентиляционных систем производственных зданий

6.1.1. Предпосылки конструирования вентиляционных систем. Проект вентиляции зданий любого назначения, включая и промышленные, состоит из рабочих чертежей и пояснительной записки. Основной частью проекта являются рабочие чертежи, по которым выполняются монтажные работы. Пояснительная записка, как правило, невелика по объёму, обязательными элементами которой являются описание технических решений вентиляции по зданию в целом с указанием помещений, обслуживаемых каждой из, вентиляционных систем, и спецификацию вентиляционного оборудования.

Разработанная документация должна представлять достаточные по объёму сведения для целей:

- составления финансово – сметной документации;
- заказа необходимого вентиляционного оборудования и воздуховодов (вентиляционных каналов);
- выполнения монтажных и пуско – наладочных работ.

Например, каждый из поэтажных планов предназначен для монтажа вентиляции и должен иметь все размеры поперечных сечений воздуховодов и каналов, привязки воздуховодов к сетке осей или строительным конструкциям, нанесенные на планы в масштабе вентиляционные площадки и т. д. Аксонометрические схемы используются для составления смет при выполнении монтажных работ, планы и виды сбоку вентиляционных площадок – для выдачи технических заданий строителям для разработки строительных чертежей площадок и для монтажа вентиляционного оборудования.

Конструирование вентиляции следует выполнять в соответствии с:

- выполнение требований строительных норм и правил к вентиляционным системам;
- учёт особенностей объёмно – планировочного решения здания и процессов, происходящих в его помещениях;
- максимально – эффективное использование приточного воздуха для создания благоприятных условий пребывания человека как в пределах всей рабочей зоны помещения (гражданские и большая часть производственных помещений), так и на конкретных рабочих местах (производственные помещения преимущественно);
- грамотное размещение вентиляционных систем в объёме здания, выбор рациональных трассировок и способов прокладки воздуховодов и каналов.

Традиционно приточных камер размещают в подвале, а вытяжных установок – на чердаке. При таком способе размещения вес сравнительно тяжёлых приточных камер не передаётся на строительные конструкции здания, что потребовало бы их усиления, а технические помещения не занимают более дорогие площади на его этажах.

Однако, в связи с использованием подвалов под автостоянки, загрязнённости приземного слоя воздуха в больших городах, вентиляцию часто проектируют *поэтажную*, размещая комбинированные приточно – вытяжные установки в технических помещениях на каждом этаже с выбросом загрязнённого воздуха на крышу через воздуховоды – стояки, смонтированные в специально устроенных для этой цели шахтах. В производственных зданиях на решения вентиляционных систем большое влияние оказывают особенности технологического процесса. Учитываются:

- взрывопожароопасная категоричность производственных помещений;
- количество, степень токсичности и взрывоопасности выделяющихся вредностей;
- обстановка в непосредственной близости от технологических установок повышенной взрыво – пожароопасности;

- возможность монтажа вентиляционных установок как в пределах специально выделенных для этой цели помещений, так и на вентиляционных площадках, устанавливаемых непосредственно в обслуживаемом помещении.

Конструирование вентиляции следует начинать с вытяжных систем, как более многочисленных и требующих большего пространства для своего размещения. Вытяжка производится практически из всех помещений. Организованный приток подаётся лишь в часть вентилируемых помещений. Оставшаяся часть некомпенсированной притоком непосредственно в помещения вытяжки подаётся в холлы, коридоры, откуда воздух и поступает в эти помещения. Жилые здания массовой застройки оборудуются гравитационными вытяжными системами, приток в помещения - неорганизованный, через неплотности окон.

Производственные помещения могут оборудоваться и общеобменными, и местными вытяжными системами, обычно с механическим, в меньшей степени гравитационным побуждением:

- общеобменной приточно – вытяжной вентиляцией (пошивочные цехи, сборочные производства), если отсутствует необходимость в устройстве местных отсосов;
- вентиляцией с общеобменным притоком и вытяжкой через местные отсосы при отсутствии поступления газовых вредностей в воздух помещения;
- смешанной системой вентиляции при необходимости устройства местных отсосов и наличии выделений в воздух помещений вредных веществ;
- возможны и другие, применяемые в меньшей степени, варианты организации вентиляции.

Зоны для подачи притока определяются особенностями выделяющихся вредностей и выполняемого в помещении технологического процесса. Приточные насадки, как правило, крепят к колоннам и стенам.

6.1.2. Элементы вытяжных и приточных систем вентиляции с механическим побуждением

Наиболее просты по устройству *вытяжные гравитационные системы*, описанные выше. При механическом побуждении в её состав включается вентилятор.

В состав *вытяжных систем промышленных зданий* дополнительно может быть включено устройство частичной очистки воздуха *вентиляционного выброса* от вредной примеси.

Системы пневмотранспорта и системы аспирации имеют местные отсосы, сеть стальных воздуховодов, подводящих воздух с примесью к вытяжной установке, очищающее воздух от примеси устройство, вентилятор и вытяжную шахту.

Приточные вентиляционные системы состоят из воздухораспределителей и сети металлических воздуховодов или вентиляционных каналов, подводящих к ним воздух, приточной камеры и воздухозаборного устройства наружного воздуха. Приточная камера может состоять из следующих элементов:

- утеплённого клапана, предотвращающего поступление наружного холодного воздуха в камеру в нерабочее время;
- воздушного фильтра для очистки приточного наружного воздуха от пыли;
- калорифера системы утилизации теплоты системы с промежуточным теплоносителем или поверхностного теплообменника такого же назначения;
- калорифера подогрева приточного воздуха до расчётной температуры притока;
- вентилятора;
- сети воздуховодов или вентиляционных каналов;
- воздухораспределителей или (другое название) приточных насадков.

В системах с частичной рециркуляцией воздуха в состав приточной вентиляционной системы вводят и *рециркуляционный* вентилятор, подающий

рециркулируемый воздух в приточную камеру в случае существенной удалённости обслуживаемого помещения от приточной камеры.

Воздуховоды. Стальные, стандартные воздуховоды изготавливают из листовой стали толщиной 0,5 и более миллиметров, или стальной тонколистовой ленты. Применяют для перемещения по ним воздуха с температурой до 70 °С. В случае более высокой температуры перемещаемого воздуха, наличия в нём механических примесей или агрессивных веществ, допускается применение стали толщиной до 1,4 мм и выше при соответствующем обосновании.

Предпочтительны круглые воздуховоды, причины тому:

- при одной и той же толщине стенки круглые воздуховоды прочнее прямоугольных;
- расход металла на прямоугольные воздуховоды на 16% выше, чем для круглых при одинаковой площади поперечного сечения обоих воздуховодов;
- стоимость изготовления единицы поверхности прямоугольных воздуховодов на 20% выше, чем для круглых воздуховодов.

Прямоугольные воздуховоды применяют в стеснённых местах, где недостаточно места для размещения круглых воздуховодов с прямой врезкой ответвлений.

Применяют воздуховоды двух классов:

- «П» – плотные, если статическое давление у вентилятора превышает 600 Па, а также в системах, обслуживающих помещения категорий А и Б.
- «Н» - нормальные, в остальных случаях.

Стандартная длина звеньев круглых и прямоугольных воздуховодов, изготовленных из листов стали - 2000 мм, из тонколистовой стальной ленты - произвольная.

Стандартные диаметры и размеры обеспечивают отсутствие или минимум отходов листового металла при изготовлении. Вследствие незначительной

толщины листового металла за нормируемый размер воздуховодов допускается принимать не внутренний, а наружный диаметр. Влажный воздух перемещают по воздуховодам из оцинкованной стали.

Нормы предлагают обязательные к применению диаметры воздуховодов, представленные в таблице 6.1.

Таблица 6.1.

Нормативные диаметры и толщины стенок листового металла, мм, круглых
стальных материалов

Диаметры воздуховодов, мм							Толщина, мм
100	110	125	(140)	160	(180)	200	0,5
(225)	250	280	315	(355)	400	450	0,6
500	(560)	630	710	800			0,7
900	1000	1120	1250				1,0
1400	1600						1,2
1800	2000						1,4

Для систем аспирации (пылеудаления) дополнительно к перечисленным изготавливают воздуховоды 140, 180, 225, 355, 560 мм.

Размеры прямоугольных и квадратных воздуховодов приведены в таблице 6.2. Не рекомендуется применять воздуховоды с соотношением сторон более 2...2,5. Воздуховоды с большим соотношением сторон приближаются к щелям, движение воздуха в которых может не подчиняться закону Дарси вследствие расслоения воздушного потока в поперечном сечении воздуховода на отдельные потоки.

Таблица 6.2.

Нормативные размеры стальных прямоугольных (квадратных) воздуховодов и
толщина стенки, мм

Размеры поперечного сечения стальных прямоугольных и квадратных воздуховодов, мм						Толщина а, мм
100x150	150x150	150x250	150x300	250x250		0,5
250x300	250x400	250x500	400x400	400x500	400x600	0,7
400x800	500x500	500x600	500x800	500x1000	600x600	
600x800	600x1000	800x800	800x1000	1000x1000		
				0		0,9
600x1250	800x1250	1000x125	1000x160	1000x200	1250x125	
		0	0	0	0	
1250x160	1250x200	1600x160	1600x200			
0	0	0	0			

Рекомендуемая толщина стенок воздуховодов систем пневмотранспорта
представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3.

Рекомендуемые толщины стенок, мм, круглых воздуховодов систем
пневмотранспорта $\mu \leq 0,2$ кг/кг

Диаметр воздуховода $d \leq 200$ мм в помещении		Диаметр воздуховода $d > 200$ мм	
		скорость воздуха $v \leq 23$ м/с	скорость воздуха $v > 23$ м/с
в помещении	1,4	1,4	2,0
на улице	2,0	2,0	3,0

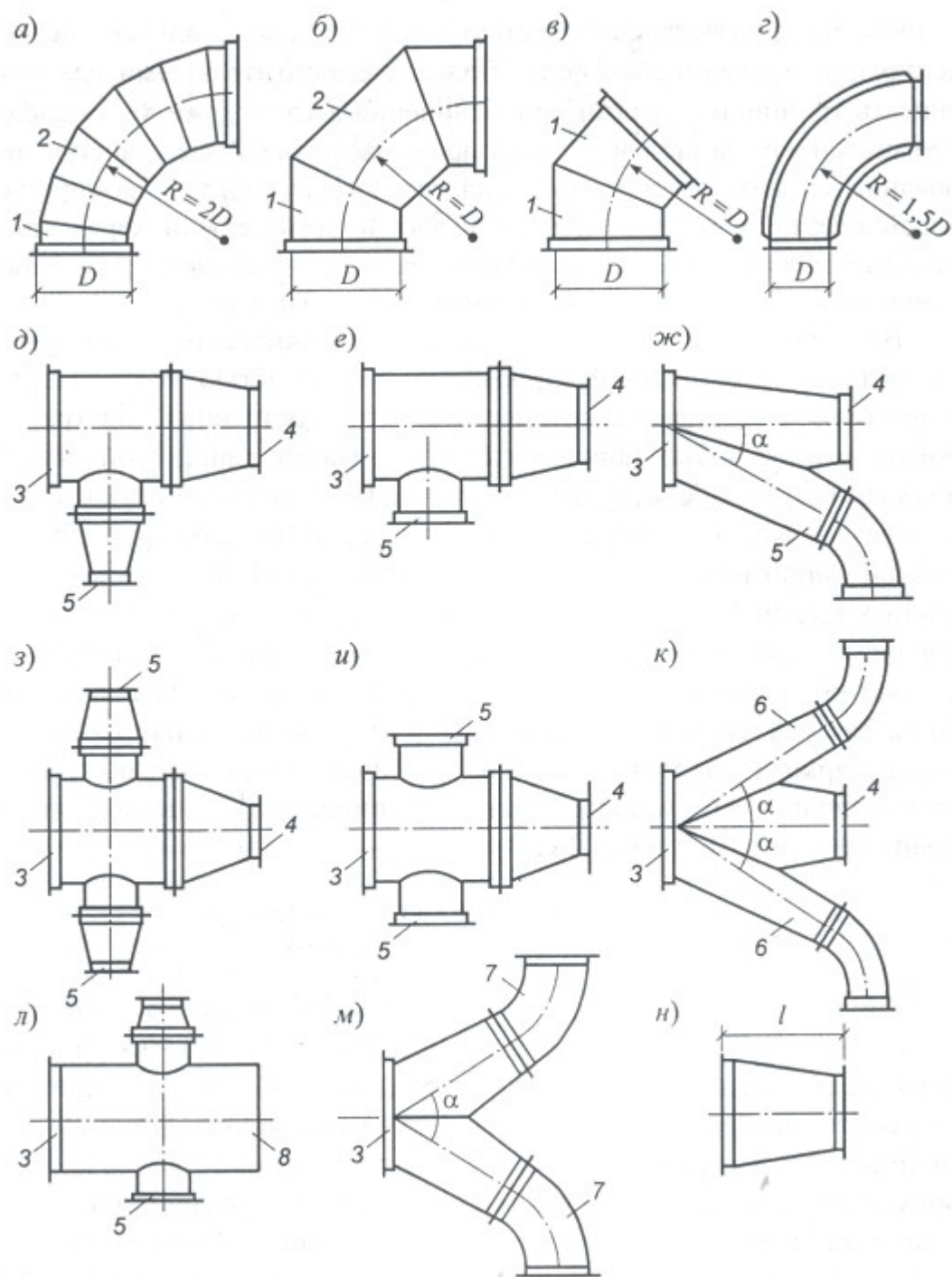


Рис. 6-1. Фасонные части круглых стальных воздуховодов.

а, б, в – отводы, составленные из стаканов; г – штампованный отвод; д, е – односторонние стояки с прямой врезкой; ж – односторонний тройник с косой врезкой; з, и – двухсторонние тройники с прямой врезкой; к – двухсторонний тройник с косой врезкой; л – концевой тройник с прямой врезкой; м – штанообразный тройник; н – конфузор (диффузор).

1, 2 – звенья отводов; 3, 4, 5 – фланцы; 6 – ответвления; 7 – полувотводы; 8 – заглушенный торец

Сети воздухопроводов состоят из прямолинейных участков и фасонных частей, с помощью которых:

- изменяется направление воздушного потока – отводы (рис. 6-1а, б, в, г) и колена;
- поперечное сечение воздухопровода через конфузторы и диффузоры (рис. 6-1и), внезапные сужения и расширения;
- присоединяют ответвления к магистрали через тройники (рис. 6-1д, е, ж) и крестовины (рис. 6-1з, и, к);
- разветвления воздухопровода – штанообразные тройники (рис. 6-1л, м).

Сеть воздухопроводов и каналов состоит из *главного расчётного направления* и *ответвлений*. *Магистралью* – называется кратчайший путь по сети от наиболее удалённого вентилируемого объекта до вентилятора. Часто магистраль бывает прямолинейной конфигурации. Присоединение ответвлений к магистралям у круглых воздухопроводах может производиться как под углом 90^0 (прямая врезка), так и при меньших углах (косая врезка). Тройники и крестовины круглого сечения прямой врезки более компактны, но обладают повышенным аэродинамическим сопротивлением по сравнению с косой врезкой. Унифицированные узлы прямой врезки ответвления в магистраль состоят из цилиндрической и конической частей (рис. 6-1д, е, з, и).

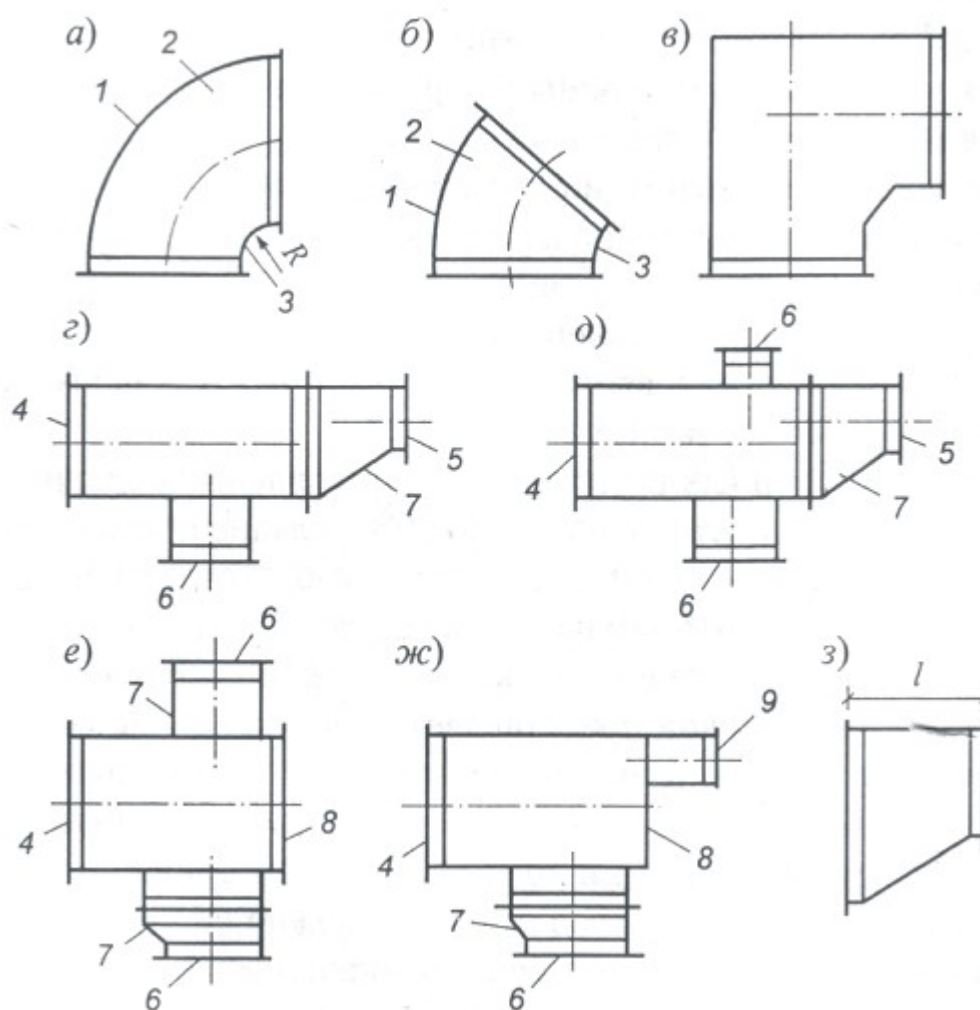


Рис. 6-2. Фасонные части воздуховодов прямоугольного сечения.

а, б – отвод и полуотвод; в – колено; г – односторонний тройник; д – двусторонний тройник; е, ж – штанообразные тройники; з – конфузор (диффузор).

1, 3 – изогнутые боковые стенки; 2 – отвод; 4, 5, 6, 9 – фланцы; 7 – конфузор; 8 – глухая стенка

Прямая врезка в воздуховодах круглого сечения применяется относительно недавно, после внедрения в производство плазменных резки и сварки. Традиционно чистый воздух транспортировали по сетям воздуховодов с углами врезки ответвлений в магистрали под углами 30° и 45° в зависимости от диаметра магистрали и ответвления. В системах аспирации и пневмотранспорта применяли угол врезки в 15° , а при транспортировании горелой земли или песка – 8° , так как уменьшение угла врезки снижает абразивный износ тройников. Сейчас тройники с врезкой в магистраль под углом 30° и 45° нормы предписывают применять в системах аспирации и пневмотранспорта.

Фасонные части воздуховодов прямоугольного и квадратного сечения представлены на рис. 6-2. Отводы круглых воздуховодов с центральным углом 90° изготавливаются из одного звена и двух стаканов, а центральным углом 45° - только из двух стаканов. Средний радиус отвода принимается равным его диаметру.

Для систем аспирации и пневмотранспорта, т.е. систем перемещающих воздух вместе с пылью и стружками, отводы изготавливаются из пяти звеньев и двух стаканов со средним радиусом, равным двум диаметрам. Для отводов диаметров 315 мм и менее допускается сборка из трёх звеньев и двух стаканов.

Применяют и штампованные отводы, имеющие лучшие аэродинамические характеристики. Штампованные отводы с центральным углом 90° выпускают диаметром от 100 до 630 мм с толщиной стенки 0,7 мм.

Коэффициенты местных сопротивлений отводов следует принимать:

отвод из одного звена и двух стаканов $\alpha = 90^\circ$	$\zeta = 0,3;$
полуотвод из двух стаканов $\alpha = 45^\circ$	$\zeta = 0,2.$

Унифицированные переходы (конфузоры, диффузоры), односторонние, с углом $\alpha = 45^\circ$ между образующей и плоскостью основания, применяются как для изменения сечения воздуховодов, так и для образования угла ответвления.

Воздуховоды вытяжных систем, перемещающих воздух, содержащий агрессивные среды (например, от гальванических ванн), должны обладать повышенной коррозионной стойкостью. Материалов, коррозионная стойкость которых достаточна для транспортирования любых паров и газов нет. Наименьшей стойкостью обладают стальные сварные воздуховоды с коррозионностойкой покраской. Коррозионностойкая сталь X18H10T, обладает достаточной стойкостью против воздействия паров различных щелочей и кислот, но не пригодна для окислов серы, и паров кислот соляной, серной, азотной. Хорошей коррозионной стойкостью обладают титановые сплавы с содержанием титана более 50%, но и их срок службы ограничен. При удалении паров плавиковой кислоты воздуховоды рекомендуется выполнять из листового

фенопласта марки Т. Достаточной коррозионной стойкостью к коррозионным воздействиям обладает металлопласт, - листовая сталь, защищённая с обеих сторон наполненным полиэтиленом ВД, либо ПВХ.

Наряду с металлическими воздуховодами применяются тканевые, воздуховоды из плёнки ПВХ, пенопластовые, оклеенные фольгой («Пенофол»), винипластовые и др.

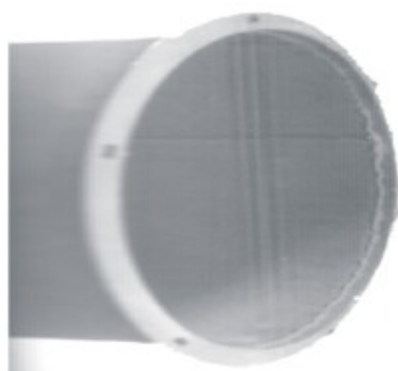


Рис. 6-3. Фланец, насаженный на круглый воздуховод

Отдельные звенья воздуховодов, фасонных частей приходится соединять друг с другом. Наиболее распространённым и плотным соединением является фланцевое. Для круглых воздуховодов они изготавливаются из уголковой стали (рис. 6-3). Для прямоугольных воздуховодов разработана конструкция, состоящая из угольников и накладок. Угольники стягиваются болтами, накладки – струбцинами с последующей установкой монтажных скоб (рис. 6-4).

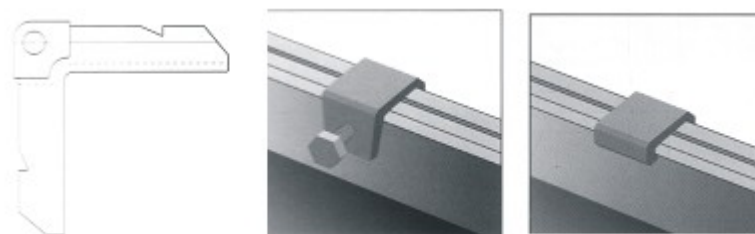


Рис. 6-4. Элементы соединения прямоугольных воздуховодов, аналог фланцевому (угольник, стяжка накладок струбциной, установленная монтажная скоба)

Существуют и другие способы соединения воздуховодов. У круглых – ниппельное и бандажное соединения, прямоугольных – «на планках». Но они уступают фланцевым в прочности и плотности.

Приточные камеры служат для очистки приточного воздуха от пыли, подогрева его в холодный и переходный периоды года и создания давления, действием которого воздух перемещается по сети воздуховодов и каналов.

Ранее приточные камеры изготавливались преимущественно в строительных конструкциях.

Камеры этого типа применяют и по настоящее время преимущественно в реконструируемых зданиях при недостатке места для размещения современных панельно – каркасных камер.

В настоящее время применяются камеры заводского изготовления, панельно-каркасной конструкции (рис. 6-5).

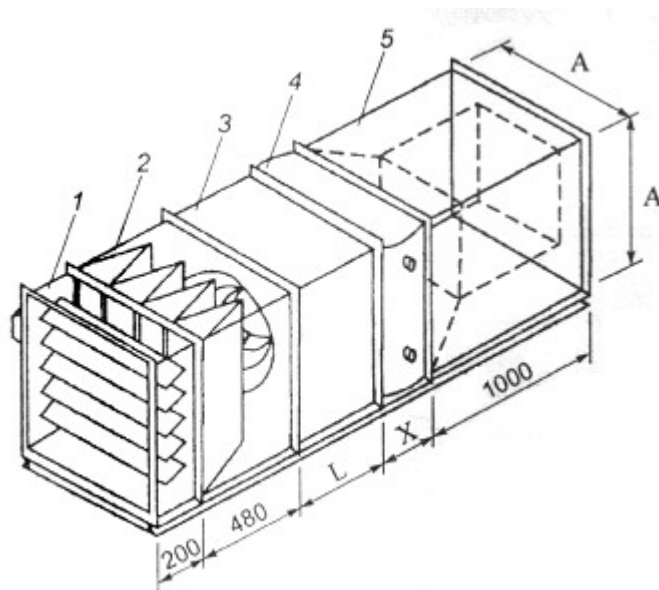


Рис. 6-5. Принципиальная схема модульной приточной установки типа АПК.

1 – входной клапан с приводом; 2 – воздушный фильтр EU-3; 4 – калорифер (водяной или электрический); 5 – глушитель шума; A – размер поперечного сечения приточной камеры; L – длина вентиляторного блока; x – ширина воздухоподогревателя

Состав элементов приточных камер заводского изготовления тот же, что и камер в строительных конструкциях. Доступ к отдельным элементам обеспечивается съёмными панелями с герметичным уплотнением.

Нормативными актами предусматривается утилизация теплоты удаляемого воздуха. Это требование реализуется в комбинированных приточно – вытяжных камерах с поверхностными теплообменниками – теплоутилизаторами (рис. 6-6).

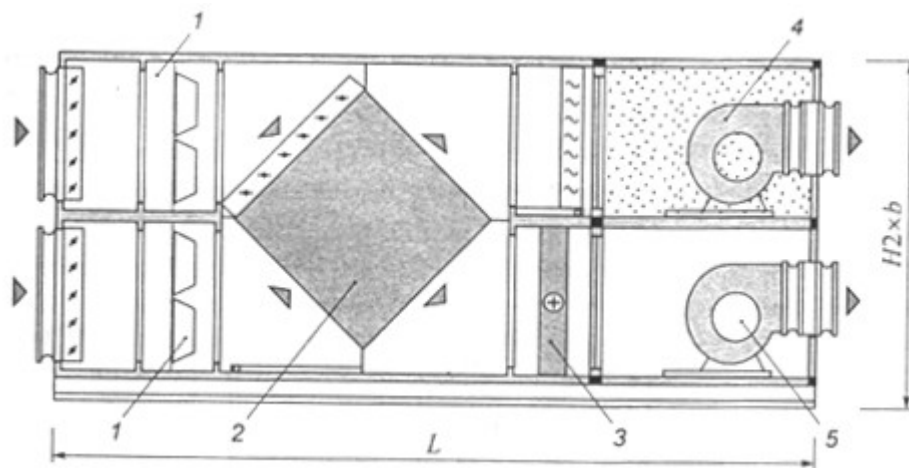


Рис. 6-6. Схема комбинированной приточно-вытяжной камеры с поверхностным теплообменником – теплоутилизатором. 1 – воздушный фильтр карманного типа; 2 – теплоутилизатор – теплообменник поверхностный; 3 – воздухоподогреватель; 4 – вытяжной вентилятор; 5 – приточный вентилятор

Кроме представленного на рис. 6-6 поверхностного теплообменника – теплоутилизатора, существуют подобные камеры, но с утилизацией теплоты с помощью промежуточного теплоносителя.

Системы утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем для производственных помещений более характерны в связи со значительными расстояниями между приточными и вытяжными установками. Принятию решения на устройство системы утилизации теплоты должен предшествовать технико – экономический расчёт, который должен подтвердить или не подтвердить целесообразность её устройства.

В одноэтажных производственных зданиях приточные и вытяжные установки размещают либо в специально выделенных помещениях – венткамерах, либо на вентиляционных площадках непосредственно в производственном помещении (рис.6-7). Последний способ размещения характерен для реконструируемых зданий, планировкой которых не предусмотрено специальных мест для размещения вентиляционного оборудования.

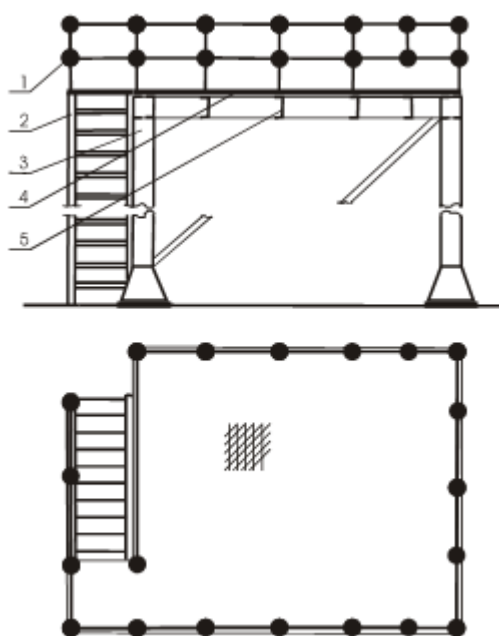


Рис. 6-7. Схема вентиляционной площадки.

1 и 3 – ограждение; 2 – трап; 4 – покрытие из рифлёной листовой стали; 5 – несущие элементы из стального проката

Вентиляционные площадки состоят из платформы и колонн. Изготавливают их преимущественно из стального проката, платформу устанавливают на колоннах из швеллеров или двутавров, отметка пола вентплощадки +2,5...3,0 м и более. Стальной прокат в платформе размещается таким образом, чтобы воспринимать нагрузку от вентиляционного оборудования; в полках стального проката сверлятся отверстия для крепления оборудования с помощью болтов. Поверх проката укладывают листы рифлёной стали. Обязательны установка ограждения и стационарной лестницы – трапа. Иногда платформу вентиляционной площадки выполняют из сборных

железобетонных плит. В некоторых случаях вентиляционные площадки выполняют из монолитного железобетона. Проектируют и монтируют площадки строители, инженеры по отоплению и вентиляции выдают задание на проектирование с указанием массы каждого вида устанавливаемого оборудования, привязкой к осям и величиной диаметров отверстий под крепёжные болты.

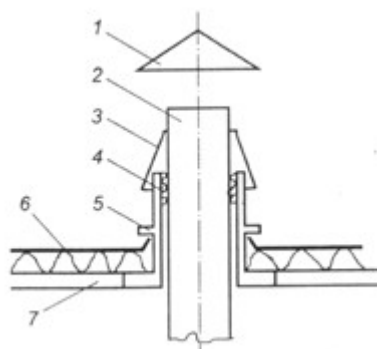


Рис. 6-8. Узел пересечения кровли одиночным выхлопным воздуховодом.

1 – зонт; 2 – выхлопной воздуховод; 3 – «юбка»; 4 – бетонный «стакан»; 5 – выступ – капельник; 6 – кровля; 7 – бесчердачное перекрытие

Выхлопные воздуховоды вытяжных систем промышленных зданий желательно прокладывать внутри помещения во избежание конденсации водяных паров в холодный период года и увлажнения дождём летом, что приводит к их коррозии. Пересечение выхлопными воздуховодами крыши производится через специальные конструктивные элементы. В случае одиночного воздуховода в месте пересечения воздуховодом крыши с рулонным покрытием устанавливается металлический или железобетонный стакан (рис. 6-8). Если на вентплощадке или вентцентре установлены несколько вытяжных вентиляторов, выброс воздуха производится через вытяжную шахту с сотовым заполнением. Воздуховод от каждой вытяжной установки присоединяется к отдельной ячейке.

Вытяжные камеры в промышленных зданиях размещают в специально устраиваемых помещениях. Помещения для обслуживания вытяжных систем относят к категориям по взрывопожарной и пожарной опасности

производственных помещений, которые они обслуживают. В многоэтажных производственных зданиях с большой насыщенностью вентиляционными системами через два производственных устраивают технический этаж, в котором и размещают вентиляционное оборудование. Высота технических этажей невелика, обычно она находится в пределах близких к 2-2,5 метрам. Удаляемый вытяжными установками воздух из каждого технического этажа удаляется воздуховодами – стояками, монтируемых в специальных шахтах, пересекающих по вертикали всё здание.

6.3. Воздуховоды для равномерной подачи и удаления воздуха

6.3.1. Определения, конструкции, истечение приточных струй из отверстий с острой кромкой в стенке. Воздуховоды равномерной раздачи или удаления воздуха являются относительно дешёвым устройством, позволяющим равномерно подавать или удалять воздух на некоторой протяжённости объёма помещения, вдоль кромки проёма и т.п.

Под *равномерностью раздачи* (подачи) или *удаления воздуха* понимают одинаковую величину расходов воздуха в отверстиях или по длине щели, устроенных в стенке воздуховода. Причиной движения воздуха через отверстие или щель в стенке является разность *статических* давлений в воздуховоде и снаружи.

Особенности конструкции воздуховодов подобного рода:

- ось воздуховода прямолинейна;
- поперечное сечение, круглое или прямоугольное, может изменяться по длине, либо быть постоянным;
- приток или удаление воздуха осуществляется либо через отверстия, располагаемые, обычно, на одинаковых расстояниях друг от друга, либо через протяжённую щель в стенке;

- один из торцов таких воздуховодов заглушен, в дальнейшем он называется “торец”;
- другой, именуемый “основание воздуховода” открыт, через него воздух либо поступает, либо удаляется из воздуховода.

Общий вид воздуховодов равномерной раздачи - всасывания с отверстиями или со щелью в стенке представлены на рис. 6-9 и 6-10.

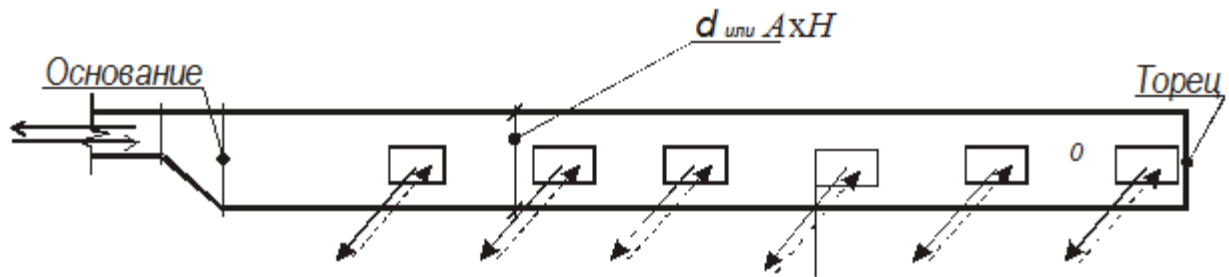


Рис. 6-9. Схема воздуховода равномерной раздачи (всасывания) с отверстиями в стенке

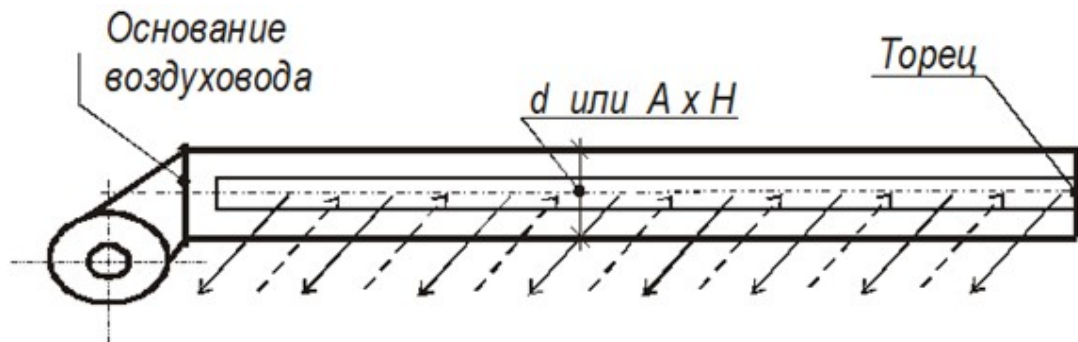


Рис. 6-10. Схема воздуховода равномерной раздачи (всасывания) со щелью в стенке

На чертежах стрелками указано направление движения воздуха через отверстия. В случае приточного воздуховода – из воздуховода в помещение, вытяжного – из помещения к отверстию. Чертежи соответствуют круглому или прямоугольному воздуховоду не изменяющегося длине поперечного сечения или прямоугольному воздуховоду переменного сечения, но постоянной высоты.

Если ограничиться устройством в стенке отверстий с острыми кромками, эпюра векторов скорости потоков, истекающих из каждого отверстия, будет соответствовать рис. 6-11.

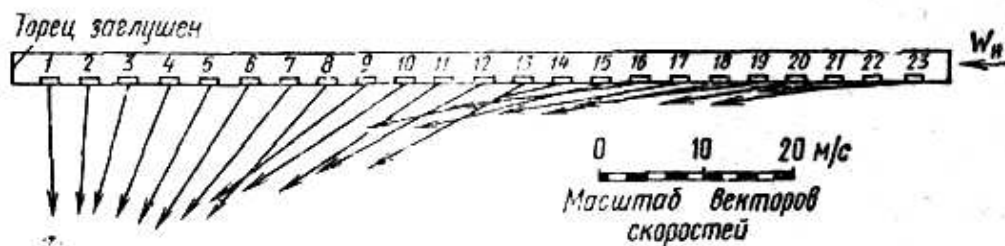


Рис. 6-11. Векторы скоростей приточных струй из отверстий воздуховода равномерной раздачи

Направления векторов скоростей у основания приточного воздуховода особенно неблагоприятны для подачи притока. Стремление их настигаться на воздуховод часто приводит к слиянию потоков из двух или нескольких отверстий в одну струю, что может служить причиной фактической повышенной подвижности воздуха в рабочей зоне помещения. Предотвращают это нежелательное явление, накладывая на отверстия или щель решётку, имеющую параллельные направляющие пластины достаточной протяжённости, перпендикулярные оси воздуховода, и заставляющие поток воздуха двигаться через отверстие или щель в стенке тоже перпендикулярно оси воздуховода. Существуют и другие способы направления потоков, движущихся через отверстие или щель перпендикулярно оси воздуховода.

Устанавливать решётку рекомендуется и на вытяжные воздуховоды, чтобы получить расчётный случай смешивания воздушных потоков внутри него.

В пособии, по причине ограниченности часов на преподавание дисциплины, изучаются только воздуховоды постоянного поперечного сечения с отверстиями в стенке, так как в справочной литературе имеются данные о потерях при слиянии – разделении потоков, проходящих через отверстия в стенке и проходящего вдоль оси воздуховода. Это позволяет выполнять расчёты этих воздуховодов с достаточной степенью точности.

Воздуховоды постоянного поперечного сечения, как правило, выполняют круглыми, стандартных диаметров.

Они более просты в изготовлении, но для получения одинаковых расходов площадь отверстий вдоль воздуховода приходится изменять.

Увеличивающиеся, при этом, скорости притока или вытяжки, могут сделать неприемлемыми эти воздуховоды для подачи притока в помещения с повышенными требованиями к подвижности воздуха в рабочей зоне. Высокая скорость в отверстиях вытяжных воздуховодах также может наложить ограничения на их применение вследствие генерирования отверстиями недопустимого уровня аэродинамического шума.

Причина необходимости в изменении площади отверстий или высоты щели – значительная изменчивость статического давления в направлении основания воздуховода, вызванная ростом динамического давления и, в меньшей степени, статического давления, затрачиваемого на преодоление сил трения.

Эпюры статического, динамического и полного давлений по длине приточного и вытяжного воздуховодов постоянного поперечного сечения.

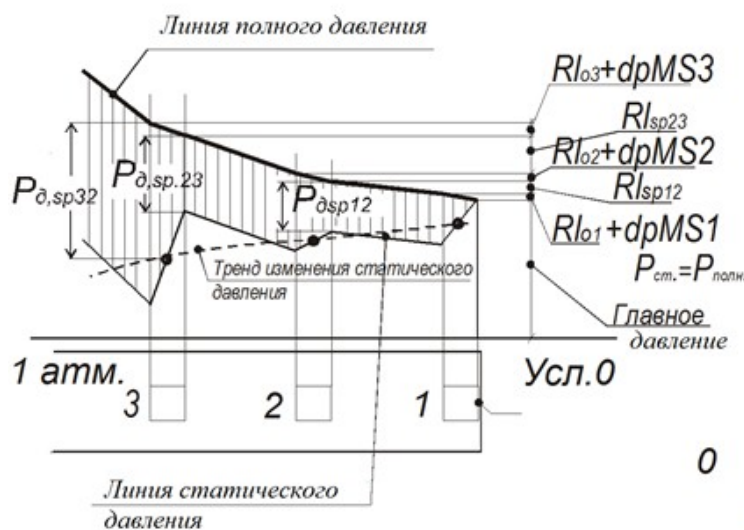


Рис. 6-12. Эпюры полного динамического и статического давлений по длине воздуховода равномерной раздачи постоянного поперечного сечения

Эпюра приточного воздуховода.

Построение эпюр производится в соответствии и закономерностями изменения перечисленных выше давлений вдоль оси воздуховода:

- В базовом сечении отверстия 1 статическое давление равно сумме потерь давления в решётке, отверстии и на участке от правой кромки отверстия до базового сечения.

- В участке со сплошной стенкой динамическое давление постоянно, статическое и полное давления возрастают в направлении основания по линейному закону на величину потерь давления в пределах участка.

- В пределах ширины отверстия полное давление расходуется на преодоление сил трения и разделение - слияние потоков. В направлении основания воздуховода расход и скорость, потери давления возрастают в линейной зависимости, а возрастание динамического давления и полного давления описывается квадратичной параболой. Но в данном построении эти изменения давления условно показаны прямой линией.

При построении эпюр потери давления на преодоление местного сопротивления «разделение - слияние потоков» равномерно распределены вдоль отверстия.

Значения статического давления в базовых сечениях получают вычитанием динамического из полного давления в базовом сечении.

На эпюре давления (рис.6-13) показан тренд изменения статического давления, показывающий, что на каком - то расстоянии статическое давление в воздуховоде сравняется со статическим давлением снаружи, и после этой точки отверстия вблизи основания приточного воздуховода станут работать на вытяжку, что и наблюдается иногда на практике.

Предельная длина приточного воздуховода равномерной раздачи не может быть большей критического расстояния.

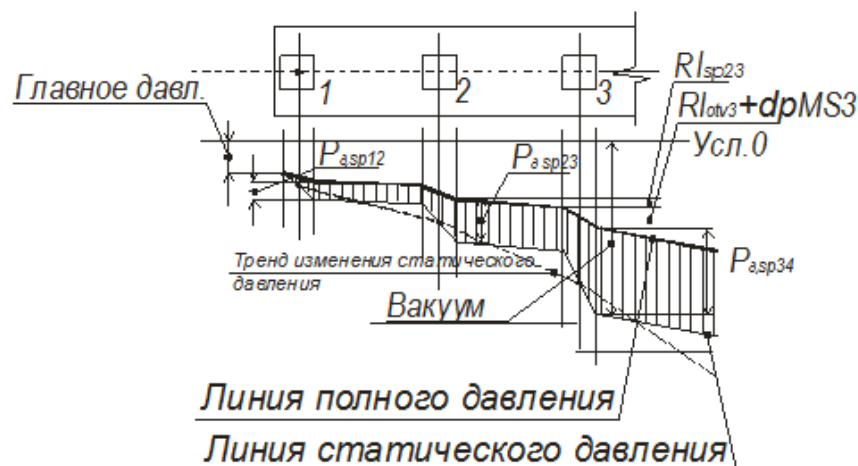


Рис. 6-13. Эпюры полного динамического и статического давлений по длине воздуховода равномерного удаления воздуха постоянного поперечного сечения

Вытяжной воздуховод. Причина поступления воздуха в отверстия вытяжного воздуховода – вакуум, или давление, меньшее атмосферного давления. Виды потерь давления в первом отверстии по ходу воздушного потока аналогичны потерям последнего отверстия в стенке приточного воздуховода. Последовательность построения также аналогична, но потери давления откладывается вниз от линии условного нуля, динамическое давление – вверх.

Линия тренда статических давлений в центрах отверстий указывает на постоянное увеличение вакуума, поэтому воздуховод может иметь большую протяжённость. Ограничить длину воздуховода может лишь аэродинамический шум, возникающий в отверстиях воздуховода.

6.3.2. Аэродинамический расчёт воздуховодов равномерных подачи и удаления воздуха

Аэродинамическая схема воздуховодов равномерных подачи и удаления воздуха постоянного и переменного поперечного сечения с отверстиями в стенке представлена на рис. 6-14.

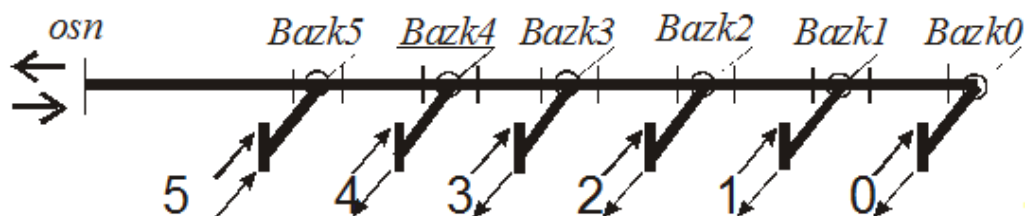


Рис. 6-14. Аэродинамическая схема воздухопроводов равномерных подачи и удаления воздуха постоянного и переменного поперечного сечения

Пояснение: Bazk0, Bazk1... - точки пересечения плоскости, проходящей через центр отверстия и перпендикулярную оси магистрали. Номера 0, 1, 2.... – номера отверстий; osn – плоскость основания воздуховода.

Представленная на рис. 6-14 аксонометрическая схема воздуховода с отверстиями в стенке аналогична аксонометрической схеме прямолинейной магистрали в сети воздухопроводов, к которой присоединены под прямым углом ответвления. Роль ответвлений, в рассматриваемом случае, выполняют потоки воздуха, перемещающиеся через отверстия. Потери давления от слияния – разделения потоков, характеризующиеся как потери «на проход» и «на ответвление» вычисляются через коэффициенты местного сопротивления (далее КМС), которые могут быть определены по методике [Каменева П. Н.](#) Исключение составляет отверстие вблизи торца, поток воздуха которого поворачивает на 90°. КМС ближайшего к торцу отверстия оценивается в справочной литературе как «Вход в первое боковое отверстие» для вытяжного воздуховода или «Выход из последнего бокового отверстия» для приточного.

Главное расчётное направление (см. рис.6-14) **0-Baz0-Baz1-Baz2-Baz3-Baz4-Baz5-osn**. Воздух вдоль оси перемещается разностью полных давлений, через отверстия – статическим в центре каждого из отверстий, внутри воздуховода.

Аксонометрическая схема определяет и последовательность аэродинамического расчёта воздухопроводов с отверстиями в стенке.

Расчёт проводится от торца к основанию с последовательным определением величин полного давления в базовых сечениях. Вычитая динамические давления базовых сечений из полных, получаем базовые статические давления, по которым определяются площади отверстий или высоты щели.

Диаметр или размеры поперечного сечения воздуховода вычисляют по рекомендуемой скорости воздуха в основании воздуховода. Размеры ближайшего к торцу отверстия – по рекомендуемой скорости притока или вытяжки. Рекомендуемые скорости не гарантирует штатную работу воздуховода. Приходится рассчитывать несколько вариантов воздуховодов. Определению площадей отверстий предшествуют вычисления статического давления в базовых сечениях. В случае неблагоприятного результата расчёт до конца не выполняется, но изменив поперечное сечение и получив благоприятный результат, и лишь затем продолжают расчёт.

Ниже представлены КМС «на проход» и «на ответвление» для отверстий в боковой стенке прямолинейного воздуховода.

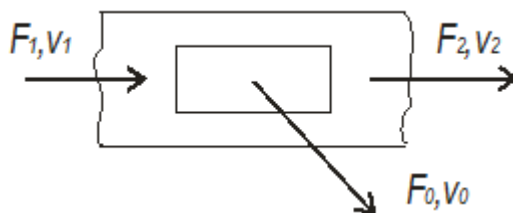


Рис.6-15. К определению КМС при разделении потока, движущегося вдоль оси воздуховода на потоки, поступающие через отверстия в стенке в помещение.

Таблица 6.4.

Значения коэффициентов местного сопротивления при разделении потоков, истекающего из отверстия в стенке и движущегося вдоль прямолинейного воздуховода

Истечение

v_0/v_1	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2
-----------	-----	-----	-----	---	-----	-----	-----	-----	---

ζ_0	1,8	1,7	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6	3

Проход

v_2/v_1	0,4	0,5	0,6	0,8	1
ζ_1	0,06	0,01	-0,03	-0,06	-0,03

Пояснение: КМС отверстия относится к скорости в отверстии, «на проход» - к скорости в проходном отрезке воздуховода, если рассматривать пересечение базовой плоскости и оси воздуховода как центр тройника.

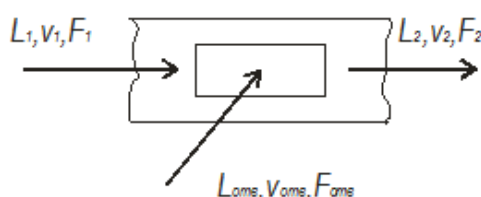


Рис. 6-16. К определению КМС при слиянии потоков, поступающего в воздуховод через отверстие и движущегося вдоль его оси

Таблица 6.5.

Значения коэффициентов местного сопротивления при слиянии потоков, поступающего через отверстие в стенке и движущегося вдоль прямолинейного воздуховода

F _{отв} /F ₁	Значения ζ _{отв} (вход)					Значения ζ ₁ (проход)				
	При L _{отв} /L ₁									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
0,1	0,8	1,3	1,4	1,4	1,4	0,1	-0,1	-0,8	-2,6	-6,6
0,2	-1,4	0,9	1,3	1,4	1,4	0,1	0,2	-0,01	-0,6	-2,1
0,4	-9,5	0,2	0,9	1,2	1,3	0,2	0,3	0,3	0,2	-0,2
0,6	-21,2	-2,5	0,3	1	1,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,3

Коэффициенты местного сопротивления приточных рядовых отверстий определяются соотношением скоростей в отверстии, до и после отверстия вдоль оси воздуховода. Диапазон соотношений 0,4...1, его оказывается

достаточным для аэродинамических расчётов приточных воздуховодов. Ниже приведен пример приточного воздуховода равномерной подачи с применением коэффициентов, представленных в таблице 6.4.

У вытяжных рядовых отверстий (табл. 6.5) коэффициенты местного сопротивления определяются соотношениями площадей отверстия и поперечного сечения воздуховода, расходов воздуха в отверстии и в воздуховоде *до слияния потоков*. Диапазон соотношений расходов 0,1...0,5 недостаточен для выполнения расчётов вытяжных воздуховодов равномерного удаления воздуха, так как для второго от торца отверстия соотношение расходов равно 1, а КМС, соответствующих этому соотношению в справочной литературе нет. Аэродинамические расчёты вытяжных воздуховодов, поэтому, следует выполнять с использованием КМС, вычисляемых по теории смешивания потоков проф. Каменева П. Н. Применение теории проф. Каменева П. Н. позволяет сохранить порядок аэродинамического расчёта для приточных и вытяжных воздуховодов равномерных подачи и всасывания.

Пример 6-1.

Исходные данные.

Рассчитать приточный воздуховод 560 мм для равномерной подачи притока в количестве 6000 м³/час через 6 приточных отверстий с шагом 2,5 м и с рекомендуемой скоростью притока 4,5 м/с. Расход воздуха через отверстие – 1000 м³/ч. Расстояние от центра ближайшего к основанию воздуховода отверстия до основания воздуховода – 4,5 м. Температура воздуха (+18 °С). КМС спрямляющей воздушный поток решётки – 2,8.

Нумерация отверстий и участков в направлении от торца к основанию. Разбиваем воздуховод на шесть расчётных участков, границами служат *базовые сечения*, перпендикулярные оси воздуховода плоскости, проведенные через

центры отверстий. Участок получает номер отверстия, за которым он находится при направлении счёта от торца к основанию.

Последовательность расчёта:

Предварительные расчёты.

1. Плотность воздуха, кг/м³:

$$\rho = \frac{353}{273 + t_g} = \frac{353}{273 + 18} = 1,213$$

2. Коэффициент динамической вязкости, Па·с:

$$\mu = \frac{1 + \frac{122}{273}}{1 + \frac{122}{273 + 18}} \sqrt{\frac{273 + 18}{273}} \cdot 1,753 \cdot 10^{-5} = 1,845 \cdot 10^{-5}$$

3. Ширина отверстия, м, ближайшего к торцу:

$$b = \frac{1000}{3600 \cdot 4,5 \cdot 0,3} = 0,3086$$

Принимаем длину 1-го отверстия равной 310 мм. Фактическая скорость притока, м/с:

$$v_{\text{факт}} = \frac{1000}{3600 \cdot 0,3 \cdot 0,31} = 2,987$$

4. Длина 1-го участка: $\frac{310}{2} + \frac{2500}{2} = 1405$ мм, рядовых участков (2...5) – 2500 мм, последнего – 4000 мм.

Пояснение. Потерями на протяжении 155 мм между торцом и базовым сечением отверстия 1 пренебрегаем.

5. Площадь поперечного сечения воздуховода d560 мм – 0,246 м².

Последовательность расчёта:

1. Расходы воздуха в участках для вычисления потерь давления на трение.

№ уч.	1	2	3	4	5	6
L, м ³ /ч	1000	2000	3000	4000	5000	6000

2. Вычисляем компьютером или определяем по расчётным таблицам:

Пояснение. Потери на трение в пределах участков определяем, как потери в участках со сплошной стенкой.

- скорости воздуха в участках, м/с:

№ уч.	1	2	3	4	5	6
v, м/с	1,128	2,256	3,383	4,511	5,639	6,767

- потери давления на преодоление сил трения в пределах расчётных участков:

№ уч.	1	2	3	4	5	6
Rl, Па	0,044	0,269	0,559	0,944	1,421	3,181

- расходы воздуха в базовых сечениях отверстий:

№ отв.	1	2	3	4	5	6
Pd, Па	500	1500	2500	3500	4500	5500

- скорости воздуха в базовых сечениях отверстий, м/с:

№ отв.	1	2	3	4	5	6
vBaz, м/с	0,564	1,692	2,819	3,947	5,075	6,203

- динамические давления в базовых сечениях отверстий, Па:

№ отв.	1	2	3	4	5	6
p _{дин} Baz, м/с	0,193	1,736	4,822	9,45	15,622	23,337

- потери давления в решётке при коэффициенте отношения «живого» сечения решётки к габаритному размеру отверстия $K_{жс} = 0,9$:

$$dp_{\text{реш}} = 0,5 \zeta_{\text{реш}} \left(\frac{v_{\text{отв}}}{K_{\text{жс}}} \right)^2 \rho = 0,5 \cdot 2,8 \cdot \left(\frac{2,987}{0,9} \right)^2 \cdot 1,213 = 18,706 \text{ Па}$$

- потери в первом боковом отверстии:

Отношение площади отверстия к площади поперечного сечения воздухопровода: $n = \frac{0.093}{0.246} = 0,378$; $\zeta = 18,808$;

$$dp_{\text{отв}} = 18,808 \cdot 0,5 \cdot 0,564^2 \cdot 1,213 = 3,628 \text{ Па}$$

Пояснение: КМС отверстия отнесен к скорости воздушного потока вдоль оси в базовом сечении.

Полное и равное ему по величине статическое давление в базовом сечении 1-го отверстия равно сумме этих давлений:

$$p_{\text{полн}} = p_{\text{ст}} = 18,706 + 3,628 = 22,334 \text{ Па}$$

Пояснение. Потерями на отрезке воздухопровода в 155 мм пренебрегаем.

Определяем потери давления «на проход» Чтобы определить потери полного давления:

- коэффициенты местного сопротивления «на проход» отверстий 2...6:

№ отв.	1	2	3	4	5	6
ζ ,	0	-0,048	-0,059	-0,06	-0,059	-0,03

- потери давления на проход как произведение КМС на динамическое давление в базовом сечении соответствующего отверстия:

№ отв.	1	2	3	4	5	6
$dp_{\text{прох}}$, Па	0	-0,148	-0,411	-0,741	-1,123	-0,833

- полные давления в базовых сечениях:

Пояснение. Полное давление в 1-м отверстии равно сумме потерь в решётке и отверстии, потерями на участке от торца до базового сечения длиной 155 мм пренебрегаем.

Полное давление во 2-м отверстии равно полному давлению в базовом сечении 1-го отверстия плюс потери в участке 1 плюс потери «на проход» в

отверстии 2. Полные давления в прочих отверстиях рассчитываются аналогично.

№ отв.	1	2	3	4	5	6
$p_{\text{полн}}, \text{Па}$	22,333	22,229	22,087	21,906	21,726	22,314

Комментарий. Полные давления по длине воздуховода практически не изменяются благодаря компенсирующему действию потерь «на проход», но динамическое давление внесёт существенные изменения в статическое давление.

- статические давления в базовых сечениях отверстий как разность полных и статических давлений:

№ отв.	1	2	3	4	5	6
$p_{\text{стат}}, \text{Па}$	22,14	20,493	17,265	12,455	6,104	-1,023

Вывод. Принятый первоначально диаметр воздуховода 560 мм не обеспечивает нормальную работу приточного воздуховода и должен быть заменён на больший стандартный диаметр 630 мм.

Был выполнен пересчёт, статические давления в базовых сечениях отверстий воздуховода диаметром 630 мм приведены ниже.

№ отв.	1	2	3	4	5	6
$p_{\text{стат}}, \text{Па}$	22,212	21,182	19,151	16,114	12,091	7,551

По расчётному расходу через отверстие статическому давлению в базовом сечении способом подбора определяются площади отверстия в последовательности:

1. задаются площадью отверстия;
2. определяется скорость притока;
3. вычисляются отношение скоростей притока и в воздуховоде до разделения потоков («ствол») и КМС «на ответвление»;

4.вычисляются потери в решётке о отверстия, сопоставляются с расчётным значением статического давления в отверстии;

5.процесс подбора прекращается по достижении приемлемой величины разницы потерь и статического давления при проходе воздуха через отверстие и решётку.

- ширина приточных отверстий по результатам вычислений:

№ отв.	1	2	3	4	5	6
$b_{\text{отв}}$, мм	310	335,67	350,0	382,34	444,10	564,62

Воздуховоды с постоянным поперечным сечением и отверстиями в стенке для равномерного удаления воздуха рассчитываются аналогично, но коэффициенты местного сопротивления «на проход» и «на ответвление» приходится определять по способу, предложенному профессором Каменевым П. Н. Существуют и другие способы их аэродинамического расчёта.

6.4. Очистка приточного воздуха и вентиляционных выбросов от пыли и загрязнений

6.4.1. Пылеуловители для очистки вентиляционных выбросов.

В описание пылеуловителей включены характеристики (эффективность и др.), полученные при улавливании пылей, на которые рассчитаны данные аппараты.

Пылеосадочные камеры относятся к группе гравитационного оборудования, в которую входят два его вида — полое и полочное.

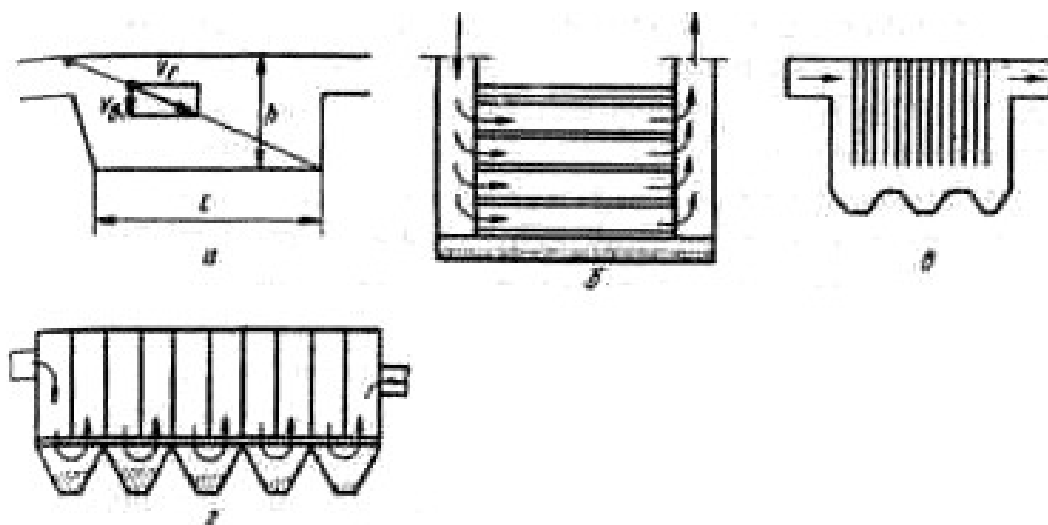


Рис. 6-17. Пылеосадочные камеры: а — простейшего типа; б — полочная; в — с подвешенными стержнями; г — конструкции В. В. Батурина.

Пылевая частица, внесенная в камеру потоком воздуха, находится под действием двух сил — кинетической энергии потока, в котором она взвешена и перемещается в горизонтальном направлении, и гравитационных сил, под действием которых она осаждается на дно камеры (рис. 6-17).

Циклоны. Циклонные аппараты входят в группу инерционного оборудования, образуя в ней отдельный вид. Сепарация пыли из воздушного потока осуществляется в циклоне с помощью центробежной силы.

Корпус циклона состоит из цилиндрической и конической частей. Коническая часть выполняется в виде так называемого прямого конуса (в большинстве аппаратов), обратного конуса или состоит из двух конусов — прямого и обратного (рис. 6-18). Строение конической части аппарата определяет особенности движения пылевоздушного потока в этой части циклона и в значительной мере оказывает влияние на процесс сепарации, а также коагуляции некоторых видов пыли (например, волокнистой, слипающейся) в аппарате, устойчивость его работы при улавливании этих видов пыли. Запыленный воздух входит в циклон через патрубок по

касательной к корпусу обычно со скоростью до 20 м/с и далее движется по спирали в кольцевом пространстве между корпусом и выхлопной трубой, а затем в конической части корпуса. Под действием центробежной силы, возникающей при вращательном движении потока, пылевые частицы перемещаются радиально, прижимаясь к стенкам циклона, затем поток, продолжая свое движение, поступает в выхлопную (внутреннюю) трубу и по ней выходит из аппарата. Пыль отделяется от воздуха в основном в момент перехода нисходящего потока в восходящий, что происходит в конической части корпуса циклона. В циклоне, таким образом, создаются два вихревых потока: внешний — запыленного воздуха от входного патрубка в нижнюю часть корпуса — и внутренний — относительно очищенного воздуха из нижней части корпуса в выхлопную трубу.

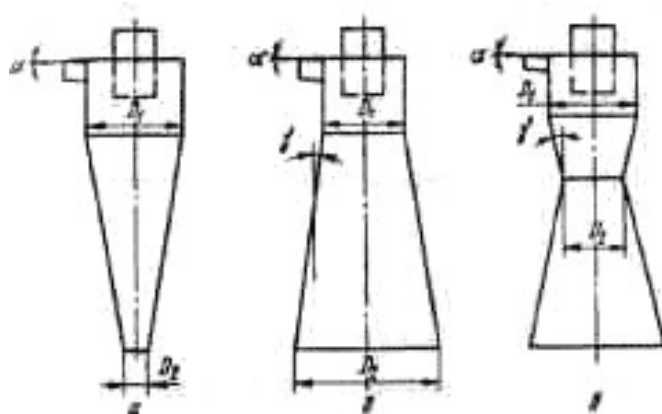


Рис. 6-18. Схемы циклонов: а — коническая часть корпуса в виде прямого конуса; б — коническая часть корпуса в виде обратного конуса; в — коническая часть корпуса составная.

Фильтрационные пылеуловители. Очистка происходит при прохождении запыленного потока через слой пористого материала. Процесс фильтрации основан на многих физических явлениях (эффекте зацепления, инерции, броуновском движении, действии гравитационных сил, электрических сил). Для поддержания режима фильтрации в требуемых пределах нужно осуществлять регенерацию фильтра — удалять из него задержанные в

фильтрующем слое пылевые частицы. Фильтры применяют в большом диапазоне температур, при различной концентрации взвешенных частиц. Соответствующим подбором фильтровального материала и режима очистки можно достичь требуемой степени очистки в фильтре практически во всех необходимых случаях. Стоимость очистки в фильтрах выше, чем в большинстве других аппаратов, что объясняется большей конструктивной сложностью фильтров, большим расходом электроэнергии. Эксплуатация фильтров сложнее, чем эксплуатация большинства других аппаратов. В зависимости от материала фильтрующего слоя фильтрационные пылеуловители подразделяются на тканевые и зернистые. В производственных помещениях применяются тканевые пылеуловители (рукавные фильтры).

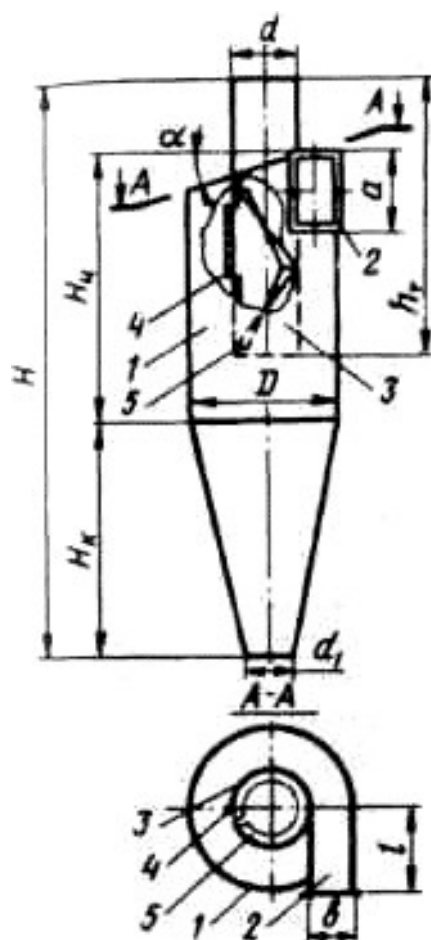


Рис. 6-19. Циклон с внутренней рециркуляцией (ЦВР): 1 — корпус; 2 — входной патрубок; 3 — выхлопная труба; 4 — целевое отверстие; 5 — направляющая лента.

ные коробки для выхода воздуха: 2 — шкаф металлический; 3 —

Глава 7. Пневматический транспорт дисперсных материалов.

7.1. Определение пневматического транспорта, классификация.

Основные определения и закономерности, используемые в расчётах пневмотранспортных и аспирационных систем.

Пневматическим транспортом, или, сокращенно, *пневмотранспортом* называют перемещение дисперсных материалов по воздуховодам воздушным потоком с концентрацией взвеси, большей или равной 50 г дисперсного материала на 1 кг транспортирующего воздуха. Назначение пневмотранспортных систем:

- перемещение дисперсных материалов или отходов от мест образования к местам последующей переработки, складирования или утилизации;
- оздоровление условий труда на рабочих местах.

Аспирационными системами, по причине разночтений термина в технической литературе, будем называть вытяжные вентиляционные системы, перемещающие запылённый воздух с концентрацией взвеси менее 50 г на 1 кг воздуха. Основное назначение аспирационных систем – оздоровление условий труда. Совместное рассмотрение перечисленных выше систем обусловлено их следующими общими свойствами:

- по воздуховодам транспортируется аэросмесь, состоящая из воздуха и дисперсной примеси, способной выпадать на дно при недостаточной скорости транспортирующего воздуха в воздуховоде и, в некоторых случаях, закупоривать воздуховоды;
- присоединение ответвлений в разветвлённой сети воздуховодов этих систем к магистральным воздуховодам производится под углом меньшим 90^0 ;
- транспортирование аэросмеси может выполняться как по разветвлённым сетям воздуховодов, так и с центральным сборником отходов;

- воздух, перед выбросом в атмосферу отделяется от транспортируемой им фракции и подвергается очистке.

Преимущества пневмотранспортных систем перед другими видами транспортного оборудования: компактность, простота устройства, легкость вписывания в различные технологические процессы, отсутствие потерь перемещаемых материалов, возможность полной автоматизации. Оборудование пневмоустановок отличается относительной простотой эксплуатации и легкостью управления.

Недостатки пневмотранспорта: сравнительно высокий удельный расход энергии на транспортирование 1 кг материала, абразивный износ трубопроводов и других элементов установок, соприкасающихся с транспортируемым материалом. Применение систем пневмотранспорта ограничивают влажность материалов, размеры перемещаемых кусков и невозможность транспортирования слипающихся или налипающих на стенки воздуховодов материалов.

Пневмотранспортные системы классифицируют:

- по назначению: *внутрицеховые, межцеховые;*
- по величине потерь давления: *низкого давления ($\Delta p \leq 5000$ Па), среднего ($5000 \text{ Па} < \Delta p \leq 10000$ Па) и высокого давления ($\Delta p > 10000$ Па).*

В настоящем лекционном курсе рассматриваются только внутрицеховые системы пневмотранспорта;

- по компоновке системы пневмотранспорта подразделяются на *открытые* и *закрытые*. Закрытые системы загружаются транспортируемым материалом через приёмники, снабжённые шлюзовой камерой, предотвращающей поступление в сеть трубопроводов излишнего количества воздуха, что позволяет перемещать материал с высокими концентрациями и обеспечивает меньшие затраты энергии на перенос 1 кг материала по сравнению с открытыми системами.

Лекционным курсом пневмотранспортные системы классифицируют по конфигурации сети воздухопроводов: с *центральными сборниками отходов или пыли* и *разветвлённые*, в сети воздухопроводов которых центральный сборник отсутствует.

Аспирационные системы различают: по величине потерь давления и по конфигурации сети воздухопроводов: с центральным сборником отходов и без. Выполняются исключительно открытого типа.

Закономерности транспортирования дисперсных материалов воздушным потоком.

Расходная массовая концентрация смеси μ_p , кг/кг, равна количеству материала, переносимому 1 кг воздуха, выражаются зависимостью:

$$\mu_p = G_m / G_v \quad (7.1)$$

где G_m - массовый расход транспортируемого материала, кг/с;

G_v - массовый расход воздуха, транспортирующего материал, кг/с.

Предельная массовая концентрация смеси $\mu_{пр}$ для некоторой транспортирующей скорости воздуха соответствует массовой концентрации смеси, превышение которой приводит к выпадению материала из воздушного потока. С увеличением скорости воздушного потока $\mu_{пр}$ возрастает.

Скорость транспортирующего воздуха или скорость воздуха, v , м/с. В пневмотранспортных и аспирационных установках скорость воздуха больше скорости частиц твердых примесей. Транспортирование взвеси происходит за счёт разности скоростей воздуха и транспортируемого материала.

Скорость транспортируемого материала, v_m , м/с, меньше скорости воздуха из-за соударения транспортируемых частиц со стенками воздухопровода и друг с другом. При соударениях снижается скорость их движения и требуются затраты энергии для разгона и восстановления скорости частиц до прежних

значений. Именно разность скоростей ($v - v_m$) обеспечивает создание аэродинамической силы воздействия воздушного потока на частицу, обеспечивающую её перемещение.

Характеристика перемещаемого дисперсного материала включает в себя данные о плотности, размерах частиц, абразивности, и т.п. Эти свойства устанавливаются экспериментальными исследованиями, приводятся в различной справочной технологической литературе.

Частицы могут иметь одинаковый или неодинаковый размер. Дисперсный материал, состоящий из частиц одинакового размера, называется *монодисперсным*, а составленный из частиц разного размера - *полидисперсным*. Гранулометрический состав (распределение размеров частиц в процентах от массы) является основной размерной характеристикой сыпучего материала.

Скорость витания частиц транспортируемого материала является характеристикой, по которой выбирается скорость транспортирования дисперсного материала по воздуховодам.

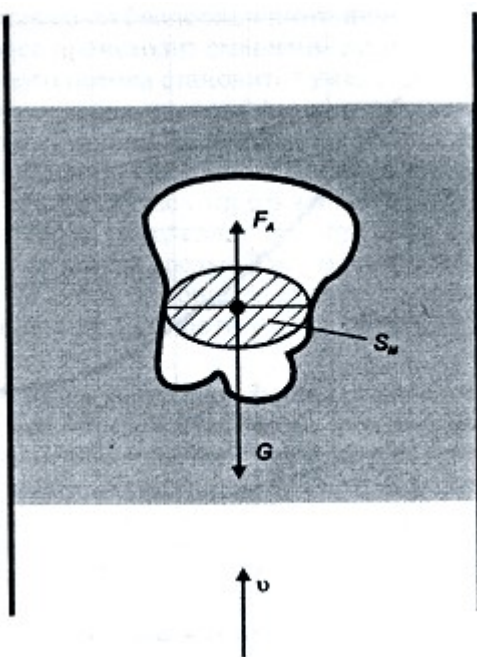


Рис. 7-1. К определению скорости витания

В общем случае на твердую частицу в восходящем потоке действуют сила тяжести, сила воздействия воздушного потока и сила от эффекта Магнуса, так

как частицы, переносимые воздушным потоком, вращаются. Вращение частиц любой формы возникает вследствие наличия градиента скорости в поперечном направлении потока воздуха, из-за чего подъёмная сила в разных местах витающей частицы неодинакова, а её равнодействующая приложена в точке, не совпадающей с центром масс. Вращение вызывают также соударения частиц и их скольжение вдоль стенки воздуховода.

Движение частицы по вертикали обусловлено соотношением силы тяжести и силы воздействия воздушного потока (рис. 7-1).

Сила тяжести G :

$$G = V \rho g \quad (7.2)$$

где V — объем частицы, м^3 ; ρ - плотность частицы, кг/м^3 .

Сила воздействия воздушного потока:

$$F_a = 0,5 c_l \rho_v S_m (v - v_m)^2 \quad (7.3)$$

где c_l - коэффициент лобового сопротивления; S_m - площадь миделевого сечения; v_m - скорость частицы.

Если $F_a = P$, то частица находится во взвешенном состоянии и её скорость $v_m = 0$. Скорость воздушного потока при $F_a = P$ называется скоростью витания и обозначается v_s .

*Скорость восходящего потока воздуха, при которой твердая частица не будет иметь вертикального перемещения, называют **скоростью витания**.*

Тогда:

$$F_a = 0,5 c_l \rho_v S_m v_s^2 \quad (7.4)$$

Коэффициент сопротивления c_d показывает, какая часть кинетической энергии расходуется на создание силы воздействия воздушного потока на частицу. Величина c_d зависит от характера обтекания, формы и состояния поверхности частицы, от ее положения по отношению к потоку и размеров воздуховода. Определение c_d для частиц произвольной формы представляет сложную и до конца нерешенную задачу.

Скорости витания частиц реальных сыпучих материалов определяются экспериментально. Для монодисперсных и близких к ним однородных смесей скорость витания принимается равной скорости витания наиболее крупных частиц.

В случае полидисперсных смесей исходят из скорости витания v_s частиц наибольшего размера части фракционного состава перемещаемого материала, составляющего 80 – 90 % от общей массы.

Обработка древесины на предприятиях деревообрабатывающей промышленности сопровождается выделением отходов, существенную часть которых составляет пыль. Крупные отходы могут иметь самую разнообразную форму и размеры. Для определения скорости витания v_s древесных материалов и отходов существует несколько эмпирических формул, одна из которых предложена Ленинградской лесотехнической академией:

$$v_s = 0,14 \sqrt{\frac{\rho_{м.}}{\left(0,02 + \frac{a}{h}\right) \rho_{в.}}} \quad (7.5)$$

ρ - плотность материала, кг/м³; a - коэффициент, зависящий от формы частиц: при квадратном поперечном сечении $a = 1,1$; при прямоугольном поперечной сечении $a = 0,9$; h —толщина частицы, мм; $\rho_{в.}$ плотность воздуха, кг/м³.

Скорость трогания является исходной величиной для оценки способности скорости воздушного потока к перемещению частиц, выпавших на дно воздуховода вследствие остановки работы пневмотранспортной системы.

Скорость трогания $v_{тр.}$ - это минимальная скорость воздуха (осредненная по поперечному сечению трубопровода), при которой одиночная частица транспортируемого материала, лежащая на «дне» горизонтального трубопровода сдвигается с места и начинает перемещаться; определяется экспериментально.

Л. С. Клячко для определения скорости трогания рекомендует формулу:

$$v_{тр.} = 1,3 \sqrt[3]{\rho_m} \quad (7.6)$$

$v_{тр.}$ – скорость трогания, м/с; ρ – плотность материала частицы, кг/м³.

В момент трогания на лобовой поверхности частицы, обращённой в сторону вектора скорости движения воздуха, создается некоторое давление. Поток обтекает частицу сверху. На нижней ее части давление воздуха будет больше, чем на верхней.

При скорости движения воздуха, большей скорости трогания, подъёмная сила может превысить силу тяжести, и тогда частица оторвётся от поверхности стенки воздуховода и окажется в потоке воздуха. Когда давление снизу и сверху частицы сделается одинаковым, она станет опускаться и вновь окажется на поверхности стенки воздуховода, коснется ее. Далее картина движения частицы повторится. Увеличение скорости потока приводит к увеличению расстояния от одного касания до другого.

Относительная скорость А. есть отношение скорости движения частицы, находящейся в потоке воздуха, к скорости движения воздуха.

$$A = v_m/v \quad (7.7)$$

где v_m - скорость движения твердой частицы материала, м/с; v - скорость движения воздуха, м/с.

Относительная скорость A всегда меньше единицы для любых транспортируемых дисперсных материалов. Возрастание скорости движения воздуха приводит к её увеличению. При некоторой скорости движения воздуха в горизонтальном участке воздуховода, называемой *критической скоростью*, относительная скорость A приобретает максимальное значение. Критическая скорость используется для выбора транспортирующей скорости. Значения A для некоторых видов древесных отходов представлены в таблице 7.1.

Таблица 7.1.

Средняя относительная скорость A при устойчивом движении частиц
измельченной древесины в горизонтальном участке воздуховода и
коэффициент b учета вида транспортируемого материала

Транспортируемый материал	$A = v_m/v$ при $\mu \leq 2$	b	Транспортируемый материал	$A = v_m/v$ при $\mu \leq 2$	b
Опилки: мелкие крупные			Сортированная технологическая щепа (длиной до 35 мм)	0,7	11
	0,9	7			
	0,85	8			
Стружка мелкая крупная			Крупная несортированная щепа (длиной более 40 мм)	0,6	12
	0,85	9			
	0,8	10			

Транспортирующая скорость воздуха - минимальная скорость воздуха, обеспечивающая устойчивое перемещение материала в воздушном потоке во взвешенном состоянии.

Транспортную скорость в горизонтальном воздуховоде часто принимают равной: $v_{гор} = (1,5 - 2,0) v_s$.

Транспортирование сыпучих материалов воздушным потоком в вертикальных и горизонтальных трубопроводах имеет свои особенности. К горизонтальным относятся трубопроводы, угол наклона которых к горизонту составляет менее 60° . При транспортировании смеси воздуха и материала по вертикальным участкам системы воздухопроводов с такой же скоростью, как и горизонтальным, действие силы тяжести уменьшает скорость перемещения материала на величину скорости витания v_s , что приводит к увеличению концентрации смеси в вертикальных участках. Если массовая концентрация на вертикальном участке превысит предельное значение $\mu_{пр}$, произойдёт выпадение материала из воздуха и закупорка воздуховода. Чем больше высота вертикального участка, тем больше вероятность его закупоривания.

Для предотвращения закупорки вертикальных участков воздухопроводов скорость движения смеси в них должна быть больше скорости движения в горизонтальных участках на величину скорости витания:

$$v_{\text{верт}} = v_{\text{гор}} + v_s \quad (7.8)$$

Увеличение скорости движения воздуха в вертикальных участках достигается путем уменьшения их поперечного сечения. Переход с большего сечения горизонтального участка на меньшее в вертикальном участке устраивается в конце горизонтального участка, предшествующего вертикальному, с таким образом, чтобы после конфузора до отвода оставался участок стабилизации длиной, равной пяти - шести диаметрам воздуховода горизонтального участка. Аналогичный переход устраивают на горизонтальном участке после вертикального для снижения потерь давления в сети на трение. Указанные переходы устраиваются на воздуховодах систем закрытого типа, массовая концентрация транспортируемого материала в которых превышает 1 кг/кг и может достигать 4-5 кг/кг. В пневмотранспортных установках древесных отходов открытого типа массовая концентрация μ не превышает 0,2 кг/кг, поэтому транспортная скорость принимается одинаковой для

горизонтальных и вертикальных воздухопроводов. При характерных для реальных систем пневмотранспорта длинах вертикальных участков, увеличение концентрации в их конце не достигает предельного значения и закупорка воздухопровода не происходит.

Транспортирующая скорость воздуха для перемещения древесных материалов и отходов может быть определена по эмпирической формуле, предложенной Ленинградской лесотехнической академией:

$$v_{гор.} = c \left(4\mu \frac{v}{v_m} + 0,01\rho_m + b \right) \quad (7.9)$$

где $v_{гор.}$ - транспортирующая скорость движения воздуха в горизонтальном участке воздухопровода, м/с; c - коэффициент, учитывающий снижение скорости перемещения материала в местных сопротивлениях системы:

- внутрицеховые системы с частым расположением отводов $c = 1,1 \dots 1,15$;
- междцеховые системы длиной до 30 м $c = 1,05 \dots 1,1$, длиной более 30 м $c = 1$;

v/v_m - величина, обратная средней относительной скорости $1/A$; значения A приведены в табл. 7.1; ρ - плотность материала, кг/м³; b - коэффициент, зависящий от вида транспортируемого материала (см. табл. 7.1).

Формула 7.9 применима только для измельченной древесины при $\mu \leq 2$.

Затраты давления на подъем транспортируемого материала. При подъёме транспортируемого материала на высоту z должна быть затрачена работа, равная $gG_m \cdot z$, что требует дополнительных потерь давления $\Delta p_{под}$. Согласно термодинамике, потери давления создают работу $L_v \cdot \Delta p_{под}$.

$gG_m \cdot z = L_v \cdot \Delta p_{под}$, где L_v - объемный расход воздуха, м³/ч; Δp - потери давления материала, Па; G_m - массовый расход материала, кг/ч; z - высота подъёма, м; g - ускорение силы тяжести, м²/с.

Отсюда потери давления на подъем материала:

$$\Delta p_{\text{под.}} = \frac{gG_{\text{м.}}}{L_{\text{в.}}} z = g \frac{G_{\text{м.}}}{G_{\text{в.}}} z \rho_{\text{в.}} = g \mu \rho_{\text{в.}} z \quad (7.10)$$

где μ - массовая концентрация транспортируемой смеси кг/кг;

$\rho_{\text{в.}}$ - плотность воздуха, кг/м³.

Потери давления на разгон материала, поступающего в воздуховод из загрузочного устройства, вызваны вертикальным перемещением материала относительно оси воздуховода системы пневмотранспорта, а составляющая скорости движения материала в направлении движения воздуха при загрузке материала в воздуховод равна нулю. Потери давления на «разгон» транспортируемого материала после загрузки можно определить по формуле:

$$\Delta p_{\text{разг.}} = \frac{v_{\text{м.}}}{v} \frac{v^2}{2} \rho_{\text{в.}} \quad (7.11)$$

Потери давления в отводах. В отводах происходит изменение направления движения и воздушного потока и дисперсного материала. Центробежная сила отбрасывает материал к стенке, где он теряет скорость вследствие трения о стенку. Потери давления различны при переходе с горизонтального воздуховода на вертикальный восходящий или с вертикального восходящего воздуховода на горизонтальный.

Ленинградской лесотехнической академией предложен условный коэффициент местного сопротивления отводов $\zeta_{\text{о, усл.}}$, учитывающий все виды потерь давления в отводах (табл. 7.2).

Таблица 7.2.

Условный коэффициент местного сопротивления отводов $\zeta_{o, \text{усл}}$ при угле поворота $\alpha = 90^\circ$ и радиусе закругления $R = 2d$

Массовая концентр ация смеси μ	Значения $\zeta_{o, \text{усл}}$					
	При изменении направления потока с горизонтального на вертикальное восходящее			При изменении направления потока с вертикального восходящего на горизонтальное		
	опилки	стружка	щепа	опилки	стружка	щепа
0,5	0,48	0,48	0,49	0,71	0,71	0,67
1,0	0,6	0,61	0,62	0,95	0,95	0,91
2,0	0,72	0,74	0,77	1,23	1,22	1,18
3,0	0,79	0,82	0,85	1,37	1,32	1,32
4,0	0,83	0,85	0,90	1,45	1,45	1,42
5,0	0,86	0,89	0,94	1,51	1,52	1,48

Заметим, что коэффициент местного сопротивления отвода $\alpha = 90^\circ$ при $R = 2d$ для чистого воздуха равен 0,15, и, следовательно, недоучет затрат энергии на «разгон» материала после подтормаживания в отводах приведет к значительным ошибкам в расчете аэродинамических потерь.

Влияние транспортируемого дисперсного материала на величину коэффициентов местного сопротивления прочих элементов сети воздухопроводов не учитывается по причине отсутствия достаточного экспериментального материала.

Потери давления на прямых участках воздухопроводов, по которым перемещается дисперсный материал, больше, чем при транспортировке чистого воздуха.

Потери давления при переносе дисперсного материала принято определять уравнением И. Гастерштадта, содержащим поправку к потерям давления при перемещении чистого воздуха в пределах одного и того же элемента сети:

$$\Delta p_{\text{см}} = \Delta p(1 + K\mu) \quad (7.12)$$

где K - опытный коэффициент сопротивления аэросмеси, получивший название "коэффициент Гастерштадта"; $\Delta p_{\text{см}}$ – потери давления на прямом участке трубопровода диаметром d и длиной l при перемещении воздушного потока, содержащего аэросмесь, со скоростью v ; Δp – потери давления воздушного потока чистого воздуха по тому же трубопроводу со скоростью v .

К настоящему времени движение дисперсного материала в воздуховодах изучено недостаточно. В воздуховодах с частыми поворотами твердые частицы примеси двигаются в потоке воздуха винтообразно, прижимаясь к поверхности стенок воздуховодов, вызывая, тем самым, дополнительные потери давления. В этом случае следует принимать $K=1,4$.

В длинных прямых участках центробежная сила, прижимающая частицы к поверхности стенок воздуховодов, становится меньше. Сила трения и коэффициент K также уменьшаются. Величину K можно определить по формуле:

$$K = K_T \sqrt{\frac{d}{0.3}} \quad (7.13)$$

где d – диаметр воздуховода в м.

Значения коэффициента K_T :

- | | | |
|----|-----------------------|------|
| 1) | опилки | 0,82 |
| 2) | стружка | 0,78 |
| 3) | технологическая щепка | 0,7 |
| 4) | измельчённая кора | 0,8 |

На основании формулы (7.13) составлена таблица 7.3 рекомендуемых значений коэффициентов К.

Таблица 7.3.

Коэффициент К для горизонтальных участков пневмотранспортных систем

Транспортируемы й материал.	Значения К при диаметре воздуховода, мм.		
	<300	300	>300
Опилки	0,7	0,82	0,96
Стружка	0,65	0,78	0,9
Технологическая щепа	0,6	0,7	0,8

Существуют и иные способы определения потерь давления при транспортировании дисперсной примеси воздушным потоком.

Универсальные системы с коллекторами-сборниками для обслуживания небольших, 10...12 единиц, групп станков. Схемы таких систем приведены на рис.7-2. Сами коллекторы-сборники изображены на рис.7-3 и рис.7-4.

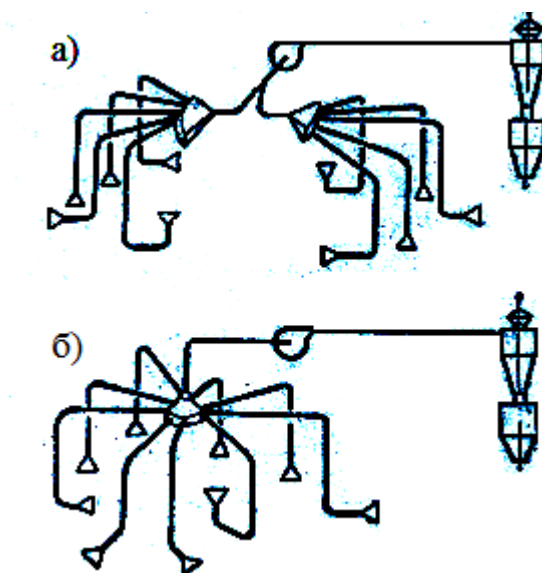


Рис. 7-2. Схемы внутрицеховых систем пневмотранспорта с коллекторами – сборниками

а - горизонтальными; б - типа «люстра»

Системы состоят из ответвлений, присоединённых к коллектору – сборнику, работающему в режиме камеры постоянного статического давления, транзитных вссывающего и напорного воздухопроводов, отделителя. Позволяют перемещать станки или присоединять новые, не заменяя прочие участки сети. Перепад давления во всех ответвлениях, присоединенных к одному коллектору-сборнику, одинаков, это позволяет производить необходимые расчёты с целью определения диаметров ответвлений к вновь устанавливаемым или перемещаемым станкам.

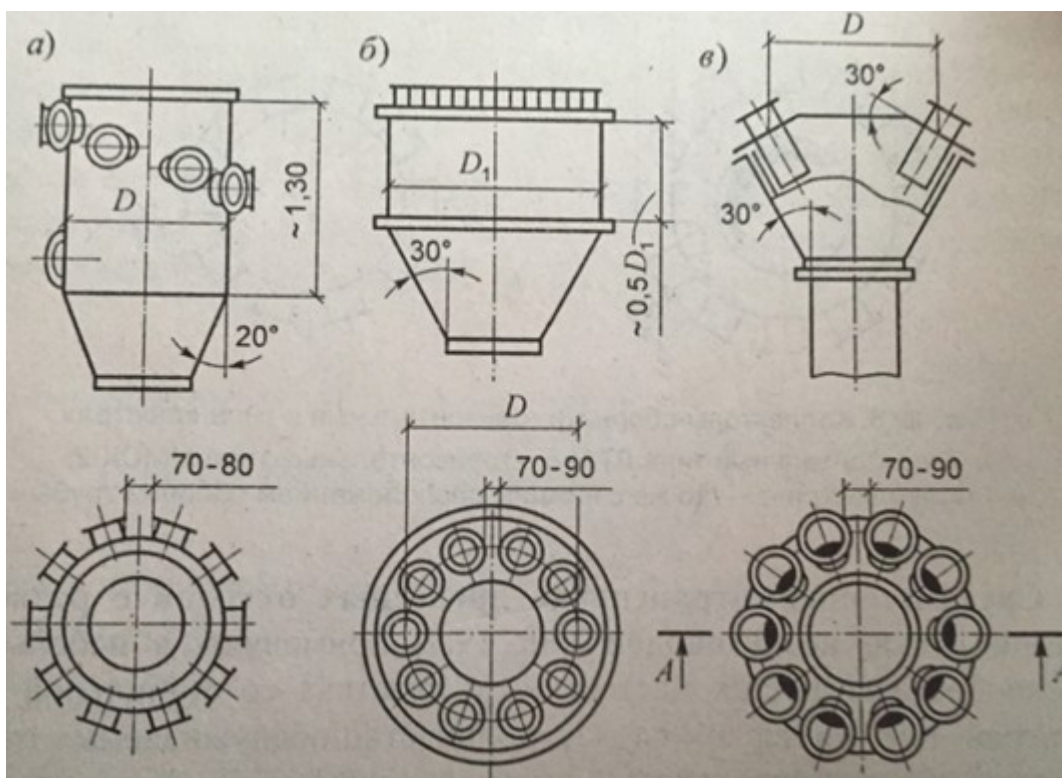


Рис. 7-3. Сборники отходов вертикального типа

а. с боковым подключением ответвлений; б. с верхним подключением ответвлений; в. конический

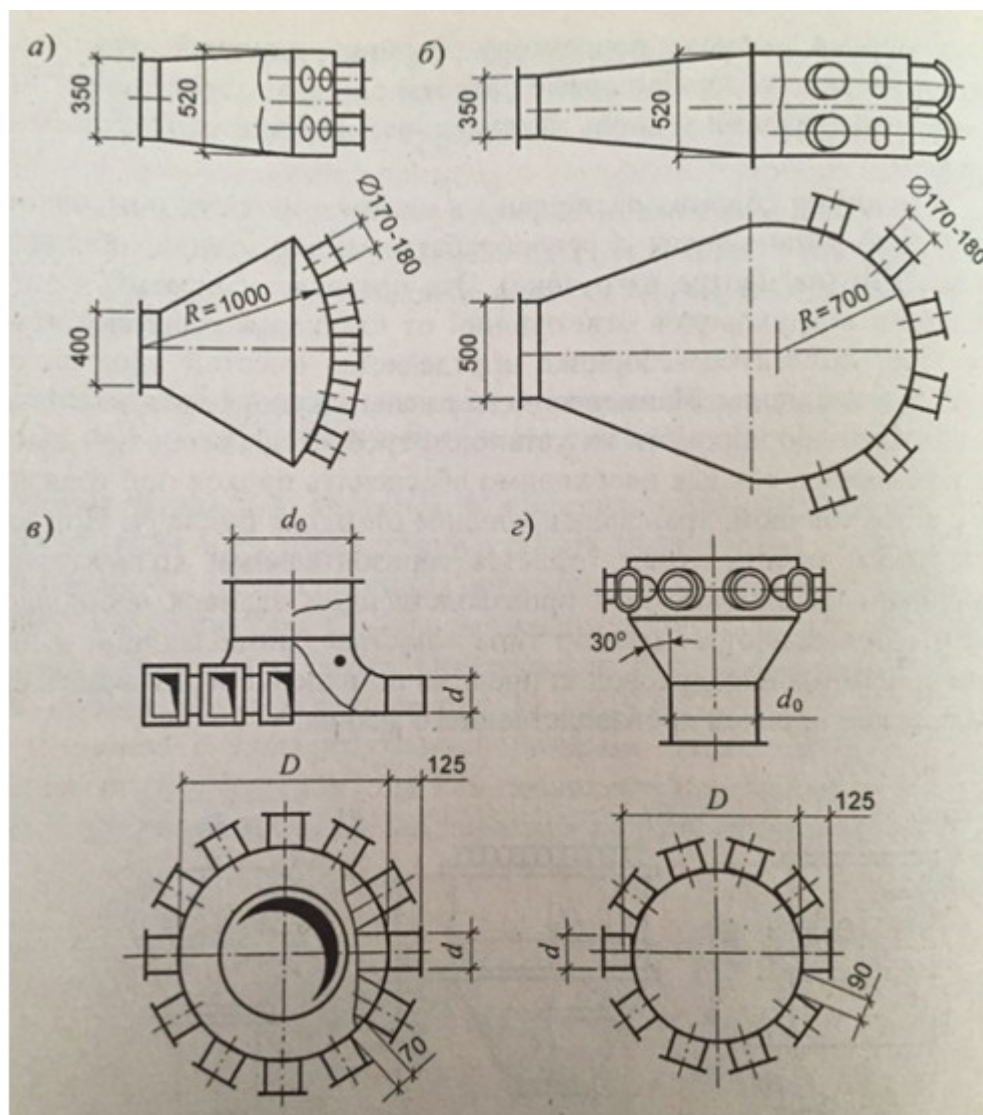


Рис. 7-4. Сборники отходов горизонтального и типа «люстра»

сборники горизонтального типа: а. горизонтальный типа ПТА; б. горизонтальный типа ММСК-2;
сборники типа «люстра»: в. с верхним отводом воздуха; г. с нижним отводом воздуха.

На рис.7-3 и рис.7-4 представлены коллекторы сборники систем пневмотранспорта древесных отходов и аспирационных систем. Коллектор сборник размещают таким образом, чтобы протяжённость ответвлений к станкам были примерно одинаковыми, «в центре нагрузок». Тип коллектора - сборника определяется высотой производственного помещения. Наименее подвержены закупорке вертикальные коллекторы-сборники, но их установка требует значительной высоты помещения, так как необходимо обеспечить достаточную высоту размещения транзитного воздуховода, транспортирующего отходы к циклону. При высоте 3–3,5 м предпочтение отдаётся горизонтальным

коллекторам-сборникам. В одноэтажных производственных зданиях небольшой высоты применяют коллектор типа «люстра», позволяющий выносить транзитный воздуховод за пределы помещения и размещать его над плоской кровлей производственного здания.

Системы пневмотранспорта древесных отходов с разветвленной сетью воздуховодов (рис. 7-5) применяют в небольших деревообрабатывающих мастерских и участках со стабильной технологией. Количество присоединяемых станков определяется производительностью пылевого вентилятора. Нормы предусматривают применение воздуховодов с углами врезки в 30° и 45° , хотя это приводит к усиленному абразивному износу тройников. Применявшийся ранее угол врезки 15° представляется более предпочтительным.

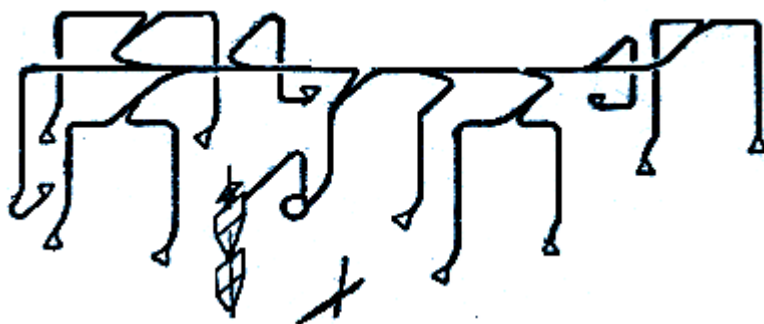


Рис. 7-5. Схема системы с разветвлённой системой воздуховодов

Аспирационные вытяжные системы вентиляции. Аспирационные вытяжные системы оборудуются местными отсосами для улавливания пыли, предназначены для оздоровления воздушной среды на рабочих местах. Массовая концентрация пыли в транспортирующем воздухе не должна превышать 50 г/кг. Если технологический процесс предполагает замену оборудования в процессе эксплуатации, предпочтительны системы с коллекторами-сборниками, в случае небольшого количества станков возможно устройство разветвлённых систем. Нормы предполагают применение тройников с углом врезки 30° и 45° , но более целесообразен угол врезки в 15° ,

так как минеральные пылевые частицы обладают большими абразивными свойствами, нежели отходы деревообработки.

Скорости в воздуховодах аспирационных систем принимаются повышенными по сравнению воздуховодами для чистого воздуха. Значения этих скоростей для некоторых видов пыли могут быть приняты в соответствии с таблицей 7.4.

Таблица 7.4.

Пыль материала	Скорость в м/с/	
	В вертикальных участках	В горизонтальных участках
Лёгкая и сухая пыль от шлифования дерева.	14 – 16	16 - 18
Пыль красок.	14 – 16	16 - 18
Пыль мелкая минеральная.	12	14
Пыль от матерчатых полировальных кругов	10	12
Пыль угольная	14	15
Пыль наждачная, минеральная	15,5	19

7.2. Элементы систем пневмотранспорта

Трубопроводы. В системах пневмотранспорта и аспирации с $\mu < 0,5$ кг/кг используются воздуховоды из тонколистовой стали. В таблице 7.5 приведены рекомендуемые толщины листовой стали.

Таблица 7.5.

Рекомендуемые толщины листовой стали, (мм) для изготовления воздуховодов аспирационных систем с $\mu < 0,2$ кг/кг

Диаметр воздуховода $d \leq 200$ мм		Диаметр воздуховода $d > 200$ мм	
		Скорость воздуха $v \leq 23$ м/с	Скорость воздуха $v > 23$ м/с
В помещении	1,4 мм	1,4 мм	2,0 мм
На улице	2,0 мм	2,0 мм	3,0 мм

Если $\mu > 0,5$ кг/кг и потери давления до 20000 Па применяются воздуховоды с толщиной стенки $\delta = 3,0$ мм. В высоконапорных системах с $\Delta p > 20000$ Па сети монтируются из стальных электросварных труб ГОСТ 10704-91. В системах пневмотранспорта существует опасность закупорки воздуховодов малых диаметров. Рекомендуемые диаметры воздуховодов представлены в таблице 7.6.

Таблица 7.6.

Минимальный диаметр трубопровода для транспортирования различных материалов, мм

Вид транспортируемого материала	Минимальный диаметр воздуховода
Мелкая пыль	80
Частицы опилок и мелкие стружки	100
Смесь, содержащая кусочки материала (крупные стружки и т.п.)	130

Соединяются воздуховоды и трубы друг с другом с помощью фланцев или на сварке. Отводы воздуховодов выполняются с отношением $R/d \geq 2$, а отводы трубопроводов с $R/d \geq 5$. Для ревизии и прочистки в воздуховодах через 10-15 м, а также вслед за отводами устанавливаются лючки. В практике деревообрабатывающих предприятий присоединение местных отсосов станков

к сети воздухопроводов часто осуществляется гибкими рукавами из металла или других материалов.

Приёмники древесных отходов, шиберы, устанавливаемые на ответвлениях.

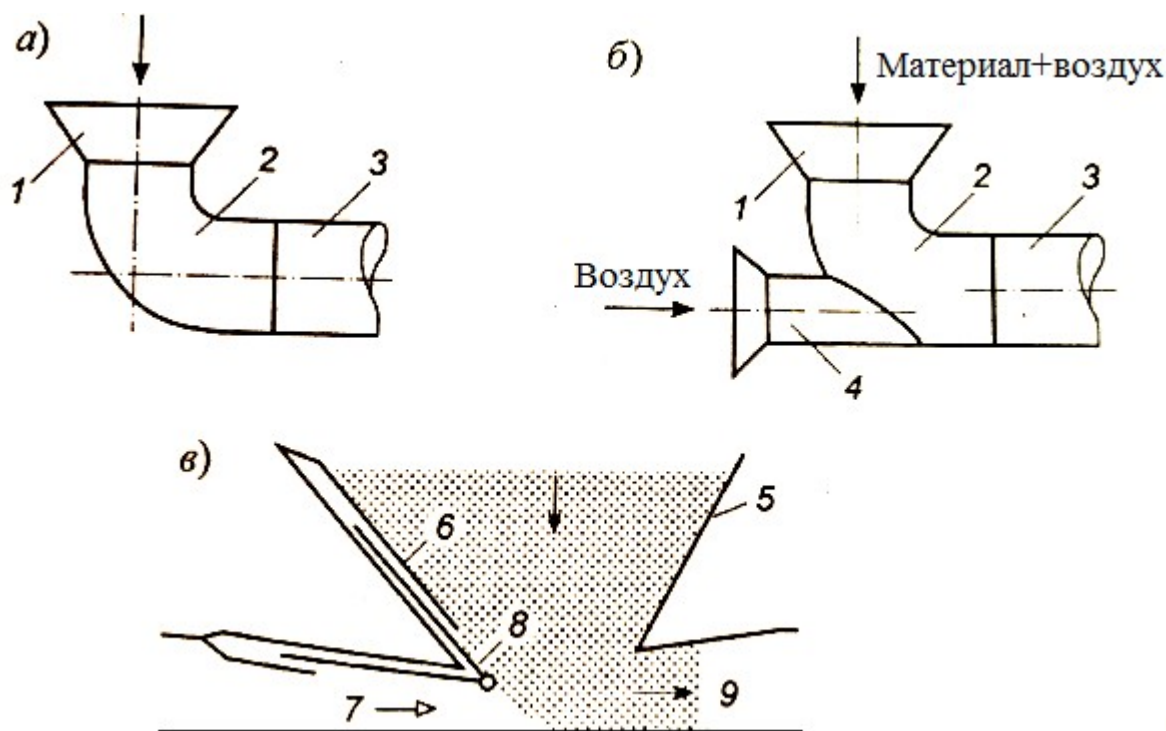


Рис. 7-6. Виды загрузочных воронок, применяемых в системах пневматического транспорта дисперсных материалов

- а. обычная: 1 – раструб для загрузки материала с углом раскрытия $\alpha \leq 60^\circ$; 2 – отвод 90° с закруглением $R/d = 2 \dots 3$. воздухопровод системы пневмотранспорта.
- б. с транзитным потоком воздуха. 1 – раструб, анаогичный случаю «а»; 2 – тройник; 3 – воздухопровод системы пневмотранспорта; 4 – «проход» тройника, через который поступает дополнительный приток воздуха в сеть, предотвращающий закупорку воздуховода в случае закупорки загрузочной воронки.
- в. эжекционная для нагнетательных систем пневмотранспорта: 5 – раструб; 6 – двойная стенка; 7 – конфузор; 8 – шибер; 9 – диффузор

Загрузочные воронки являются простейшим видом питателей. Во всасывающих системах используют обычные и воронки с транзитным потоком воздуха. В нагнетательных системах низкого давления применяют эжекционные воронки (рис. 7-6в). Обычные воронки (рис. 7-6а) состоят из

раструба с углом раскрытия не более 60° и плавного отвода. Недостаток обычной воронки – возможность закупорки её излишне большой порцией загружаемого материала. Если к воздуховоду присоединена одна загрузочная воронка, закупорка может привести к падению скорости в воздуховоде и выпадению транспортируемого материала на дно. При прочистке воронки, когда воздух поступает в недостаточных количествах, возможно скольжение выпавшего материала по «дну» воздуховода, накапливание вблизи местных сопротивлений и закупорка сети. Этому недостатка лишена воронка с транзитным потоком воздуха, выполненная в виде тройника с раструбом для загрузки материала на ответвлении. В случае закупорки через ствол тройника поступает достаточное количество воздуха, позволяющее производить транспортирование уже загруженного материала по сети воздухопроводов и предотвращать тем самым закупорку.

Эжекционная воронка является трубой Вентури, у которой в *горловине* (цилиндрический участок, соединяющий конфузор и диффузор) вырезано отверстие с присоединённым к ним раструбом для загрузки материала. Конфузор 7 преобразует часть статического давления в динамическое в количестве, при котором статическое давление на выходе из конфузора становится равным или несколько меньше атмосферного. С целью уменьшения последующих аэродинамических потерь цилиндрическая часть присоединена к диффузору, с помощью которого скорость приводится к прежним значениям. В головине эжекционной воронки иногда возникают пульсации, приводящие к периодическому выбросу загружаемого материала из воронки. Предотвращают это нежелательное явление шибером 8.

Шиберы ручные на ответвлениях к станкам служат для ручного отключения неработающих станков, имеют полотнище, расположенное под углом 45° к оси воздуховода.

Отделителями в системах пневмотранспорта являются циклоны. Подбору циклона следует уделять особое внимание. Технология деревообработки развивается по пути интенсификации, что приводит к возрастанию доли пыли в общем количестве отходов. Поэтому к установке следует принимать специальные циклоны последних моделей. В настоящее время наиболее удачным признан циклон типа УЦ, исследования которого выполнила Ленинградская лесотехническая академия.

7.3. Особенности расчёта систем пневмотранспорта и аспирации

Расчёт систем пневмотранспорта древесных отходов.

Деревообрабатывающие станки выпускаются со встроенными местными отсосами, рабочие характеристики которых определены заводом – изготовителем. Необходимые для проектирования объём вытяжки, минимально-допустимая скорость в воздуховодах, общее количество отходов и пыли содержатся в нормативно – справочной литературе.

Последовательность расчёта:

1. Вычерчивается и нагружается аксонометрическая схема воздуховодов.
2. Определяются потери давления на каждом из ответвлений к местным отсосам станков, присоединённых к коллектору – сборнику, из условия обеспечения скорости равной или несколько большей минимально – допустимой. Расчёт ведут по чистому воздуху для стандартных диаметров круглых воздуховодов.
3. Наибольшая величина полученных аэродинамических потерь принимается в качестве расчётной для ответвлений, присоединённых к данному коллектору – сборнику.

4. Ответвление с расчётным аэродинамическим сопротивлением не пересчитывается, диаметры прочих ответвлений уменьшают с целью достижения аэродинамической увязки.

5. Невязка в потерях давления по ответвлениям не должна превышать 10%. Если изменением диаметров увязку давлений произвести не удаётся, устанавливаются конусные диафрагмы, расчётное сечение в которых не должно быть меньше предельного минимального для данного вида транспортируемого материала (см. таблицу 7.6). При необходимости, допускается установка нескольких конусных диафрагм на одном участке.

6. Применявшийся ранее способ «увязки» путём увеличения в ответвлении расхода против нормативного не допускается по причине высокой и постоянно возрастающей стоимости электроэнергии.

7. Определяют диаметр и потери давления для транзитного воздуховода от сборника отходов до циклона. *Скорость воздуха в транзитном воздуховоде не должна быть ниже максимальной из минимально-допустимых скоростей для ответвлений, присоединённых к данному коллектору – сборнику, во избежание выпадения материала из воздуха и закупорки воздуховода.*

8. Подбирается циклон, определяются потери давления в нём.

9. По формуле Гастерштадта пересчитываются аэродинамические потери в сети. Расходная массовая концентрация принимается в пределах 0,10 – 0,20 кг/кг.

10. Вычисляются потери давления от подъема транспортируемых отходов на высоту.

11. Расчётный расход $L_{\text{расч}}$ воздуха в системе определяется как:

$$L_{\text{расч}} = 1,15 \sum L_{\text{отв}} \quad (7.14)$$

где $L_{\text{отв}}$ - объём отсасываемого воздуха от каждого присоединённого к коллектору – сборнику станка, м³/ч.

12. Расчётная потеря давления в системе:

$$\Delta p_{\text{расч.}} = 1,1(\Delta p_{\text{отв}} + \Delta p_{\text{маг}} + \Delta p_{\text{под}} + \Delta p_{\text{цикл}}) \quad (7.15)$$

где $\Delta p_{\text{отв}}$ – расчётная потеря давления в ответвлении, вычисленная по формуле Гастерштадта, с учётом коэффициентов местных сопротивлений отводов, определённых для чистого воздуха; $\Delta p_{\text{маг}}$ – потери давления в магистрали, вычисленные по формуле Гастерштадта; $\Delta p_{\text{под}}$ – затраты давления на подъём материала; $\Delta p_{\text{цикл}}$ – потери давления в циклоне.

Аэродинамический расчёт удобнее проводить методом динамических давлений. Тройники в рассматриваемых системах отсутствуют и легко переходить от расчётной потери давления к требуемой скорости в воздуховоде и требуемому диаметру ответвления.

Аспирационные системы вентиляции рассчитывают в зависимости от принятой конструктивной схемы. Объёмы вытяжки от местных отсосов, при отсутствии данных в справочной литературе, определяют специальным расчётом. Производительность по воздуху аспирационных систем равна сумме объёмов вытяжки через местные отсосы с запасом в на присосы. Аэродинамический расчёт сети воздухопроводов с центральным сборником расчёт ведут в последовательности, изложенной выше. Потери давления рассчитывают по чистому воздуху без введения поправки на перенос пыли, погрешность в определении потерь давления при этом не превышает 2-3%. Скорости в воздуховодах принимаются повышенными (таблица 7.4) во избежание выпадения пыли в воздуховодах.

Пример расчёта системы пневматического транспорта с центральным сборником древесных отходов.

Перечень станков, обслуживаемых системой:

1. Станок круглопильный ЦА 2А;
2. Станок фуговальный СФ6;
3. Станок шлифовальный ШЛК-6;

4. Станок шипорезный ШПК-40;
5. Станок полировальный П1Б;
6. Напольный отсос.

Конструктивные решения системы:

1. Центральный сборник отходов размещают в «центре нагрузок», примерно на одинаковых расстояниях от большинства станков. Крепится, обычно, к колонне; оси горизонтальных участков ответвлений расположены на высоте + 3,0 м от пола.
2. Отделение отходов, очистка воздуха от пыли производятся в циклоне Клайпежского ОКДМ.
3. Вентилятор устанавливается до циклона, поэтому должен быть «пылевым».
4. Трассировка воздуховодов от станков к сборнику отходов производится по прямой.
5. Предусмотрена установка напольного отсоса для сбора отходов, не уловленных отсосом и выпавших на пол помещения.

Основные предпосылки расчёта:

1. Расчётная величина расходной массовой концентрации $\mu_p = 0,2$ кг/кг.
2. Расчёт производится методом динамических давлений.
3. Невязку аэродинамических потерь по ответвлениям принимаем павной в пределах 10%.
4. Минимально-допустимый диаметр воздуховода или диафрагмы – 100 мм.
5. При невозможности достижения увязки аэродинамических потерь ответвлений от местных отсосов к центральному сборнику отходов подбором стандартных диаметров воздуховодов применяются конусные диафрагмы.

Последовательность расчёта:

1. По данным каталогов или справочно-нормативной литературы составляется таблица, в которой указываются минимально-допустимые расход и скорость, протяжённость, м, ответвлений и коэффициент местного сопротивления местного отсоса.

Таблица 7.7.

Минимально-допустимые расходы удаляемого воздуха и скорости транспортирования отходов по воздуховодам, длины ответвлений и ζ местных отсосов деревообрабатывающих станков

№№ отв.	Наименование станка	Минимально- допустимый расход L, м ³ /час	Минимально допустимая скорость, v, м/сек	Длина ответвления, м	ζ ответвления
1.	Круглопильный ЦА2 – 2А	850	17,0	12,2	1,0
2.	Фуговальный СФ - 6	1320	18,0	6,75	0,8
3.	Полировальный П1Б	1590	19,0	7.8	1,1
4.	Шлифовально- ленточный ШЛК-6	5087	16,0	17,3	1,1
5.	Шипорзный ШПК – 40	1270	18,0	9.35	0,8
6.	Напольный отсос	1100	18,0	13,7	1,0

2. Определяются суммы коэффициентов местных сопротивлений на ответвлениях к отдельным станкам.

Круглопильный станок:	Фуговальный станок:
приёмник отходов – 1,0 2 отвода 90°; $R/d=2 - 0,15 \times 2 = 0,30$ отвод 45° $R/d=2 - 0,09$ внезапное расширение – 1,0 $\Sigma \zeta = 2,39$	приёмник отходов – 0,8 3 отвода 90°; $R/d=2 - 0,15 \times 3 = 0,45$ внезапное расширение – 1,0 $\Sigma \zeta = 2,25$
Полировальный станок:	Шлифовально-ленточный станок:
приёмник отходов – 1,1 1 отвод 90°; $R/d=2 - 0,15$ 1 отвод 15°; $R/d=2 - 0,05$ внезапное расширение – 1,0 $\Sigma \zeta = 2,30$	приёмник отходов – 1,1 2 отвода 90°; $R/d=2 - 0,15 \times 2 = 0,30$ внезапное расширение – 1,0 $\Sigma \zeta = 2,40$
Шипорезный станок:	Напольный отсос:
приёмник отходов – 0,8 2 отвода 90°; $R/d=2 - 0,15 \times 2 = 0,30$ 1 отвода 30°; $R/d=2 - 0,09$ внезапное расширение – 1,0 $\Sigma \zeta = 2,19$	приёмник отходов – 1,0 1 отвода 90°; $R/d=2 - 0,15$ внезапное расширение – 1,0 $\Sigma \zeta = 2,15$

3. Определяется расчётная величина потерь давления для подбора диаметра ответвлений (таблица 7.8).

Подробный численный расчёт приводится для ответвления к круглопильному станку (участок 1). Для прочего оборудования результаты расчётов приведены в таблице:

- по минимально-допустимой скорости определяется требуемая величина диаметра:

$$d_{\text{тр}} = (4 L / (3600 \pi v_{\text{тр}}))^{0,5} = (850 / 900 \cdot \pi \cdot 17,0)^{0,5} = 0,1329 \text{ м}$$

Принимаем ближайшее меньшее значение величины стандартного диаметра $d = 125$ мм.

- фактическая скорость в воздуховоде:

$$V_{\text{факт}} = L/900 \pi d^2 = 4 \times 850 / 3600 \cdot \pi \cdot 0,125^2 = 19,24 \text{ м/сек}$$

- вычисляем динамическое давление воздушного потока в воздуховоде:

$$P_d = v^2 \rho_{\text{возд}} / 2 = 19,24^2 \cdot 1,2 / 2 = 222,16 \text{ Па}$$

$$-\lambda/d = 0,164$$

$$-\text{вычисляем величину } (\lambda/d) l + \Sigma \zeta = 0,164 \cdot 12,2 + 2,39 = 4,391$$

- определяем потери давления в ответвлении:

$$\Delta P = [(\lambda/d) l + \Sigma \zeta] \cdot P_d = 4,391 \cdot 222,16 = 975,5 \text{ Па}$$

Таблица 7.8.

Определение величины расчётной потери давления для подбора диаметра ответвлений к местным отсосам деревообрабатывающих станков

№№ отв.	Заданные величины			Принимаемые величины		
	L м³/час	V м/сек	l м	d _{тр} мм	d мм	V _{факт} м/сек
1	850	17,0	12,2	133	125	19,24
2	1320	18,0	6,75	161	160	18,24
3	1590	19,0	7,8	172	160	21,97
4	5087	16,0	17,3	335	315	18,13
5	1270	18,0	9,35	159	140	22,92
6	1100	18,0	13,7	147	140	19,85

Продолжение таблицы 7.8.

P _д , Па	λ/d	$(\lambda/d) l$	$\Sigma \zeta$	$(\lambda/d) l + \Sigma \zeta$	ΔP , Па
222,16	0,164	2,001	2,39	4,391	975,5
199,6	0,121	0,8168	2,25	3,067	612,1
289,6	0,119	0,928	2,3	3,228	934,9
197,3	0,052	0,8996	2,4	3,2996	651,1
315,19	0,141	1,318	2,19	3,508	1105,8
236,45	0,143	1,959	2,15	4,109	971,6

Принимаем расчётную величину потерь давления $\Delta P_{\text{расч}}$ по величине потерь давления в ответвлении 5: ≈ 1110 Па.

4.Подбор диаметров ответвлений на величину расчётного давления 1110 Па.

Последовательность подбора диаметра ответвления на требуемую величину потерь давления излагается на примере расчёта ответвления 2 и 4. Результаты расчёта представлены в таблице 7.9.

Таблица 7.9.

Аэродинамическая увязка ответвлений от местных отсосов
деревообрабатывающих станков к центральному сборнику отходов

№№ уч.	L, м ³ /час	l, м	ζ	(λ/d) l + ζ	P _д	v _{тр}	d, мм
1.	850	12,2	2,39	4,39	252,85	20,53	121
2.	1320	6,75	2,25	3,067	361,92	24,56	138
3.	1590	7,8	2,3	3,228	312,89	22,84	153
4	5087	17,3	2,4	3,3	306,06	22,59	278
6	1100	13,7	2,15	4,109	245,8	20,24	136

Продолжение таблицы 7.9.

d _{ст}	v _ф	λ/d	(λ/d) l + ζ	P _д ^{ст}	P _ф	ΔP	Невязка, Δ %
125	19,24	0,164	4,391	222,16	975,5	134,5	12,1
140	23,82	0,141	3,2	340,44	1089,4	20,59	1,85
160	21,97	0,12	3,236	289,61	937,18	172,82	15,6
280	22,95	0,059	3,421	316,02	1080,79	20,59	1,83
140	19,85	0,143	4,109	236,4	971,4	138,63	12,43

Пересчёт участка 2.

Последовательность подбора диаметра ответвления на расчётное давление в 1110 Па.

1. определяем требуемую из условия обеспечения аэродинамической увязки величину динамического давления в предположении, что величина [(λ/d) l + ζ], определённая в предыдущем расчёте, останется неизменной:

$$P_{д} = \Delta P_{расч} / [(\lambda/d) l + \zeta] = 1110/3,067 = 361,92 \text{ Па}$$

2. находим скорость в воздуховоде, соответствующую вычисленной величине динамического давления:

$$v_{тр} = (2 P_d / \rho_{возд})^{0,5} = (2 \cdot 361,92 / 1,2)^{0,5} = 24,56 \text{ м/сек}$$

Скорость воздуха в предыдущем расчёте 23,82 м/с, новая скорость не вышла за пределы расчётного диапазона.

3. определяем величину диаметра воздуховода:

$$d = [L / (900 \cdot \pi \cdot v_{тр})]^{0,5} = [1320 / (900 \cdot 3,142 \cdot 24,56)]^{0,5} = 0,138 \text{ м}$$

Принимаем расчётную величину стандартного диаметра равной 140 мм.

Примечание: требуемая скорость вышла за пределы скоростного диапазона, при котором в предыдущем расчёте вычислялись $[(\lambda/d) l + \zeta]$, требуемый диаметр также изменился, поэтому требуемые динамическое давление, скорость и потери давления в воздуховоде следует вычислять с использованием нового значения характеристики сопротивления для диаметра 140 мм:

Уточнение:

- скорость воздуха в воздуховоде диаметром 140 мм;

$$v = L / (900 \pi d^2) = 1320 / (900 \cdot 3,142 \cdot 0,14^2) = 23,82 \text{ м/с.}$$

- динамическое давление в стандартном воздуховоде:

$$P_d^{ст} = v^2 \rho_{возд} / 2 = 23,82^2 \cdot 1,2 / 2 = 340,44 \text{ Па}$$

- величина $(\lambda/d) l + \zeta = 0,141 \cdot 6,75 + 2,25 = 3,2$

- фактические потери давления:

$$P_{\phi} = P_d^{ст} [(\lambda/d) l + \zeta] = 340,44 \cdot 3,2 = 1089,4 \text{ Па.}$$

- давление, которое необходимо погасить в диафрагме:

$$\Delta P = \Delta P_{расч} - P_{\phi} = 1110 - 1089,4 = 20,59 \text{ Па}$$

- невязка давлений составляет:

$$\Delta\% = (\Delta P / \Delta P_{расч}) 100 = (20,59 / 1110) \cdot 100 = 1,85\%$$

Пересчёт участка 4.

Последовательность подбора диаметра ответвления на расчётное давление в 1110 Па.

1. определяем требуемую из условия обеспечения аэродинамической увязки величину динамического давления в предположении, что величина $[(\lambda/d) l + \zeta]$, определённая в предыдущем расчёте, останется неизменной:

$$P_d = \Delta P_{\text{расч}} / [(\lambda/d) l + \zeta] = 1110/3,3 = 333,33 \text{ Па}$$

2. находим скорость в воздуховоде, соответствующую вычисленной величине динамического давления:

$$v_{\text{тр}} = (2 P_d / \rho_{\text{возд}})^{0,5} = (2 \cdot 333,33 / 1,2)^{0,5} = 23,57 \text{ м/сек}$$

3. определяем величину диаметра воздуховода:

$$d = [4 \cdot L / (3600 \cdot \pi \cdot v_{\text{тр}})]^{0,5} = [4 \cdot 5087 / (3600 \cdot 3,142 \cdot 23,57)]^{0,5} = 0,276 \text{ м}$$

Принимаем расчётную величину стандартного диаметра равной 280 мм.

Уточнение:

- скорость воздуха в воздуховоде диаметром 280 мм:

$$v = 4 L / (3600 \pi d^2) = 4 \cdot 5087 / (3600 \cdot 3,142 \cdot 0,28^2) = 22,95 \text{ м/с}$$

- динамическое давление в стандартном воздуховоде:

$$P_d^{\text{ст}} = v^2 \rho_{\text{возд}} / 2 = 22,95^2 \cdot 1,2 / 2 = 316,02 \text{ Па}$$

- величина $(\lambda/d) l + \zeta = 0,059 \cdot 17,3 + 2,4 = 3,42$

- фактические потери давления:

$$P_{\text{ф}} = P_d^{\text{ст}} [(\lambda/d) l + \zeta] = 316,02 \cdot 3,42 = 1080,79 \text{ Па}$$

- давление, которое необходимо погасить в диафрагме:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{расч}} - P_{\text{ф}} = 1110 - 1080,79 = 20,21 \text{ Па}$$

- невязка давлений составляет:

$$\Delta\% = (\Delta P / \Delta P_{\text{расч}}) 100 = (20,21 / 1110) \cdot 100 = 1,82\%$$

Результаты расчётов диаметров прочих ответвлений, приведенные в таблице 7.9 показывают, что невязки, превышающие 10%, имеют место на участках 1, 3 и 6. Избыточное давление необходимо погасить в конических диафрагмах, последовательность подбора которых представлена на примере подбора диафрагмы для ответвления 2.

Подбор конической диафрагмы для участка 2.

Выше было указано, что минимальный диаметр не может приниматься меньшим 100 мм во избежание засора диафрагм.

Принимается диафрагма с углом раскрытия образующих 20° ($\text{tg}20^\circ = 0,364$).

Последовательность расчёта диафрагмы:

- вычисляем требуемый коэффициент местного сопротивления диафрагмы:

$$\zeta = \Delta P / P_{\text{ст}_d} = 379,84 / 199,4 = 1,9$$

- по таблице 22.50 Справочника проектировщика, ч.3, книга 2, -М.: Стройиздат, 1992 определяем, что данному ζ соответствует отношение скорости в воздуховоде $v_1 = 18,23$ м/сек к скорости в диафрагме v_2 равное 0,42, откуда $v_2 = 43,4$ м/сек;

- требуемый диаметр диафрагмы $d_d = [4 L / (3600 \pi v_{\text{тр}})]^{0,5}$ или $d_d = [4 \cdot 1320 / (3600 \cdot 3,141 \cdot 43,4)]^{0,5} = 0,1037$ м или 103,7 мм

- длина диафрагмы $l = (d - d_d) / 2 \text{tg} \alpha = (160 - 103,7) / (2 \cdot 0,364) = 77,3$ мм

Аналогично подбирается диафрагма для участка 4.

5. От центрального сборника отходы в количестве 11217 м³/час перемещаются по транзитному воздуховоду, длиной 13,2 м. Во избежание выпадения отходов скорость в нём не может выбираться ниже 19,0 м/сек, то есть не ниже максимальной из минимально-допустимых скоростей ответвлений, присоединённых к сборнику отходов.

Местные сопротивления.

-вход в воздуховод из сборника – 0,1

-4 отвода $90^\circ R/d = 2,0 - 4 \cdot 0,15 = 0,6$

-отвод $45^\circ R/d = 2,0 - 0,09$

$$\Sigma \zeta = 0,79$$

Потери давления в транзитном воздуховоде рассчитываются аналогично п.3 настоящего расчёта и составляют 282,3 Па.

Давление расходуется так же на подъём транспортируемого материал дважды: на подъём от местного отсоса до сборника отходов – 2,5 м, и от пылевого вентилятора до входного патрубка циклона – 4,2 м. Итого общая для рассчитываемой системы общая высота подъёма материала z составляет – 6,7 м. Затраты на подъём вычисляем по формуле (7.10):

$$\Delta p_{\text{подъёма}} = g \cdot \mu \cdot \rho \cdot z = 9,81 \cdot 0,2 \cdot 1,2 \cdot 6,7 = 15,77 \text{ Па}$$

Отделение древесных отходов от воздуха производим в циклоне Клайпедского ОЭКДМ. Расчётное количество воздуха с учётом 15% присоса составит:

$$L_{\text{расч}} = 1,15 (850 + 1320 + 1590 + 5087 + 1270 + 1100) = 12900 \text{ м}^3/\text{час.}$$

Принимаем к установке циклон №20 с сопротивлением в 1000 Па.

Расчётные потери давления в сети с учётом запаса в 10%:

$$P_{\text{пот}} = 1,1 (1110 + 15,77 + 282,3 + 1000) = 2648,88 \text{ Па.}$$

К установке принимаем пылевой вентилятор ВР100-45-6,3-02 с клиноремённой передачей, укомплектованный электродвигателем АИР160М4, мощностью 18,5 кВт и частотой вращения 1500 об/мин. Клиноремённая передача обеспечивает частоту вращения рабочего колеса вентилятор 1810 об/мин. Требуемые параметры работы вентилятора: подача – 12900 м³/ч.; напор 2650 Па, частота вращения 1980 об/мин, КПД = 54%. Требуется замена шкива на электродвигателе для обеспечения частоты вращения рабочего колеса вентилятора в 1980 об/мин.

Проверка достаточности мощности поставляемого электродвигателя:

$$N = \frac{L \times \Delta p}{3600 \times \eta_{\text{передачи}} \times \eta_{\text{вент.}} \times 1000} = \frac{12900 \times 2650}{3600 \times 0,8 \times 0,54 \times 1000} = 24,2 \text{ кВт} > 18,5 \text{ кВт}$$

Вывод: электродвигатель необходимо заменить на более мощный.

Глава 8. Воздушное душирование рабочих мест. Воздушные завесы шиберного типа

8.1. Воздушное душирование рабочих мест

8.1.1. Воздушное душирование, определение, классификация, расчётные параметры воздуха на обслуживаемых рабочих местах, конструкции душирующих патрубков.

Воздушному душированию должны подвергать рабочие места, подверженные значительному тепловому облучению от нагретого оборудования или сильно загазованные, вследствие несовершенства технологического процесса.

Приток на облучаемые рабочие места подаётся из душирующих патрубков приточной струёй охлаждённого воздуха, создающей на рабочем месте повышенную подвижность и более низкую, в сравнении с помещением, температуру воздуха

В случае загазованности рабочего места приток чистого воздуха может подаваться различными способами, но, если разместить приточные устройства в непосредственной близости от рабочего места не удаётся, приток тоже приходится подавать струёй.

Воздушное душирование рабочих мест с тепловым облучением 140 Вт/м² и более имеет целью создание на постоянном рабочем месте скорости и температуры воздуха в соответствии с нормами [3] (см. табл. 8.1) в зависимости от степени тяжести выполняемой работы и интенсивности теплового облучения. Воздушными душами летнее время подаётся охлаждённый приточный воздух, а в холодный – тоже наружный, но нагретый.

Таблица 8.1.

Расчетные нормы температур и скорости движения воздуха при воздушном
душировании

Категория работ	Температура воздуха вне струи, °С	Средняя на 1 м ² скорость воздуха в душирующей струе на рабочем месте, м/с	Температура смеси воздуха в душирующей струе, °С, на рабочем месте при поверхностной плотности лучистого теплового потока, Вт/м ²				
			140-350	700	1400	2100	2800
Легкая —I	Принимается равной расчётной температуре рабочей зоны, соответствующей нормам	1	28	24	21	16	-
		2	-	28	26	24	20
		3	-	-	28	26	24
		3,5	-	-	-	27	25
Средней тяжести - II		1	27	22	-	-	-
		2	28	24	21	16	-
		3	-	27	24	21	18
		3,5	-	28	25	22	19
Тяжелая - III		2	25	19	16	-	-
		3	26	22	20	18	17
		3,5	-	23	22	20	19

В случае отличия фактической температуры от расчётной, температуру воздуха на рабочем месте следует повышать или понижать на 0,4°С на каждый градус разности от значения, приведенного в таблице, но она не должна быть ниже 16°С. Для промежуточных значений поверхностной плотности лучистого теплового потока температура душирующей струи определяется интерполяцией.

В тёплый период года наружный воздух приходится охлаждать, применяя для этой цели либо адиабатическое охлаждение - увлажнение, либо искусственный холод. Предпочтительным является первый способ, как более дешёвый.

Размеры поперечного сечения струи на рабочем месте принимается не менее 1х1 м. Обдувается верхняя часть туловища человека, обычно облучаемая в большей степени нежели другие части тела. Площадь приточного отверстия душирующего устройства должна быть равной или превышать 0,1 м². Струя направляется на рабочее место горизонтально, либо сверху под углом ~ 45°. Расстояние от душирующего патрубка до рабочего места должно быть не менее 1 м.

Выбор параметров воздуха на рабочем месте, подвергаемому тепловому облучению, производится в зависимости от величины потока лучистой теплоты, выпадающей на 1 м² поверхности тела человека. (табл. 8.1). Если облучение имеет место из открытого загрузочного отверстия промышленной печи площадью А, м², интенсивность облучения на рабочем месте может быть вычислена с помощью выражения:

$$q_{р.м.} = 5,77\varphi_{р.м.}\varphi_{от.}[(273 + t_{печи})/100]^4 \quad (8.1)$$

$\varphi_{р.м.}$ - коэффициент облучённости рабочего места плоскостью загрузочного отверстия, расположенного от рабочего места на расстоянии х, м, принимается по графику рис. 1-26; $\varphi_{от.}$ - коэффициент диафрагмирования стенками печи отверстия, принимается по графику рис. 1-25 настоящего пособия.

В случае облучения от нагретой поверхности, формула (8.1) приобретает вид:

$$q_{р.м.} = 5,77\varphi_{р.м.}[(273 + t_{поверх.})/100]^4 \quad (8.2)$$

В прочих случаях облучённость измеряется *актинометром*.
Интенсивности облучённости на различных рабочих местах представлены в таблице 8.2.

Таблица 8.2.

Интенсивность теплового облучения на рабочих местах для некоторых видов производств

Производство	Профессия рабочих	Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²
Доменный цех	Горновые, чугуны, желобчики	700 – 2100
Мартеновский цех	Сталевары, разливы, ковшовые	700 – 2100
	Машинисты заварочных машин	1400 – 3500
Прокатный цех	Сварщики нагревательных колодцев	350 – 560
	Сварщики методических печей	280 – 840
	Вальцовщики, резчики, контролёры	1000 - 2100
Электросталеплавильный цех	Сталевары, разливы, канавщики, ковшовые	700 - 2100
Ферросплавный цех	Плавильщики и горновые	700 – 2100
Цех рафинирования алюминия	Электролитчики	700 – 2800
Обжиговой цех никельного завода	Рабочие у печи, загрузчики и кочегары многоподовых и туннельных печей	210 – 700
Цех изготовления сортовой посуды	Рабочие на выработном верстаке печи при взятии стекла из печи	2700 – 3000
	Рабочие на выработном верстаке печи при выдувке на площадке	175 - 700
Прессовый цех резинотехнических изделий	Прессовщики	350 - 2100

Требования и конструкции приточных устройств для воздушных душей. Душирующие патрубки должны создавать дальнобойные струи, иметь устройства для изменения направления струи в горизонтальной плоскости на угол 180° и в вертикальной плоскости до 60° . Выпускаемые патрубки отвечают этим требованиям. Коэффициент затухания осевой скорости m существующих патрубков в пределах от 4,5...6,3, коэффициенты затухания осевой избыточной температуры 3,4...4,9. Рекомендуется выбирать патрубки с наибольшей величиной коэффициентов m и n .

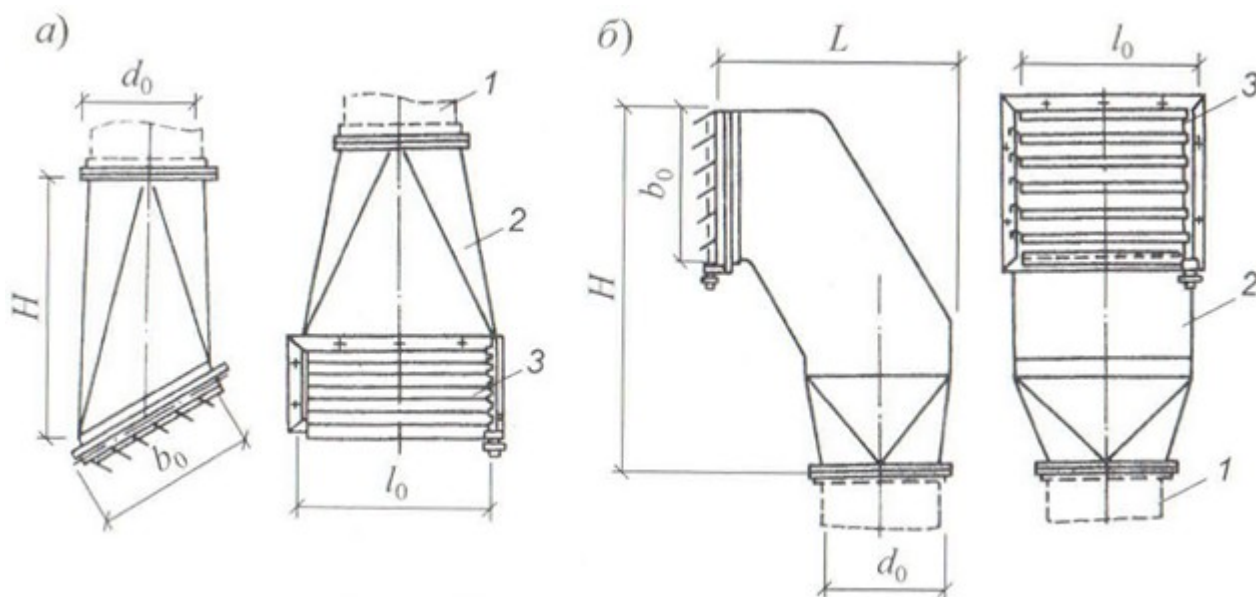


Рис. 8-1. Патрубки марки ПД для воздушного душирования с верхней и нижней подачей воздуха.

а. патрубков с верхней подачей воздуха.

1 – подвод к патрубку воздуха сверху, совмещённый с поворотным, в горизонтальной плоскости, устройством; 2 – диффузор и переход с круглого сечения на прямоугольное; 3 – направляющая струю в вертикальной плоскости решётка.

б. патрубков с нижней подачей воздуха.

1 – подвод воздуха к патрубку снизу, совмещённый с поворотным, в горизонтальной плоскости, устройством; 2 – два полуотвода, переводящих приточное отверстие патрубка в вертикальную плоскость; 3 – направляющая решётка.

По конструкции установки воздушного душирования подразделяются на *стационарные* и *передвижные*. Стационарные установки состоят из приточной камеры, оборудованной фильтром, калориферной группой и устройством для охлаждения приточного воздуха в тёплый период года. Для охлаждения

воздуха применяют камеру адиабатического увлажнения или поверхностный воздухоохладитель. Воздух к рабочим местам подаётся по сети теплоизолированных воздуховодов.

Передвижные установки состоят из «струйного» (имеющего плавный вход) осевого вентилятора №5 или №6, создающего струю повышенной дальности, до двадцати метров, установленного на подставку. На входе в вентилятор устанавливается защитная сетка, на выходе - направляющие лопасти и пневматическая форсунка для распыления воды, которая, испаряясь, осуществляет адиабатическое охлаждения воздуха в струе. Предусматривается поворот вентилятора вокруг оси станины до 60° . Станина позволяет изменять высоту оси вентилятора относительно пола.

Стационарные душирующие установки, работающие на наружном воздухе, рассчитывают на параметры Б в холодный период года и на параметры А в тёплый.

8.1.2. Формулы расчёта параметров приточных струй. Алгоритм подбора душирующих патрубков

При подборе душирующего патрубка исходят из необходимости обеспечения расчётных параметров воздуха на площадке 1×1 м в пределах поперечного сечения струи, истекающей из приточного отверстия патрубка. Поэтому на первом этапе расчёта необходимо выбрать соответствующий типоразмер душирующего патрубка, а затем выполнить необходимые расчёты приточной струи.

Ниже приводятся используемые для подбора душирующего патрубка закономерности.

Начальный участок.

В пределах начального участка скорости воздуха высоки, сохраняется «ядро» с частью скоростного поля, имевшего место в момент истечения.

Поэтому расчётная площадка 1х1 м должна располагаться поперечном сечении всей струи.

Протяжённость начального участка по скорости [4]:

$$x_{нач.уч} < m\sqrt{A_0} \quad (8.3)$$

где m – коэффициент затухания осевой скорости; A_0 – площадь приточного отверстия, m^2 .

Возрастание радиуса компактной струи в направлении движения воздушного потока определяется соотношением:

$$\frac{r_x}{r_0} = 1 + 0,125 \frac{x}{r_0} \quad (8.4)$$

Условный диаметр струи равен $\sqrt{A_0} = 2r_x = 1,42$ метра, или $r_x = 0,71$ м и $r_0 = 0,5\sqrt{A_0}$. Подставив эти значения в формулу 10.4, получим:

$$\frac{0,71}{0,5\sqrt{A_0}} = 1 + 0,125 \frac{x}{0,5\sqrt{A_0}} \quad (8.5)$$

После преобразования и решения уравнения относительно A_0 , получим требуемую площадь живого сечения патрубка, обеспечивающее на расстоянии x поперечное сечение струи в 1,42 м:

$$A_0 = 2,0164 - 0,71x + 0,0625x^2 \quad (8.6)$$

где x – расстояние, м, между душирующим насадком и рабочим местом.

По истечении средняя скорость воздуха в струе уменьшается и в пределах рабочего места должна равняться нормируемому среднему значению:

$$v_{cp} = v_0 \left(\frac{1 + 0,0425 \frac{x}{r_0} + 0,0036 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2}{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}} \right)$$

Поскольку средняя скорость на рабочем месте задаётся нормативными документами, определению подлежит скорость притока на выходе их насадка v_0 :

$$v_0 = v_{норм} \frac{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}}{1 + 0,0425 \frac{x}{r_0} + 0,0036 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2} \quad (8.7)$$

На выходе из душирующего патрубка существует разность температур $\Delta t_0 = t_0 - t_{pz}$. Подмешивание воздуха помещения уменьшает эту разность на величину Δt_{cp} :

$$\Delta t_{cp} = \Delta t_0 \frac{1 + 0,045 \frac{x}{r_0} + 0,005 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2}{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}}$$

Температура притока определится как сумма или разность Δt_{cp} нормируемой температуры на рабочем месте:

$$t_0 = t_{pm} \pm \Delta t_0 \quad (8.8)$$

$$\Delta t_0 = \Delta t_{cp} \frac{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}}{1 + 0,045 \frac{x}{r_0} + 0,005 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2} \quad (8.9)$$

Основной участок.

В пределах основного участка расчётная площадка должна располагаться в зоне прямого действия струи, радиус которой получается из уравнения изотакхи

подстановкой значения скорости на границе, равной половине осевой скорости. Радиус этой части струи определяется выражением:

$$R = 0,082x \sqrt{\ln(2m\sqrt{A_0})} \quad (8.10)$$

Диаметр «зоны прямого действия струи» на рабочем месте должен быть равен 1,42 м, чтобы в него мог вписаться квадрат 1х1 м. Подставив это значение в формулу 8.10, решая это уравнение относительно A_0 , получим:

$$A_0 = \frac{\left(e^{-0,14872110^{-27} \frac{0,466110^{28} x^2 - 0,252110^{30}}{x^2}} \right)^2}{m^2} \quad (8.11)$$

Определение требуемой скорости притока v_0 . Известной величиной является средняя скорость на рабочем месте в пределах расчётной площадки 1х1 м. Связь между средней температурой и скоростью на оси определяется через формулу, связывающую среднюю скорость в пределах расчётной площадки и осевой скоростью в её центре:

- интегрируем кривую изменения скорости в поперечном сечении струи в пределах от 0 до 0,74 м:

$$v_x = \frac{mv_0\sqrt{A_0}}{x} e^{-0,5\left(\frac{y}{0,082x}\right)^2} \quad (8.12)$$

где m – коэффициент затухания осевой скорости; v_0 – скорость воздуха на выходе из душирующего патрубка, м/с; v_0 – скорость воздуха на выходе из душирующего патубка, м/с; A_0 – площадь приточного отверстия душирующего патрубка, м²; y – расстояние от оси струи расчётной точки, м.

- интеграл функции 10.12 в пределах от 0 до 0,71 м:

$$> \text{Int}((m*v0*A0^{0.5}/x)*\exp(-0.5*(y/(0.082*x))^2), y=0..0.71)=$$

$$=\text{int}((m*v0*A0^{0.5}/x)*\exp(-0.5*(y/(0.082*x))^2), y=0..0.71);$$

$$\int_0^{0.71} \frac{mv_0 A_0^{0.5} e^{(-74.36049970 \frac{y^2}{x^2})}}{x} dy = 0.1027717593 mv_0 \sqrt{A_0} \operatorname{erf}\left(6.122509935 \frac{1}{x}\right);$$

- среднее значение скорости, м/с, в пределах расчётной площадки получается, в делении выражения на 0,71 м:

$$v_{cp,pm} = 0.14475 mv_{ось,pm} \sqrt{A_0} \operatorname{erf}\left(\frac{6.1225}{x}\right) \quad (8.13)$$

- осевая скорость в центре расчётной площадки, м/с:

$$v_{ось,pm} = \frac{v_{cp,pm}}{0.14475 m \sqrt{A_0} \operatorname{erf}\left(\frac{6.1225}{x}\right)}$$

- требуемая скорость притока, м/с:

$$v_0 = \frac{x v_{ось,pm}}{m \sqrt{A_0}} \quad (8.14)$$

Аналогично, определяем избыточную температуру в центре расчётной площадки определяется в соответствии с теоремой о среднем:

- интеграл по кривой избыточной температуры в поперечном сечении струи:

$$\Delta t = \frac{n \Delta t_0 \sqrt{A_0}}{x} e^{-0.4 \left(\frac{y}{0.082x} \right)^2}$$

$$\begin{aligned} &> \operatorname{Int}((n * dt * A_0^{0.5} / x) * \exp(-0.4 * (y / (0.082 * x))^2), y=0..0.71) = \\ &= \operatorname{int}((n * dt * A_0^{0.5} / x) * \exp(-0.4 * (y / (0.082 * x))^2), y=0..0.71); \end{aligned}$$

$$\int_0^{0.71} \frac{n dt A_0^{0.5} e^{(-59.48839976 \frac{y^2}{x^2})}}{x} dy = 0.1149023199 n dt \sqrt{A_0} \operatorname{erf}\left(5.476139362 \frac{1}{x}\right);$$

- среднее значение избыточной температуры на рабочем месте через деление интеграла на интервал интегрирования 0,71 м:

$$\Delta t_{cp,pm} = 0.16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5.47614}{x}\right) n \Delta t_{ось,pm} \sqrt{A_0}$$

- избыточная температура в центре расчётной площадки на рабочем месте:

$$\Delta t_{ось,рм} = \frac{\Delta t_{ср,рм}}{0.16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5.47614}{x}\right) n \sqrt{A_0}} \quad (8.15)$$

- избыточная температура на выходе из душирующего патрубка:

$$\Delta t_0 = \frac{x \Delta t_{ось,рм}}{n \sqrt{A_0}} \quad (8.16)$$

Нормами задаются скорость и температура на постоянных рабочих местах. Поэтому Δt_c вычисляется как разность температур на рабочем месте $t_{рм}$ и температура воздуха рабочей зоны $t_{рз}$.

Температура притока вычисляется:

- тёплый период года:

$$t_0 = t_{рм} - \Delta t_0$$

- холодный и переходный периоды года:

$$t_0 = t_{рм} + \Delta t_0$$

Пояснение. Функция *erf* содержится в справочниках математических функций и пакетах математических программ Mathcad, Mathlab, Maple, с помощью которых рекомендуется выполнять вычисления. В случае расчёта ручным способом можно принимать среднеарифметическое значение скорости как $0,75v_{ось}$.

- расход приточного воздуха, истекающего из отверстия, м³/ч;

$$L = 3600 v_{прит} A_0 \quad (8.17)$$

- расход холода для охлаждения притока в тёплый период года:

$$Q_{холода} = c_{\theta} \rho_{\theta} L (t_n^A - t_0) \quad (8.18)$$

где c_v , ρ_v – соответственно, коэффициент удельной теплоёмкости, кДж/(кг °С), и плотность, кг/м³, притока; t_n^A – температура наружного воздуха по параметрам А для тёплого периода года.

- расход теплоты на подогрев приточного воздуха в холодный период года, кДж/ч:

$$Q_{\text{теплоты}} = c_v \rho_v L (t_0 - t_n^B) \quad (8.19)$$

где t_n^B - температура наружного воздуха по параметрам Б для холодного периода года.

Пример 5-1.

Исходные данные.

Подобрать душирующие патрубки для двух рабочих мест в кузнечном цехе при расстояниях от патрубка до рабочего места 2,4 и 4,6 м. Интенсивность теплового облучения рабочих мест – 1400 Вт/м², душирование выполняется наружным воздухом. Температуры воздуха рабочей зоны для тёплого периода года +29°С, в холодного и переходного +16 °С. Наружного для холодного периода – (-27)°С, тёплого – (+24,6)°С. Степень тяжести работы - тяжёлая III. Рекомендуется адиабатическое охлаждение воздуха.

Предварительные операции.

В соответствии с нормами, при интенсивности теплового облучения в 1400 Вт/м², скорость воздуха на рабочем месте может приниматься в пределах 2...3,5 м/с, температура воздуха 16...22°С при температуре рабочей зоны + 29...÷31 °С. Принимаем в качестве расчётных значений на рабочих местах: скорость – 3,5 м/с, температуру – 22°С. Согласно I-d диаграммы, адиабатически наружный воздух можно охладить до + 18,5°С, с учётом подогрева воздуха в вентиляторе на + 0,5°С, минимальная при адиабатическом охлаждении температура воздуха на выходе из душирующего патрубка составит + 19°С.

Выписываем характеристики типоразмеров душирующих патрубков типа УДВ, пригодных для данного случая душирования.

Воздухораспределитель	Марк а	Размеры, мм			Расчётная площадь $F_0, \text{м}^2$	Коэффициенты		
		d_0	b_0	l_0		m	n	ζ
Универсальный душирующий воздухораспределитель типа УДВ	УДВ-1	450	400	400	0,17	6	4,9	2,1
	УДВ-2	630	600	600	0,38			
	УДВ-3	900	800	800	0,68			

Решение.

Вариант 1. Подбор патрубка для рабочего места, находящегося на расстоянии в 2,4 м от душирующего патрубка. Душирование производится начальным участком струи.

Начальный участок струи:

Требуемая площадь приточного отверстия:

$$A_{0,2} = 2,0164 - 0,71x + 0,0625x^2 = 2,0164 - 0,71 \cdot 2,4 + 0,0625 \cdot 2,4^2 = 0,672$$

Принимаем к установке патрубок УВД-3 с площадью приточного отверстия 0,68 м².

Проверим длину начального участка:

$$x = m\sqrt{A_0} = 6 \cdot \sqrt{0,68} = 4,948 > 2,4 \text{ м}$$

Рабочее место находится в пределах начального участка струи.

Проверим диаметр струи на рабочем месте:

- условный диаметр струи: $r_{ycl} = \sqrt{A_0} = \sqrt{0,68} = 0,825 \text{ м}$
- условный радиус струи на рабочем месте:

$$r_x = r_0 \left(1 + 0,125 \frac{x}{r_0} \right) = 0,825 \left(1 + 0,125 \cdot \frac{2,4}{0,825} \right) = 1,125 > 0,71 \text{ м}$$

Площадка 1х1 м полностью размещается в зоне прямого действия струи.

- Требуемая скорость притока:

$$v_0 = v_{cp} \frac{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}}{1 + 0,0425 \frac{x}{r_0} + 0,0036 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2} = 3,5 \frac{1 + 0,125 \frac{2,4}{0,825}}{1 + 0,0425 \frac{2,4}{0,825} + 0,0036 \left(\frac{2,4}{0,825} \right)^2} = 4,195 \text{ м / с}$$

Требуемая температура притока:

Нормируемый перепад температур на рабочем месте:

$$\Delta t_{cp} = t_{cp,pm} - t_{pz} = 22 - 29 = - 7^\circ C$$

$$\Delta t_0 = \Delta t_{cp} \frac{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}}{1 + 0,045 \frac{x}{r_0} + 0,005 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2} = 7,0 \frac{1 + 0,125 \frac{2,4}{0,825}}{1 + 0,045 \frac{2,4}{0,825} + 0,005 \left(\frac{2,4}{0,825} \right)^2} = - 8,14^\circ C$$

Температура притока: $t_0 = t_{pz} - \Delta t_0 = 22 - 8,14 = 20,86^\circ C$.

Вывод: при душировании начальным участком возможно применение адиабатического охлаждения воздуха.

Расход воздуха: $L = 3600 v_0 A_0 = 3600 \cdot 4,2 \cdot 0,68 = 10281 \text{ м}^3 / \text{ч}$.

Искусственный холод не требуется.

В холодный период года расход по притоку сохраняется, но температура притока составит:

$$t_0 = t_{pm} + \Delta t_0 = 16 + 8,14 = 24,14^\circ C$$

Расход теплоты, кДж/ч:

$$Q = c_v \rho L (t_0 + t_n) = 1,005 \cdot 1,2 \cdot (24,14 + 27) = 646477 \text{ кДж / ч}$$

Вариант 2. Подбор патрубка для рабочего места, находящегося на расстоянии в 4,6 м от душирующего патрубка. Душирование выполняется основным участком струи.

$$A_0 = \frac{\left(e^{-0,14872110^{-27} \frac{0,466110^{28} x^2 - 0,252110^{30}}{x^2}} \right)^2}{m^2} = \frac{\left(e^{-0,14872110^{-12} \frac{0,466110^{28} 4,6^2 - 0,252110^{30}}{4,6^2}} \right)}{6^2} = 0,24 \text{ м}^2$$

Принимаем к установке душирующий патрубок УДВ-2, $A_0 = 0,38 \text{ м}^2$

Проверим длину начального участка: $x = m\sqrt{A_0} = 6 \cdot \sqrt{0,38} = 3,7 \text{ м}$

Душирование патрубком УВД-2 происходит основным участком струи.

Скорость в центре расчётной площадки:

$$v_{ось,рм} = \frac{v_{ср,рм}}{0,14475 \operatorname{erf}\left(\frac{6,1225}{x}\right) \cdot x} = \frac{3,5}{0,14475 \cdot 0,94 \cdot 4,6} = 5,592 \text{ м / с}$$

Скорость притока:

$$v_0 = \frac{xv_{ось,рм}}{m\sqrt{A_0}} = \frac{4,6 \cdot 5,592}{6\sqrt{0,38}} = 6,954 \text{ м / с}$$

Расход воздуха душирующим патрубком:

$$L = 3600v_0A_0 = 3600 \cdot 6,954 \cdot 0,38 = 9513 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Тёплый период года.

Избыточная температура в центре расчётной площадки:

- средняя избыточная температура на рабочем месте:

$$\Delta t_{ср,рм} = t_{рм} - t_{рз} = 29^\circ - 22^\circ = -7^\circ \text{ C}$$

- разность температур в центре расчётной площадки и рабочей зоны:

$$\Delta t_{ось,рм} = \frac{\Delta t_{ср,рм}}{0,16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5,47614}{x}\right) \cdot x} = \frac{-7}{0,16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5,47614}{4,6}\right) \cdot 4,6} = -10,36^\circ \text{ C}$$

Избыточная температура на выходе из насадка:

$$\Delta t_0 = \frac{x\Delta t_{ось,рм}}{n\sqrt{A_0}} = \frac{4,6 \cdot (-10,36)}{4,9\sqrt{0,38}} = -19,84^\circ \text{ C}$$

Температура на выходе из насадка: $t_0 = t_{рз} + \Delta t_0 = 29 - 19,84 = 9,16^\circ \text{ C}$

Расход холода:

$$Q = c_{\text{в}} \rho L (t_{\text{н}} - t_0) = 1,005 \cdot 1,2 \cdot 9513 \cdot (24,6 - 9,16) = 130560 \text{ кДж / ч}$$

Холодный период года.

Избыточная температура в центре расчётной площадки:

- средняя избыточная температура на рабочем месте:

$$\Delta t_{ср,рм} = 22^\circ - 16^\circ = 6^\circ \text{ C}$$

- разность температур в центре расчётной площадки и рабочей зоны:

$$\Delta t_{\text{осб, рм}} = \frac{\Delta t_{\text{ср, рм}}}{0,16183 \operatorname{erf} \left(\frac{5,47614}{x} \right) x} = \frac{6}{0,16183 \operatorname{erf} \left(\frac{5,47614}{4,6} \right) \cdot 4,6} = 8,88^{\circ}\text{C}$$

Избыточная температура на выходе из насадка:

$$\Delta t_0 = \frac{x \Delta t_{\text{осб, рм}}}{n \sqrt{A_0}} = \frac{4,6 \cdot 8,88}{4,9 \sqrt{0,38}} = 13,52^{\circ}\text{C}$$

Температура на выходе из насадка: $t_0 = t_{\text{рз}} + \Delta t_0 = 16 + 13,52 = 29,52^{\circ}\text{C}$

Расход теплоты:

$$Q = c_{\text{в}} \rho L (t_{\text{н}} - t_0) = 1,005 \cdot 1,2 \cdot 9513 \cdot (29,52 + 27) = 648435 \text{ кДж / ч}$$

Воздушное душирование рабочих мест с тепловым облучением с интенсивностью менее 140 Вт/м². Этот вид душирования приходится устраивать при размещении рабочих мест вблизи нагретых поверхностей, температура поверхностей которых может находиться в пределах санитарных норм, но их размеры достаточно велики. В этом случае благодаря значительной величине коэффициента облучённости интенсивность теплового потока может оказаться существенной. Увеличение конвективной и лучистой теплоотдачи организма достигается повышением подвижности воздуха на рабочем месте путём соответствующей организации приточной вентиляции. Расчётная подвижность воздуха на рабочем месте может быть определена из условий комфортности.

Балансовое уравнение теплообмена человека записывается как:

$$Q_{\text{ч}} + \alpha_{\text{к}} (t_{\text{р.з.}} - t_{\text{ч}}) F_{\text{ч.к.}} + c_{\text{пр.1}} \varphi_{\text{ч-п.}} b_{\text{ч-п.}} (t_{\text{п.}} - t_{\text{ч}}) F_{\text{ч.л.}} + c_{\text{пр.2}} (1 - \varphi_{\text{ч-п.}}) b_{\text{ч-в.п.}} (t_{\text{в.п.}} - t_{\text{ч}}) F_{\text{ч.л.}} = 0 \quad (8.20)$$

$Q_{\text{ч}}$ - полные тепловые выделения человека, соответствующие данной степени тяжести работы; $c_{\text{пр.1}}$ и $c_{\text{пр.2}}$ приведенные коэффициенты излучения систем «человек – нагретая поверхность» и «человек – поверхности прочих ограждений помещения»; $b_{\text{ч-п}}$ и $b_{\text{ч-в.п}}$ – температурный коэффициент,

учитывающий переход от четвёртых степеней абсолютных температур в К к разности температур в $^{\circ}\text{C}$; $\varphi_{\text{ч.п.}}$ - коэффициент облучённости «человек – нагретая поверхность»; $t_{\text{п.}}$ – температура нагретой поверхности, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{р.з.}}$ – температура воздуха в рабочей зоне, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.п.}}$ – температура внутренних поверхностей прочих ограждений помещений, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{ч.}}$ – температура поверхности одетого человека, для холодного периода принимается равной $+ 25^{\circ}\text{C}$; $F_{\text{ч.к.}}$ – поверхность конвективного теплообмена человека, для зимнего периода принимается равной $1,9 \text{ м}^2$; $F_{\text{ч.л.}}$ – поверхность лучистого теплообмена, принимается равной $1,7 \text{ м}^2$.

Балансовое уравнение решается относительно $\alpha_{\text{к.}}$. Зависимость между скоростью воздушного потока и коэффициентом конвективного теплообмена определяется выражением:

$$\alpha_{\text{к.}} = 10,29 \sqrt{V} \quad (8.21)$$

где v – скорость воздушного потока, м/с.; $\alpha_{\text{к.}}$ - коэффициент конвективного теплообмена, $\text{Вт/м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ориентировочное значение скорости на рабочем месте, которое компенсировало бы получаемое тепловое облучение:

$$v = 0,00944 \alpha_{\text{к.}}^2 \quad (8.22)$$

8.2. ВОЗДУШНЫЕ ЗАВЕСЫ ШИБЕРНОГО ТИПА

8.2.1. Назначение воздушных завес, конструкции, классификация, расчётные параметры подаваемого воздуха.

Конструкции воздушных завес шиберующего типа.

Принципиальная схема и основные элементы воздушной завесы шиберующего типа традиционной конструкции показаны на рис.8-2. При необходимости подогрева подаваемого в завесу воздуха, дополнительно, устанавливают калориферы.

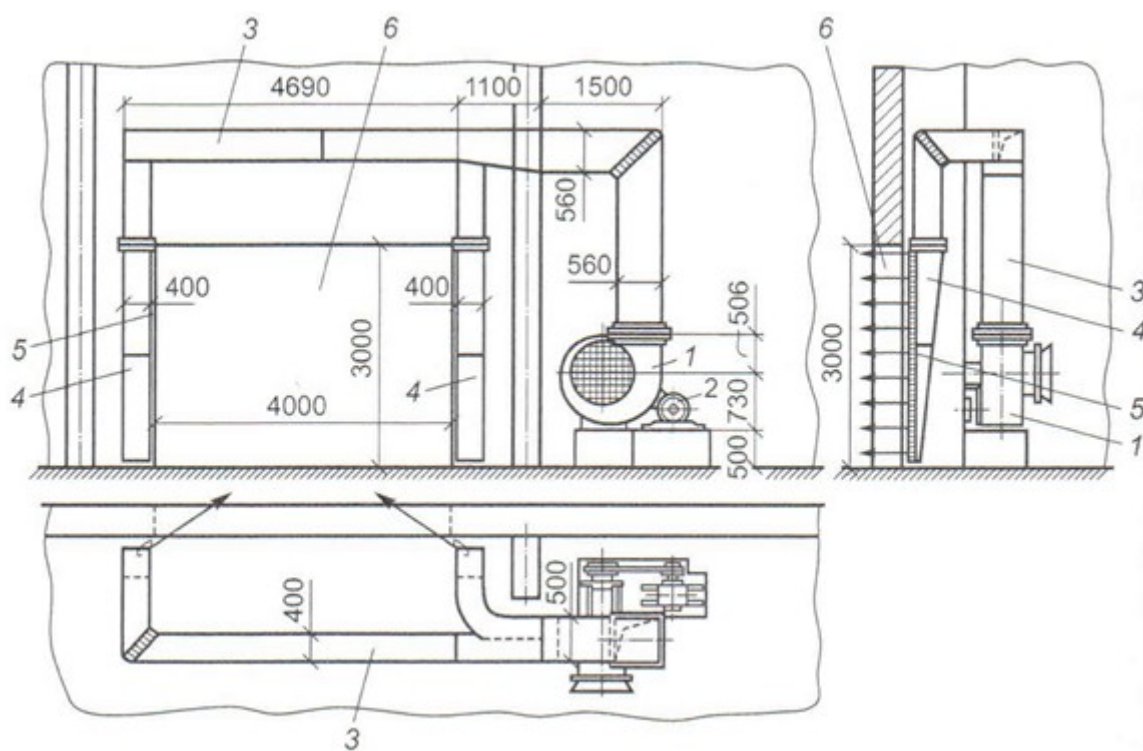


Рис.8-2. Принципиальная схема воздушной завесы с двухсторонней подачей воздуха

1 – воздуховод; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – воздуховод равномерной раздачи; 5 – целевой насадок; 6 – проём в ограждении.

Воздушные завесы классифицируют по нескольким признакам:

1. По режиму работы:

- периодического действия (защищают периодически открываемые проемы);
- постоянного действия (защищают постоянно открытые проемы).

2. По направлению движения воздуха в струе:

- «снизу вверх»; подача воздуха через горизонтальную щель, расположенную внизу проема (рис.8-3а);
- с горизонтальным направлением струи, одной или направленными навстречу друг другу двух струй; подача через один или два вертикальных воздуховода у кромок проёма;
- «сверху вниз»; подача воздуха через горизонтальную щель у верхней кромки проема (рис.8-3г).

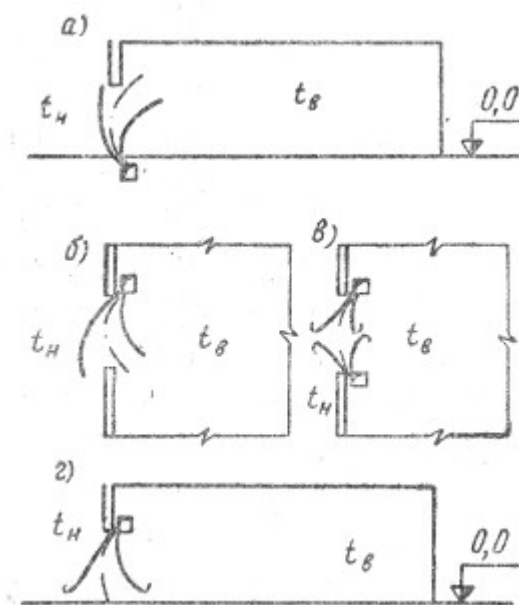


Рис.8-3. Схемы воздушных завес с различным направлением воздушной струи

а – направление струи снизу вверх; б – боковая односторонняя завеса (план); в – боковая двухсторонняя завеса (план); г – направление струи сверху вниз

3. По месту воздухозабора и температуре подаваемого воздуха:

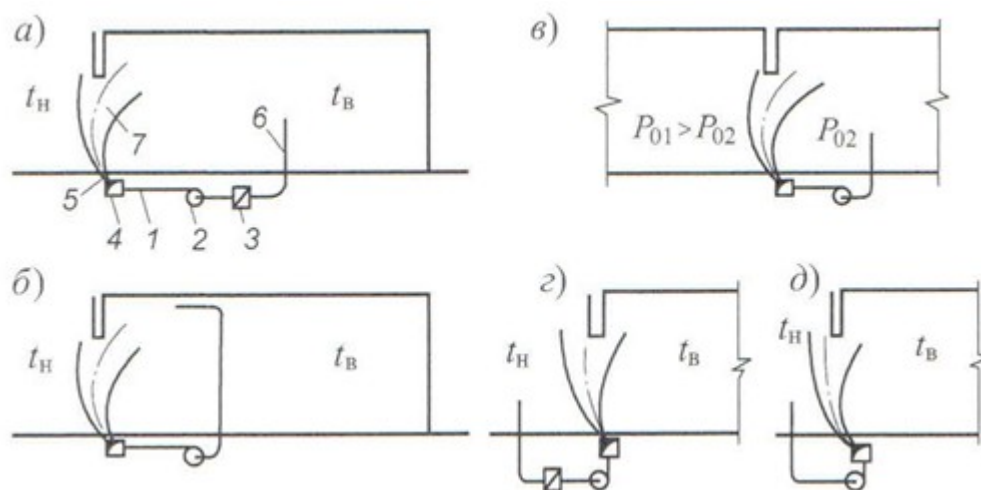


Рис.8-4.Схемы воздушных завес с различными способами организации воздухозабора и различной температурой подаваемого воздуха

1–5 – см. подписи к рис.11.1; 6 – воздухозабор; 7 – струя завесы; p_{01} – избыточное давление в первом помещении; p_{02} – избыточное давление во втором помещении

- с внутренним воздухозабором и подогревом воздуха завесы (рис.8-4а) устраивают:

- 1.в помещениях с постоянными рабочими местами вблизи защищаемых завесами ворот в наружных стенах;
- 2.помещениях с повышенными требованиями к воздушной среде;
- 3.для защиты технологических проёмов в наружных стенах.

- с внутренним воздухозабором без подогрева подаваемого воздуха (рис.8-4б) устраивают:

- 1.у наружных проёмов в наружных ограждениях помещений, в которых допускается некоторое периодическое понижение температуры;
- 2.в помещениях со значительными теплоизбытками;
- 3.у проёмов во внутренних ограждениях.

- с наружным воздухозабором и подогревом подаваемого воздуха (рис.8-4в) устраивают воздушные завесы постоянного действия, используемые в качестве приточных вентиляционных установок:

- с наружным воздухозабором без подогрева подаваемого воздуха (рис.8-4г) у проёмов помещений со значительными теплоизбытками.

Наиболее широко применяются воздушные завесы с боковой двухсторонней подачей воздуха. Завесы с подачей воздуха сверху вниз устраивают у проемов во внутренних ограждениях (например, у ворот холодильных камер многоэтажных холодильников для хранения продуктов питания). Воздушные завесы с нижней подачей ранее были популярны и устраивались в одноэтажных производственных зданиях, но сейчас практически не применяются по причине возможных засоров щели и затопления осадками приточного воздуховода – канала, устраиваемого в толще земли.

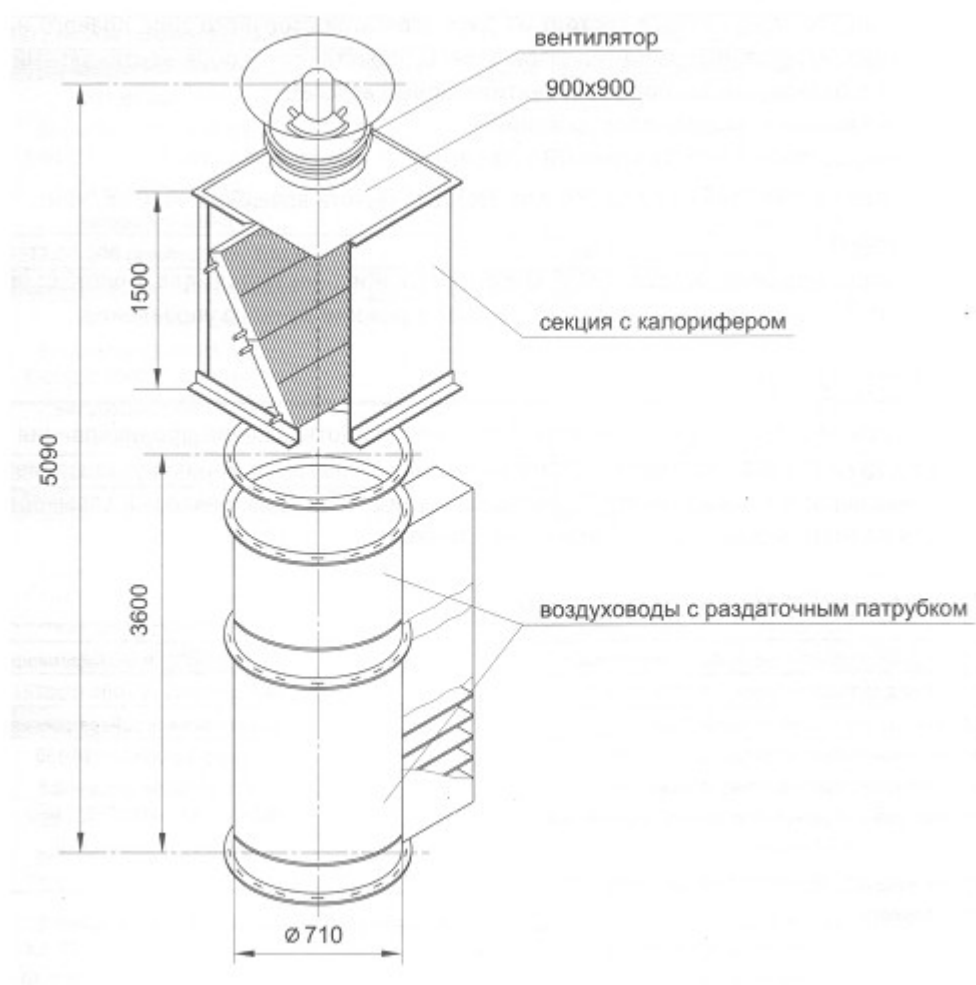


Рис.8-5. Конструкция несущего стояка воздушной завесы заводского изготовления

Существенным недостатком завес с односторонней подачей воздуха является потеря ими защитных функций при проезде через ворота транспорта,

перекрывающего струю. Вблизи транспорта образуется незащищённое струёй пространство, через которое наружный воздух и поступает в помещение.

Воздушные завесы традиционной конструкции (рис.8-2) обладают определённой степенью индивидуальности. Агрегаты монтируются либо на вентплощадках над проёмом обслуживаемых ими ворот, что приводит к повышенному расходу металла, либо устанавливаются на пол помещения вблизи ворот, занимая полезную площадь цеха. Эти особенности конструктивного исполнения мешают наладить их серийное производство.

На смену им пришли серийно изготавливаемые завесы с двухсторонней подачей воздуха, состоящие из двух стояков (рис.8-5). Основанием для монтажа калорифера и вентилятора служит воздухораспределительный короб усиленной конструкции. Воздухозабор осуществляется из помещения (рис.8-6). Воздухораспределительные короба равномерной раздачи размещают таким образом, чтобы воздушная струя не прерывалась открытыми створками ворот.

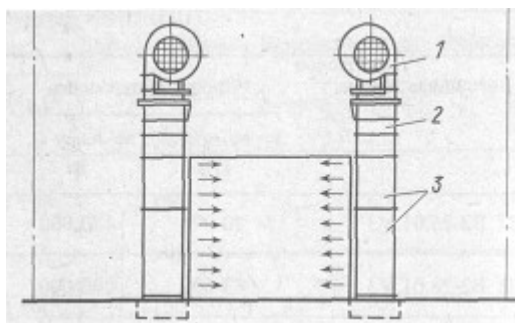


Рис.8-6. Двухсторонняя, серийно-изготавливаемая воздушно-тепловая завеса

1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – воздухораспределительный короб

Устройство воздушных завес обязательно:

1. у постоянно открытых проемов в наружных стенах помещений, у ворот и проемов в наружных стенах, не имеющих тамбуров и открывающихся более пяти раз или не менее чем на 40 мин в смену в районах с расчетной температурой наружного воздуха по параметрам Б минус 15 °С и ниже;

2. у наружных дверей, ворот и проемов помещений с мокрым режимом;

3. при обосновании, у проемов во внутренних стенах и перегородках производственных помещений для предотвращения перетекания воздуха из

одного помещения в другое;

4.при обосновании, по заданию на проектирование, по специальным технологическим требованиям, - у ворот, дверей и иных проемов помещений с кондиционированием воздуха.

Теплоту, поступающую от воздушных завес периодического действия, не принято учитывать в тепловом балансе здания.

Эффективность работы воздушной завесы зависит от угла между вектором скорости и плоскостью проёма (рис.8-7).

Параметры наружного воздуха для расчёта воздушных завес – параметры «Б». Нормы ограничивают расчётную скорость ветра величиной 5 м/с, если расчетная скорость ветра по климатологическим данным в районе постройки превышает это значение.

Если расчётная скорость ветра при параметрах Б меньше его скорости по параметрам А, производят проверку достаточности тепловой мощности воздухонагревателей, рассчитанных на параметры Б, для работы завесы в этих условиях.

Скорость, м/с, выпуска воздуха из щелей приточных воздуховодов воздушно-тепловых завес шиберующего типа следует принимать не более:

8 - у наружных дверей;

25 - у ворот и технологических проемов.

Температуру воздуха, подаваемого воздушно-тепловыми завесами, принимают не выше 50°C у наружных дверей и не выше 70°C у наружных ворот и проемов.

Расчетную температуру, °С, смеси наружного и воздуха завесы, поступающего в помещение следует принимать не менее:

12 - для производственных помещений при легкой работе и работе средней тяжести;

5 - для производственных помещений при тяжелой работе и отсутствии постоянных рабочих мест на расстоянии 6 м и менее от наружных ворот и проемов.

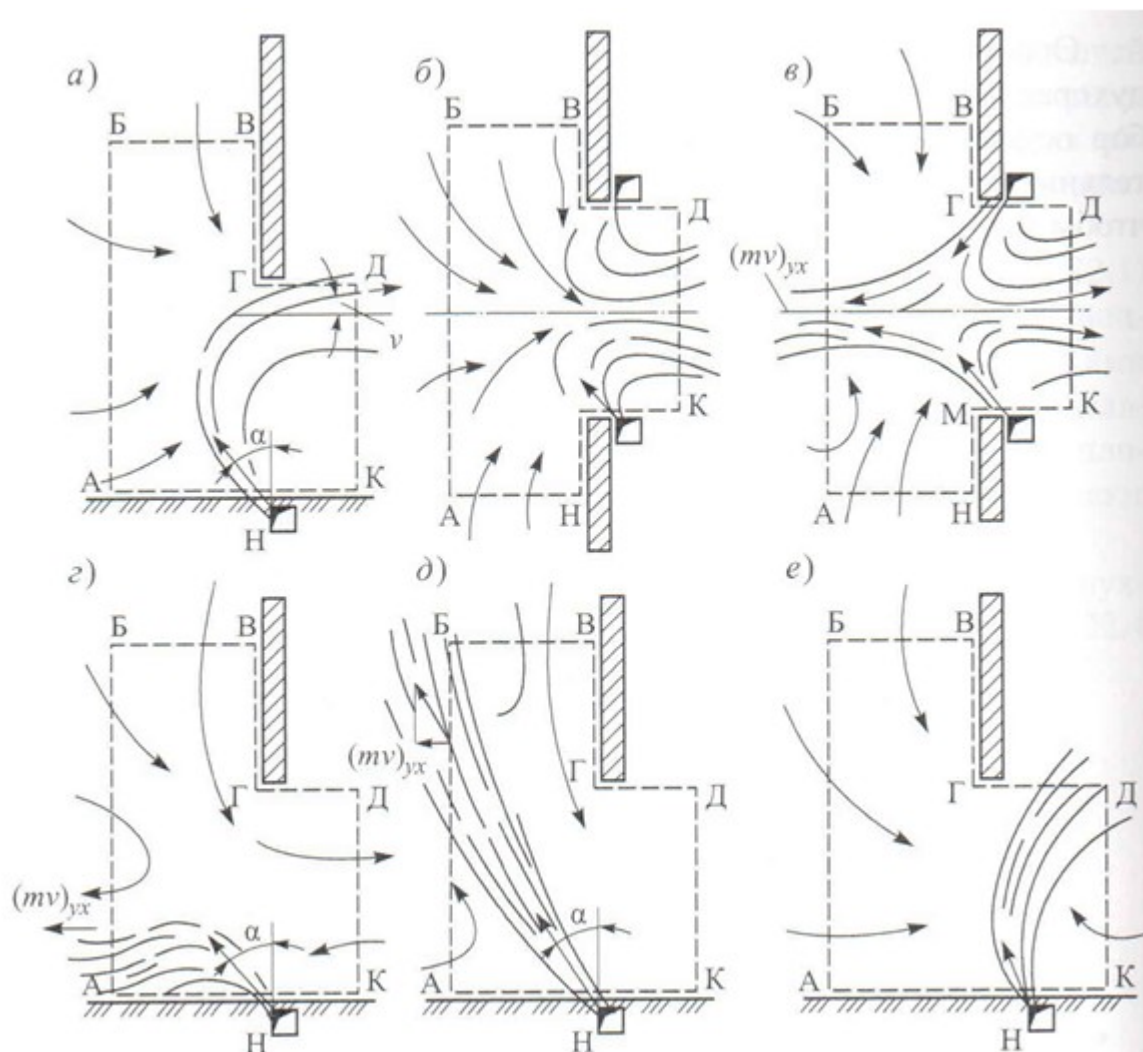


Рис.8-7. Траектории струй воздушных завес в зависимости от угла между вектором скорости и плоскостью проёма

На рис. 8-7, в верхнем ряду представлены траектории струй с правильно выбранными углами наклона вектора скорости к плоскости проёма и правильно выполненными расчётами, в нижнем ряду – угол наклона выбран, а расчёт выполнены неверно, что приводит к прорыву наружного воздуха через верхнюю часть проёма. Угол наклона и относительный расход воздуха имеют предельные значения, превышения которых приведёт к неудовлетворительной работе завесы. Предельные значения этих величин представлены в таблице 8.3.

Таблица 8.3.

Предельные значения относительных расходов воздуха $G_{\text{завесы}}/G_{\text{проёма}}$, до которых наблюдается нормальная работа завесы при указанных в таблице значениях углов наклона вектора скорости к плоскости проёма

Отношение $A_{\text{щели}}/A_{\text{проёма}}$	Угол между вектором скорости струи и плоскостью проёма α			
	0	30	45	60
	Предельные значения отношений расходов воздуха, подаваемых в завесу и проникающих через проём в здание			
1/20	0,3	0,86	1,5	2,8
1/30	0,25	0,7	1,2	2,3
1/40	-	0,6	1,0	2,0

Примечание. $G_{\text{завесы}}$ – расход воздуха, кг/ч, подаваемого через щель приточного воздуховода завесы; $G_{\text{проёма}}$ – расход воздуха, кг/ч, проникающего в здание через проём при работающей щелевой завесе.

Действие на здание ветра, наличие разности температур воздуха снаружи и внутри приводит к наличию разностей давления в помещениях здания и снаружи. В помещениях 1-го этажа, как правило, давление воздуха меньше наружного, при открывании наружных дверей и ворот в него устремляется поток наружного, холодного в зимний период, воздуха в количестве, определяемом известной формулой: $G_{\text{пр}} = 3600 \mu A_{\text{проёма}} \sqrt{2 \Delta p \rho_{\text{нар}}}$, где μ – коэффициент расхода проёма, учитывающий особенности процесса пересечения воздушным потоком проёма, зависит от варианта оформления кромок (рис. 8-9); $G_{\text{пр}}$ – расход воздуха через проём, кг/ч; Δp – среднее значение разности давлений, приложенных к проёму, Па.

В производственных зданиях, как правило, применяют *шиберные* завесы, полностью перекрывающий плоской струёй защищаемый проём. Обычный вариант оформления кромок проёма соответствует рис. 8-9а и 8-9б.

Как следует из рис.8-7, воздух плоской струи разграничивает наружный и тёплый воздух помещения, смешиваясь с ними. Повышение температуры поступающего через проём в здание воздуха является следствием смешивания наружного и воздуха помещения с воздухом, подаваемого воздушной завесой. В помещениях со значительными теплоизбытками воздух струи подогревать не принято. Наружный воздух подогревается исключительно смешиванием поступившего через проём холодного воздуха с воздухом помещения.

На эффективность работы завесы влияет направление ветра, воздействующего на проём. Особенно опасен боковой, параллельный плоскости стены ветер, который может «сдуть» струю завесы, несколько выходящую за пределы плоскости отверстия.

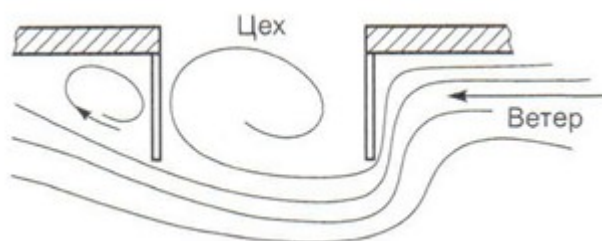


Рис.8-8. Защита завесы от действия ветра, параллельного с фасадом направления открывающимися наружу створками распашных ворот

При распашных воротах необходимая защита «автоматически» обеспечивается открывающимися наружу створками, одновременно увеличивая аэродинамическое сопротивление проёма. В случае иных конструктивных исполнений ворот приходится устраивать специальные ограждения по типу рис.8-8.

Сопротивление проходу воздуха через проём складывается из двух составляющих: сопротивления проёма и потерь динамического давления за счёт смешивания воздуха поступающего в помещение потока и струи.

Сопротивление проёма зависит от оформления кромок проёма, что проиллюстрировано рис. 8-9.

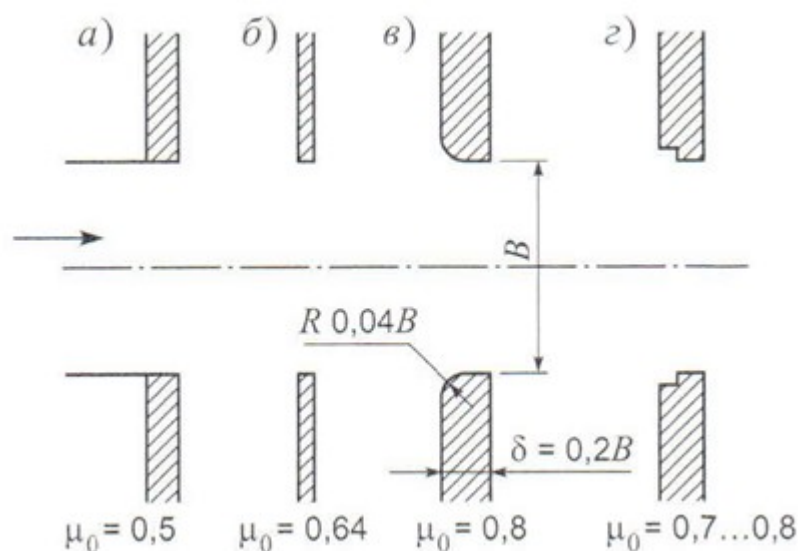


Рис. 8-9. Варианты оформления кромок ворот и коэффициенты расхода проёмов, не защищённых воздушной завесой

а – проём с распахнутыми створками ворот, наиболее распространённый; б – проём в тонкой стенке; в – проём с закруглёнными входными кромками; г – проём с конструктивными отступами

8.2.2. Расчёт воздушных завес шиберующего типа

Если не защищать проём воздушной завесой, расход воздуха через него можно определить, как:

$$G_{пр} = 3600 \mu_o A_{проёма} \sqrt{2 \Delta p \rho_{нар}} \quad (8.23)$$

где μ_o – коэффициент расхода проёма, учитывающий особенности оформления кромок проёма; $G_{пр}$ – расход воздуха через проём, кг/ч; Δp – разность давлений, приложенная к проёму, Па.

В случае защиты проёма шиберующей завесой с забором воздуха для струи снаружи, количество проникающего в здание воздуха сократится до $G_{пр1}$,

кг/ч. В формуле это учитывается условным коэффициентом расхода μ , меньшим по величине, нежели μ_0 .

$$G_{np1} = 3600 \mu A_{\text{проёма}} \sqrt{2 \Delta p \rho_{\text{нар}}} \quad (8.24)$$

При заборе воздуха для воздушной завесы G_z , кг/ч, из помещения приток через проём увеличится на величину отбора воздуха из него.

$$G_{np2} = G_{np1} + G_z \quad (8.25)$$

В практике инженерных расчётов принято определять количество воздуха, подаваемое в воздушную завесу как долю от расхода воздуха в проёме дверей или ворот при отсутствии работающей воздушной завесы q .

$$q = \frac{G_{\text{завесы}}}{G_{np-i}} \quad (8.26)$$

$G_{\text{завесы}}$ - расход воздуха, подаваемого в воздушную завесу, кг/ч; G_{np-i} - количество воздуха, проникающего через проём, кг/ч, где i - индекс, уточняющий место воздухозабора, из помещения или снаружи.

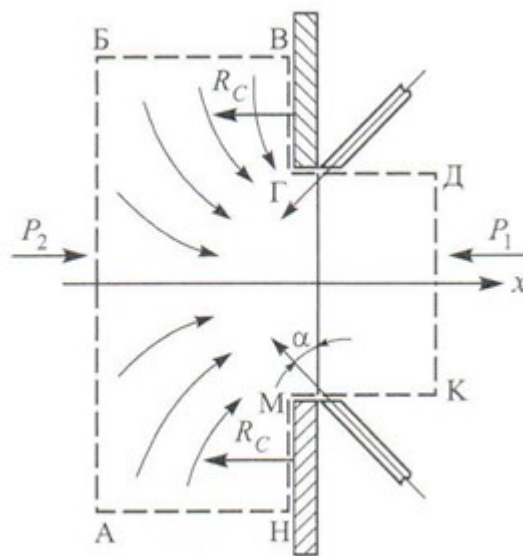


Рис.8-10. К определению соотношений между q , μ_0 и μ

Для получения зависимости, связывающей q , μ_0 и μ , проводится контрольная поверхность АБВГДКМН (рис.8-10): снаружи здания на таком расстоянии от ворот, где скорости движения воздуха близки нулю (без учёта действия ветра), а внутри здания – через сжатое сечение струи воздуха, проходящего через ворота. Количество движения по плоскости НАБВ равно нулю, а на плоскости ДК:

$$A_{\text{в}} \mu \psi \cdot v_{\text{сж}} \rho_{\text{см}} \cos \vartheta$$

на плоскости МК (при двухсторонней завесе и на плоскости ГД):

$$- A_{\text{щ}} v_3 \rho \sin \alpha$$

Знак «минус» означает, что проекция скорости направлена навстречу оси x .

Действующие силы: сила давления на плоскость АБ, площадью F равна FP_2 , сила реакции стен ВГ и МН – $(F - F_a)$ и сила давления на плоскость ДК – $(-F_6P_1)$.

Реакция горизонтальной поверхности земли и объёмные силы не учитываются, так как проекции этих сил на ось x равны нулю. Приравнивая приращения количества движения действующим силам и пренебрегая силами трения, получим:

$$A_{\text{в}} \mu \psi v_{\text{сж}}^2 \cos \vartheta + A_{\text{щ}} v_3 \sin \alpha = P_2 A - R(A - A_{\text{в}}) - P_1 A_{\text{в}} \quad (8.27)$$

где - $A_{\text{в}}$ - площадь ворот;

$A_{\text{щ}}$ - суммарная площадь щелей для выхода плоской струи завесы;

A – площадь плоскости АБ;

μ - коэффициент расхода воздуха через ворота, защищённые завесой;

ψ - поправочный коэффициент на количество движения при неравномерном поле скоростей;

$v_{\text{сж}}$ – средняя скорость в сжатом сечении над воротами;

v_3 - начальная скорость выхода из щели воздухораспределителя воздушной завесы;

ρ_3 – плотность воздуха, выходящего из щели завесы;

$\rho_{см}$ – плотность смеси наружного и воздуха завесы;

R – среднее реактивное давление стены в пределах плоскостей ВГ и МН;

α – угол между начальным направлением струи и плоскостью ворот;

ϑ – угол между направлением вектора оси струи $v_{сж}$ и осью x .

В дальнейших преобразованиях учитывается, что соотношение $\psi \cos \vartheta \approx 1$

Уравнение Бернулли для сечений АБ и ДК:

$$P_2 = P_1 + \frac{v_{сж}^2}{2} \rho_{см} (\varphi + \zeta_{см.}) \quad (8.28)$$

где φ – коэффициент, учитывающий неравномерность поля скоростей;

$\zeta_{см.}$ – коэффициент, учитывающий потерю энергии при смешивании потоков наружного воздуха и воздуха завесы.

Решая совместно уравнения (8.27) и (8.28) и поделив обе части равенства на $A_8 v_{сж}^2 \rho_{сж}$ получим:

$$\mu + \frac{A_{щ} v_3 \rho_3}{A_2 v_{сж}^2 \rho_{см}} \sin \alpha = \frac{\varphi + \zeta_{см.}}{2} + \frac{P_2 - R}{A_2 v_{сж}^2} (A - A_8) \quad (8.29)$$

R – реактивное давление стены в районе проёма по абсолютному значению меньше давления в окружающей атмосфере, что объясняется значительными по величине скоростями движения воздуха вдоль стены около защищаемых завесой ворот.

Величины φ , R , входящие в правую часть уравнения (8.29), не могут быть найдены теоретически и определяются экспериментально.

Проведя преобразования уравнения (8.29), введя некоторые константы, полученные экспериментально, получим:

$$q^2 \mu^2 \frac{A_{\text{в}} \rho_{\text{см}}}{A_{\text{щ}} \rho_3} \sin \alpha + \mu - \mu_0 = 0$$

Решая которое относительно μ и беря положительное значение корня, получим:

$$\mu = \frac{\sqrt{1 + 4\mu_0 q^2 D} - 1}{2q^2 D} \quad (8.30)$$

$$\text{где } D = \frac{A_{\text{в}} \rho_{\text{см}}}{A_{\text{щ}} \rho_3} \sin \alpha$$

Уравнение (8.30) может применяться для вычисления μ . Из него можно и получить расход в воздушной завесе, позволяющий получить требуемое значение μ :

$$q = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{\mu_0 - \mu}{\frac{F_{\text{в.}} \rho_{\text{см.}} \sin \alpha}{F_{\text{щ.}} \rho_3}}} = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{\mu_0 - \mu}{D}} \quad (8.31)$$

$A_{\text{в}}$ – площадь защищаемого завесой проёма, м²; $A_{\text{щ}}$ – площадь приточной щели, м²; $\rho_{\text{см}}$ – плотность воздуха в завесе после смешивания с наружным и воздухом помещения; ρ_3 – плотность воздуха, подаваемого в завесу; α – угол между осью струи и плоскостью защищаемого проёма.

При движении вдоль проёма струя подсасывает и наружный, и воздух помещения. Если принять $q = 1$, теоретически, наружный воздух может в помещение и не поступать.

Общий расход, подаваемый завесой шиберного типа, определяется по формуле:

$$G_3 = 3600 q \mu A_{\text{в}} \sqrt{\Delta p \rho_{\text{см}}} \quad (8.32)$$

Формула справедлива для помещений, в которых приток полностью компенсируется вытяжкой.

Для аэродинамического расчёта величину q следует выбирать с учётом особенностей устройства забора воздуха для струи: из помещения или снаружи. В случае внутреннего воздухозабора количество поступающего в помещение воздуха больше, а величина q меньше. Обычно q принимается в пределах от 0,5 до 1.

В справочной литературе приводится инженерный способ определения Δp . Более точно расчётная разность давлений может быть вычислена на основе закономерностей неорганизованного воздухообмена. Для однопролётного цеха такая программа приведена в приложении к учебнику.

Если имеет место дисбаланс $\Delta G_{\text{мех}}$ между притоком и вытяжкой, общий расход, подаваемый воздушной завесой, предлагается определять, как:

- при заборе воздуха для воздушной завесы из обслуживаемого помещения:

$$G_z = \Delta G_{\text{мех}} \cdot \frac{q}{1-q} \cdot \frac{\mu A_B}{\Sigma(\mu_{\text{п}}) + \Sigma(\mu A_B)} \quad (8.33)$$

- при заборе воздуха для завесы снаружи:

$$G_z = \Delta G_{\text{мех}} \cdot q \cdot \frac{\mu A_B}{\Sigma(\mu_{\text{п}}) + \Sigma(\mu A_B)} \quad (8.34)$$

$\Sigma(\mu_{\text{п}} A_{\text{п}})$ – сумма произведений коэффициентов расхода открытых приточных проёмов и их площадей, м^2 ; $\Sigma(\mu A)$ – сумма произведений коэффициентов расхода одновременно открытых проёмов, оборудованных воздушными завесами и их площадей, м^2 .

Примечание. Величина $\Delta G_{\text{мех}}$ не должна превышать однократного воздухообмена.

Формулы 8.30 – 8.33 справедливы для рационально устроенных воздушных завес.

В справочной литературе приводится таблица коэффициентов расхода проёмов μ завес шиберного типа для боковой и завесы с нижней подачей воздуха. Данные приведены для ворот с раздвижными и распашными створками и относительной площади $\bar{F} = \frac{F_{\text{ворот}}}{F_{\text{щели}}}$, равной 10, 20, 30, 40.

Требуемая температура воздуха, подаваемого завесой, определяется как:

$$t_z = t_n + \frac{t_{\text{смеси}} - t_n}{q(1 - \bar{Q})} \quad (8.35)$$

где $\bar{Q}$ - отношение теплоты, теряемое с воздухом, уходящим через открытый проём наружу к тепловой мощности завесы; принимается по графику в зависимости от отношения площади проёма к площади щели.

Требуемая тепловая мощность калориферов воздушно-тепловой завесы:

$$Q_z = 0,278 \cdot c_{\text{возд}} (t_z - t_{\text{нач}}) \quad (8.36)$$

$t_{\text{нач}}$ – температура воздуха на отметке входа воздуха в калорифер или всасывающее отверстие вентилятора.

Глава 9. Особенности вентиляции и отопления различных цехов промышленных зданий

9.1. Особенности вентиляции сборочно – сварочных цехов

9.1.1. Особенности вентиляции сборочно – сварочных цехов. В сборочно – сварочных цехах производятся следующие операции, сопровождающиеся выделениями значительного количества вредностей: газовая и плазменная резка; воздушно – дуговая строжка поверхности металлических изделий; ручная сварка стали электродами с толстой обмазкой; полуавтоматическая сварка сварочной проволокой, порошковой проволокой сварка тонколистовой стали, а также сварка под флюсом.

Вредными выделениями является пыль, содержащая аэрозоли различных химических элементов и соединений.

Примеры вредных выделений, содержащихся в пыли, выделяющейся при различных видах обработки металла:

- Газовая резка стали: Mn, CO, NO₂;
- Газовая резка сплавов титана: CO, NO₂;
- Плазменная резка сталей и сплавов АМГ (алюмине-магниевого): CO, NO₂;
- Воздушно-дуговая строжка стали – Mn;
- Ручная сварка стали электродами УОНИ: Mn, HF;
- Ручная сварка стали электродами ЭА-48М/22: Mn, CrO₃, HF;
- Полуавтоматическая сварка стали плавящимся электродом: Mn, Ni, SiO₂;
- Сварка порошковой проволокой: Mn, HF;
- Сварка под флюсом: HF.

Источник вредных выделений – сварочная дуга имеет малые размеры, непосредственно вблизи неё – высокие концентрации вредных веществ в виде паров. При остывании образуется весьма мелкодисперсный и вредный для здоровья аэрозоль конденсации. Более 90% частиц имеет скорость витания

менее $v_s \leq 0,1$ м/с. Это означает, что эти частицы практически не оседают, а постоянно витают в воздухе.

По удалении от источника вредных выделений концентрация вредностей резко уменьшается. При удалении по горизонтали на расстоянии 2 метра концентрация приближается к общему фону загрязнения воздуха, при движении по вертикали это происходит на расстоянии 4 метра. Зона повышенных концентраций вредностей достаточно велика, поэтому в зоне дыхания концентрация существенно превышает ПДК.

Методами общеобменной вентиляции требуемые параметры воздуха обеспечить невозможно. Этого можно достичь только применением местного отсоса. Чем ближе местный отсос расположен к источнику вредных выделений, тем меньший объём воздуха придётся удалять. Применение вентиляции с помощью полной рециркуляцией позволят экономить практически 100% тепловую энергию.

Газовая резка с целью раскроя металла производится на раскроечных столах.

Раскроечный стол столешницы (крышки) не имеет, но имеет ёмкий пылегазоприёмник (ящик без крышки), разбитый на секции. Рабочий проём должен быть максимально укрыт разрезаемым листом. Площадь неплотностей и щелей не должен превышать 20% от площади рабочего проёма. С целью снижения расхода воздуха вытяжка производится лишь из той секции, в пределах которой производится резка металла. При ручной резке металла секции переключаются вручную. Если резка металла – машинная, движущаяся тележка газорезательной машины включает устройства для переключения дросселей. Рекомендуемый объём вытяжки – 2000-2700 м³/ч на 1 м² площади раскроечного стола. Конкретная величина объёма вытяжки зависит от количества выделяющихся токсичных веществ при раскрое. Количество и конкретный вид выделяющихся вредных веществ зависит от химического состава разрезаемой стали.

Из-за малой плотности дроссель – клапанов имеет место бесполезный дополнительный подсос воздуха, который для каждой отключённой секции может достигать 800 м³/ч.

При резке и строжке вне стационарных постов следует применять передвижные местные отсосы с многоступенчатой очисткой воздуха перед выпуском в производственное помещение. Если это невозможно сделать, вредные выделения должны учитываться при определении общеобменного воздухообмена. В справочнике Торговникова Б.М. есть данные об объёме вытяжки на 1 кг сожжённых электродов.

Таблица 9.1

Количество воздуха, м³ на 1 кг сварочного материала для разбавления вредных веществ до ПДК

Сварочный материал	Вредные вещества		
	Сварочный аэрозоль	Марганец и его соединения	Фтористый водород
Ручная сварка электродами УОНИ 13/55	4500	3600	4600
Полуавтоматическая сварка в углекислом газе сварочной проволокой СВ-08Г2С	2000	1700	-
Сварка порошковой проволокой ПП-АН-3	3400	4500	5400

Обычно в сборочно-сварочных цехах используются различные сварочные материалы. Эти сварочные материалы имеют в составе металла, обмазок электродов или флюсах различные по виду и количеству компоненты.

Если сварка ведётся без применения местных отсосов, то общеобменный воздухообмен вычисляется из условия разбавления всех выделяющихся в воздух компонентов и по всем видам применяющихся в цехе сварочных

материалов. По всем видам выделяющихся в воздух компонентов воздухообмены суммируются.

В сварочных материалах обычно отсутствуют вещества одностороннего действия, поэтому расчётный воздухообмен принимается по компоненту с наибольшим воздухообменом. Исключением являются медь Cu и никель Ni. Гигиенисты считают их веществами одностороннего действия, поэтому воздухообмен по ним складывается.

Сварочные столы оборудуются отсосами 3-х типов:

- Наклонные панели равномерного всасывания;
- Вертикальные панели равномерного всасывания;
- Нижний отсос через решётку в плоскости стола.

Наиболее эффективными являются наклонные панели с углом 45° – 55° . Вертикальная панель более эффективна для работы, но расход воздуха в ней на 20% более, чем у панели Чернобережского. Стандартные размеры панели Чернобережского 800х450 и 600х450.

Нижний отсос требует воздуха в 2 раза больше, чем панель Чернобережского, но, в некоторых случаях, это единственный способ локализовать распространение вредных веществ.

Распространённым является решение – сочетание наклонной панели и нижнего отсоса. Шиберы позволяют регулировать вытяжку как панели, так и нижнего отсоса.



Рис. 9-1. Схема сварочного стола для сварки мелких деталей

На рис.9-1 представлена схема сварочного стола для сварки мелких и средних изделий. Он имеет наклонный и нижний отсосы, собственный вытяжной вентилятор и два клапана, позволяющие регулировать расходы через нижний отсос и наклонную решётку. Наверху имеется поворотный козырёк, позволяющий направлять прорвавшийся вверх аэрозоль в наклонную решётку.

9.1.2. Принципы организации общеобменного воздухообмена в сварочных цехах

Организация общеобменного воздухообмена должна учитывать распределение концентрации сварочного аэрозоля по высоте помещения.

Величина концентрации в объёме помещения формируется конвективными потоками, формирующимися над местами сварки и нагретыми изделиями. Оно практически не зависит от организации воздухообмена. Натурные замеры показали, что поле концентраций сравнительно равномерное, оно незначительно изменяется по высоте относительно среднего значения.

Поэтому, если высота рабочей зоны не превышает 2-х метров ($h_{pz} \leq 2$ м) рекомендуется подача притока воздуха распределителями НРВ в рабочую зону наклонными струями с высоты 4...6 метров, или сосредоточенно в верхнюю зону воздухораспределителями ВГК.

Экспериментально установлено, что при сварке в среде защитных газов и сосредоточенной подаче в верхнюю зону формирующийся обратный поток со скоростью 0,2...0,5 м/с существенно снижает запылённость в зоне дыхания, но не нарушает защитные свойства газовой ванны.

В производственных помещениях сварки цветных металлов в среде инертного газа подвижность воздуха в рабочей зоне $v \leq 0,3$ м/с является приемлемой. Поэтому необходимо применять рассредоточенную подачу воздуха через воздухораспределители ВПП и ВПЭП.

В тёплый период воздухообмен, рассчитанный на разбавление вредностей до ПДК, может оказаться недостаточным. В этом случае в сварочных цехах допускается применять аэрацию.

В холодный период вблизи ворот имеет место охлаждение прилегающей к ним части цеха вследствие инфильтрации. В этом случае необходимый прогрев может быть обеспечен периодическим включением воздушных завес с помощью датчика температуры при закрытых воротах.

9.1.3. Местная вентиляция аппаратов автоматической сварки

Автоматическая сварка линейных, протяжённых швов выполняется с помощью, так называемых сварочных тракторов. Они представляют собой самодвижущуюся тележку со смонтированным на ней сварочным оборудованием и местными отсосами.

Скорость перемещения сварочного трактора вдоль свариваемого шва должна быть равна скорости сварки, которая определяется толщиной

свариваемого металла, сварочной проволоки и силой сварочного электротока. Поэтому перед каждой сваркой сварочный трактор приходится налаживать.

Протяжённые швы сваривают под слоем флюса – дисперсной смеси, насыпаемой из бункера, смонтированного на тракторе, на шов перед сварочным электродом. При сварке часть флюса расплавляется, и расплав покрывает свариваемое место, предотвращая поступление к месту сварки воздуха.

После сварки неиспользованный флюс собирается и вновь используется, но эта операция увеличивает трудоёмкость процесса сварки.

Другим способом сварки протяжённых швов является сварка в среде углекислого газа. Сварочная головка имеет двойной кожух, в который подаётся углекислый газ непосредственно к месту сварки и через который отсасываются продукты сварки.

Кроме сварки продольных швов, применяется сварка «встык» прутковой стали. Тонколистовой материал сваривается точечной сваркой. Точечная сварка широко применяется при сварке корпусов автомобилей.

Сварочный трактор для сварки под слоем флюса.

Состоит из тележки на 4-х колёсах, на которой смонтированы:

- Бункер для флюса с патрубком, через который на поверхность металла в месте будущего шва высыпается флюс.
- Токоподводящие ролики для подачи электрического тока на сварочную проволоку.
- Бухта (моток) сварочной проволоки, расплавом которой заполняется свариваемый шов.
- Местный отсос с 2-мя патрубками, через которые удаляется сварочный аэрозоль как непосредственно от места сварки, так и на некотором расстоянии от него.

- Электропривод, который позволяет регулировать скорость перемещения трактора в зависимости от толщины свариваемых листов, диаметра проволоки и силы сварочного электрического тока.

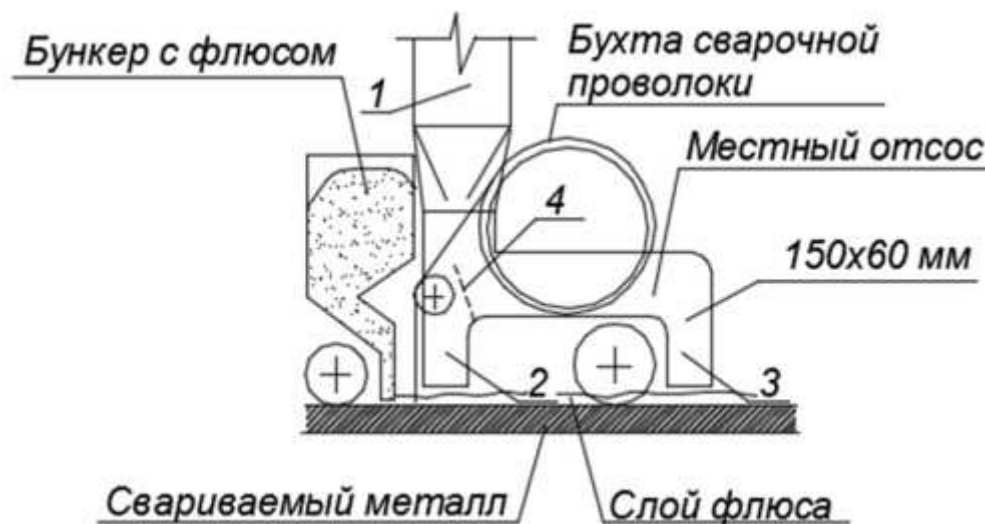


Рис. 9-2. Схема сварочного трактора для сварки под слоем флюса

1, 2, 3, 4 – элементы местного отсоса

Сварочный трактор для сварки под слоем флюса имеет следующие элементы местного отсоса:

1. Вытяжной сборный воздуховод местного отсоса.
2. Передний отсос сечением 100x60 мм.
3. Задний отсос сечением 150x60 мм.
4. Регулируемый клапан для обеспечения расчётных расходов воздуха.

Объём вытяжки от установок автоматической сварки вычисляется по формуле, предложенной Институтом охраны труда, м³/ч:

$$L = k\sqrt{I}$$

k – опытный коэффициент, равный для универсальных автоматов 12, для сварочных тракторов – 16; I – сила сварочного тока.

Сварочный трактор для сварки в среде углекислого газа.



Рис.9-3. Общий вид сварочного трактора для сварки в среде углекислого газа

Сварка в среде углекислого газа позволяет получать качественное сварное соединение, так как подаваемый к месту сварки углекислый газ препятствует проникновению воздуха к месту сварки. Отличительная особенность сварочного трактора состоит в специальной головке, через которую проходит сварочная проволока, с двойным кожухом. Под внутренний кожух подаётся углекислый газ, защищающий место сварки от проникновения воздуха. Из наружного кожуха удаляются: сварочный аэрозоль и, частично, выполняющий защитную функцию, углекислый газ.

Сварка встык.

Применяется для сварки встык прутков. Состоит в следующем: свариваемые прутки зажимаются специальными зажимами соосно, после чего приводятся в соприкосновение. В момент соприкосновения подаётся электрический ток. Поскольку в месте стыка прутков электрическое сопротивление велико, место стыка раскаляется, в этот момент прутки начинают надвигать друг на друга. В месте стыка образуется вздутие, диаметр которого превышает диаметр свариваемых прутков в 1,5 раза, после чего сварка

прекращается. Сварной шов получается столь прочным, что разрыв при растяжении происходит за пределами сварного шва. Металлические детали всегда загрязнены маслом или иным органическим загрязнителем, поэтому в момент сварки имеет место появление небольшого количества дыма. Это заставляет защищать место сварки местным отсосом. Отсос должен позволять наблюдать за процессом сварки, производить загрузку-выгрузку деталей и должен локализовать выделяющийся дым, не позволяя ему распространяться в объёме помещения.



Рис.9-4. Схема укрытия установки для сварки встык

Объём удаляемого от отсоса воздуха 200...700 м³/ч. Этот объём вытяжки определён из условия обеспечения скорости воздуха в рабочем проёме (при открытой крышке) – 0,7 м/с, и в щелях и не плотностях при закрытой крышке 2,0 м/с.

Вентиляция сварочных машин точечной сварки.

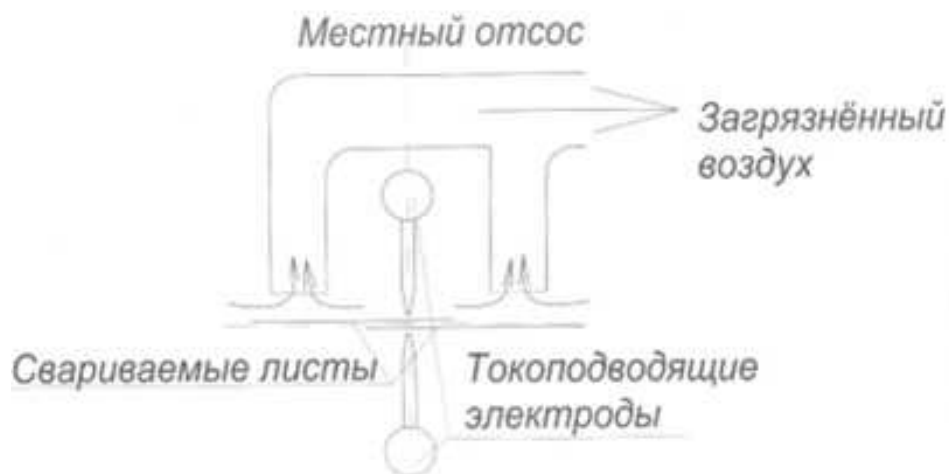


Рис. 9-5. Схема вентиляции мест точечной сварки

Точечная сварка широко применяется для скрепления тонколистовой стали. До появления порошковой проволоки это был единственный способ сварки тонких стальных листов. Точечная сварка широко применяется в автомобилестроении при изготовлении кузовов легковых машин. Там применяются автоматы многоточечной сварки. Местные отсосы для этих машин не применяются. В качестве примера здесь рассматривается аппарат для однотоочечной сварки.

Сам аппарат представляет собой 2 вертикальных медных электрода с заостренными концами (как карандаш). Обычное их положение – разведенное по вертикали. В промежуток между электродами вводятся 2 листа стали, которые предполагается скрепить. Педалью эти электроды сближаются и прижимают друг к другу листы стали. Автоматически в момент сжатия листов на электроды подаётся электрический ток. Соединяемые листы стали контактируют друг с другом только в месте прижатия их остриями электродов. Но электрическое сопротивление в точке прижатия велико, при проходе электрического тока в этом месте металл раскаляется и происходит сварка в «точке» диаметром 2...3 мм. Далее электроды разжимаются, свариваемые листы перемещаются на необходимое расстояние, и производится повторная сварка.

По той же причине, что и при сварке прутков, в момент сварки производится выделение дыма от сгорания органических загрязнений и сварочного аэрозоля.

Отсос состоит из 2-х всасывающих отверстий размером 100x100 мм, расположенных в плоскости свариваемых листов или несколько выше и соединённых друг с другом воздухопроводом вилкообразной формы. Воздуховод может располагаться как сверху сварочных электродов, так и снизу. Объём вытяжки определяется из условия создания в 2-х рабочих проёмах скорости 1... 2 м/с. Обычно он находится в пределах 100...200 м³/ч.

9.1.4. Вентиляция при сварке в замкнутых пространствах.

Сварку в замкнутых пространствах приходится выполнять при выполнении сварочных работ внутри цистерн, баков большого объёма, при постройке надводных и подводных кораблей. Доступ свежего воздуха в такого рода помещения затруднён, а объём их часто бывает весьма небольшим. Концентрация сварочного аэрозоля в таких помещениях быстро принимает значения, превышающие ПДК. Гарантированного удаления сварочного аэрозоля обще обменной вентиляцией часто не удаётся.

Поскольку место сварки постоянно перемещается, шланги, через которые отсасывается загрязнённый воздух, должны иметь минимальный диаметр, а сам отсос должен иметь крепление, позволяющее свободно закреплять его в любой точке. Приходится применять специальные малогабаритные переносные местные отсосы с небольшим расходом воздуха. Требование небольшого объёма вытяжки местным отсосом вызвано необходимостью ограничивать кратность воздухообмена в замкнутых объёмах и полостях небольшого объёма.

Отсос состоит из скошенной всасывающей воронки и полусферы – присоски диаметром 72 мм наружным и 54 мм. Загрязнённый воздух удаляется через резиновый шланг диаметром всего лишь 32 мм. В шланге имеется вставка, напоминающая трубу Вентури и сужающая диаметр канала для

прохода воздуха до 16 мм. При расчетном расходе 150 м³/ч скорость в суженном сечении составляет ~ 207,23 м/с, динамическое давление 25873,92 Па. Сила присоса при внутреннем диаметре полусферы 54 мм составит 237,04 Н или 24,16 кг, что достаточно для надёжного закрепления местного отсоса на металлической поверхности. Эта скорость и вызываемое ею разрежение позволяют выдерживать вес местного отсоса и шланга длиной 2 м. Скорость воздуха в шланге с внутренним диаметром 32 мм составляет 51,8 м/с. Резиновая полусфера присоединена к вставке Вентури в наиболее суженном месте через отверстие $d = 5$ мм, что обеспечивает мгновенное налипание полусферы к металлической стенке. Однако, аэродинамические потери в шлангах столь значительны, что давления, развиваемого даже вентилятором высокого давления, может оказаться недостаточным. В качестве побудителей тяги придётся использовать многоступенчатые воздуходувные машины, которые позволяют получить разрежение до 30000 Па. К таким машинам относятся турбовоздуходувки различной конструкции, например, аксиального типа. Ранее выпускались Чирчикским заводом турбовоздуходувки ТВ-80-1,6 и ТВ-50-1,6, при расходе 3000...5000 м³/ч.

Шланги присоединяются к коллектору, сваренному из стальных труб. Воздухообмен, создаваемый работой местного отсоса, достаточен для работы в холодный и переходный периоды года. В тёплое время для удаления теплоизбытков воздухообмен должен быть увеличен установкой передвижных вентагрегатов.

Если в отсеках и полостях производятся газовая резка или сварка в среде защитного газа, воздухообмен на одного сварщика должен составлять 1000...2000 м³/ч.

9.2. Особенности вентиляции литейных цехов, использующих технологию литья в опоку

Литьём в опоку получают как чугунные, так и стальные изделия. Большая часть стали получают переделом чугуна, который выплавляют в доменных печах из железной руды.

9.2.1. Краткие сведения о производстве чугуна и стали

Чугун – перенасыщенный углеродом сплав железа с углеродом, содержание углерода в котором может достигать 4% и более. Чугун является хрупким материалом, но обладает лучшими, в сравнении со сталью, литейными и противокоррозионными свойствами. Применяется для изготовления деталей машин, не испытывающих ударных нагрузок, труб водопроводных и канализационных, кухонной посуды.

Сталью называют сплав железа и углерода, содержание которого не превышает 1,3%. С целью улучшения потребительских свойств (придания повышенной прочности, вязкости, антикоррозионной стойкости и т.д.) в сталь добавляют так называемые легирующие добавки (марганец, никель, ванадий).

В древние времена сталь производилось в одну стадию. В Древней Руси сталь получали из «болотной» руды, которую собирали на болотах, многократно перековывая «крицу» (сплавившуюся в горне железную руду) и удаляя из неё шлаки механической перековкой.

Комментарий. Горном называется печь для получения более высоких температур в топке против печей на естественной тяге. Горн отличается от обычной печи подачей большего количества воздуха для горения (так называемого «дутья») и сжигания большего количества топлива в единицу времени. Это приводит к повышению температуры внутри горна. Ранее подача воздуха осуществлялась с помощью «мехов», приводимых в действие людьми, животными, силой воды. Сейчас их функцию выполняют вентиляторы, турбовоздуховки и т.д.

Потом этот процесс перестали применять ввиду трудоёмкости, и перешли на 2-х ступенчатый процесс получения стали:

1-я стадия: выплавка чугуна в доменных печах;

2-я стадия: переделка чугуна в сталь путём выжигания излишков углерода.

Этот способ является основным и по настоящее время.

Применяется несколько способов получения стали:

- Из чугуна, путём выжигания из него излишнего количества углерода. Этот процесс может осуществляться в мартеновских печах или бессемеровским способом;
- Из лома чёрных металлов;
- Прямым восстановлением стали из железной руды («окатыши») (Новосильский металлургический комбинат);
- Получением специальных сталей в электропечах.

Выжигание «излишнего» чугуна производится:

А. В регенеративных пламенных (мартеновских) печах. Этот способ известен как мартеновский, предложен в 1864 г. братьями Пьером и Эмилем Мартенами. Печи отапливаются газом.

В мартеновских печах сталь получают из жидкого чугуна с добавкой металлолома. Металлолом подаётся в печь с помощью завалочной машины. Этой же машиной в печь подаются легирующие добавки. Вредные выделения: большие потоки лучистого тепла, CO, CO₂. Процесс непрерывный. Печи оборудуют регенераторами с насадкой для экономии теплоты.

Б. Получение стали в конвертерах (способ Бессемера, Англия, 1855 г.)

Изначально сталь получали из жидкого чугуна, который заливался в футерованный огнеупорами сосуд (бессемеровская груша) с добавкой металлолома. Выжигание производилось вдуванием воздуха, который проходит через массу жидкого чугуна. Качество стали получалось низким с большим

содержанием окислов железа и соединений железа с азотом. После разработки профессором П. Капицей промышленного способа получения кислорода из воздуха, стали применять кислородное дутьё, что позволило наладить производство качественной стали. Процесс получения стали по способу Л. Бессемера усовершенствован. Сначала загружается металлолом, заливается жидкий чугун, подаётся кислород. В результате продувки получают жидкий металл и плавающий на его поверхности жидкий шлак. Выполняется корректировка качества стали загрузкой в жидкий металл легирующих добавок. Далее производится слив плавающего сверху шлака (12...20 мин.) и стали (30...50 мин.). Отходящие в процессе продувки от конвертера газы имеют следующий состав: угарный газ CO – 85%, углекислый газ CO_2 – 10%, азот N_2 – 5%. Температура выделяющихся газов – 1450...1650 °С. **Количество выделяющейся пыли 10...20 кг/ч, состав пыли – FeO , концентрация 250 г/м³.**

В. Внедоменное получение железа прямым восстановлением. Процесс восстановления состоит в продувании через слой шихты смеси газов $\text{H}_2 + \text{CO}$, которую получают сжиганием газа при недостатке кислорода и температуре 850...900 °С. Получаются окатыши с содержанием железа 95%, углерода ~ 1%, которые затем расплавляются в электродуговых печах.

В настоящее время бессемеровский способ постепенно вытесняет мартеновский, а загрязнение окружающей среды удалось практически исключить, так как дымовые газы полностью улавливаются специальным укрытием и очищаются в фильтрах.

9.2.2. Получение стали для литейного производства

Жидкий металл часто получают в электродуговых печах. Выпускаются печи номинальной производительностью от 1,5 до 250...500 тонн за одну плавку. Печи небольшой и средней производительности выполняют цилиндрической формы, они имеют сливной жёлоб, сверху закрываются

сдвижной крышкой, через отверстия которой внутрь ёмкости вставляются графитовые электроды. Количество электродов в печи зависит от её производительности и бывает от двух и более, в зависимости от ёмкости печи. Готовый металл выгружают, сливая его путём наклона печи. Плавильные электродуговые печи обычно размещают в отдельном пролёте, основные виды вредных выделений: теплота конвективная во время плавки, конвективная и лучистая при выгрузке металла, дымовые газы, состав и количество которых изменяются в зависимости от периода плавки.

Для получения отливок используется лишь часть выплавляемой стали. В частности таким способом получают диски колёс железнодорожных вагонов.

Чугун, не использованный для передела в сталь, применяют исключительно для получения отливок. На чугунолитейные предприятия или в чугунолитейные цехи, расположенных в непосредственной близости от доменных цехов, жидкий чугун доставляется в специальных термосах, называемых «миксеры». Но на этих предприятиях в изделия перерабатывается только часть чугуна, идущего на литьё. Значительная его часть отливается в так называемые «чушки» - прямоугольные в плане чугунные бруски. Чугун в «чушках» транспортом доставляется на чугунолитейные предприятия, расположенные вдали от металлургических заводов. Там его повторно расплавляют, плавильных печах, называемых *вагранками*, осуществляя так называемый *вторичный* передел.

Существуют различные способы получения литых изделий. Водопроводные и канализационные трубы, сковороды бытовые получают на специальных центробежных литьевых машинах. Изделия массой более 25 кг в *опоки*, заполненные формовочной землёй.

Обычный состав подразделений предприятия по изготовлению чугунных изделий литьём в опоки:

- 1) Склад формовочных материалов.
- 2) Землеприготовительное отделение (земледельное).

- 3) Формовочное отделение (в грунте, машинная и пескомётная формовка).
- 4) Стержневое отделение.
- 5) Сушка форм и стержней.
- 6) Отделение плавки.
- 7) Заливочное отделение.
- 8) Выбивка форм.
- 9) Выбивка стержней.
- 10) Термообработка.
- 11) Обрубно – очистное.
- 12) Склад опок и готового литья.
- 13) Туннели под выбивными решётками.
- 14) Склад моделей.

9.2.3. Основные вредные выделения в участках и отделениях литейных предприятий

- *Пыль*, выделяется при приготовлении смесей, выбивки, очистки и обрубки литья, в процессах формовки и обработки высушенных стержней.
- *Избыточная конвективная и лучистая теплота*, выделяется при плавке и заливке чугуна, остывании залитых жидким металлом форм, сушке форм и стержней, выбивке форм и термической обработке литья, а также при заварке литья.
- *Водяные пары* выделяются в процессах переработки свежей и оборотной земли, выбивки форм, а также сушки форм и стержней.
- *Вредные пары*, выделяющиеся при сушке свежей формовочной земли, сушке форм и стержней.
- *Пары растворителей* при формовке и сушке стержней.

- *Окись углерода* выделяется в периоды загрузки вагранок, заливки чугуна, сушки форм, стержней и ковшов.
- *Вредные газы* выделяются в периоды загрузки вагранок, заливки чугуна, выбивки форм, сушке форм, стержней, ковшов.

9.2.4. Краткое описание технологического процесса литья в опоки

Изделия весом свыше 25 кг производят, заливая чугун в песчано-глинистые формы, часто называемые *опоками*. Опоки являются металлической оболочкой литейной формы, которая заполняется утрамбованной формовочной землёй. В состав формовочной земли входят песок, глина, жидкое стекло и другие ингредиенты. Технология предусматривает многократное повторное использование формовочной земли, которая после первого же применения называется «горелой». Современная формовочная земля состоит из «горелой» (уже бывшей в употреблении) земли на 70-90%, вместо уайт-спирита, олифы в формовочную смесь стали добавлять молотый уголь, жидкое стекло, раствор едкого натра, древесные опилки.

Сначала набивается нижняя половина обечайки, в процессе набивки в обечайку вставляется форма, часто изготавливаемая из дерева. Форма после извлечения оставляет полость, в которую впоследствии будет заливаться металл. Фактические размеры модели несколько больше расчётных с учётом сжатия отливки при остывании до расчётных размеров.

Необходимые отверстия в детали или вмятины формируют с помощью так называемых «стержней», специальных деталей, в настоящее время изготавливаемых из смоло-песчаных смесей холодного отверждения.

Формовочная земля, при изготовлении песчано-глинистых форм, уплотняется вибротрамбовками.

После формования нижней части обечайки устанавливается прокладочный слой, устанавливается 2-я половина обечайки и формовка продолжается. После

окончания формовки форму разбирают, вынимают модель, вставляют стержни, проделывают отверстие для заливки металла, так называемый «литник». После чего опока собирается вновь и краном переносится на заливочный плац.

Если в изделии имеются отверстия или каналы, их формируют с помощью *стержней*. Недостаток изделий, полученных этим способом, - грубая поверхность изделия, требующая последующей механической обработки на станках. Отлитые, указанным способом изделия, должны изготавливаться «с припуском», т.е. несколько большего, по сравнению с требуемым, размера. Требуемые размеры изделие получает путём механической обработки, в процессе которой значительные количества металла переходят в стружку, что является недостатком этого способа литья.

Технологический процесс в чугунолитейных цехах начинается с изготовления земляных форм и стержней, в состав которых входят песок, горелая оборотная земля, уголь, крепители. Формы и стержни из формовочных и стержневых масс изготавливают на специальных формовочных машинах или вручную. Изготовленные формы сушат в специальных установках поверхностной сушки или в сушилах, стержни в камерных печах периодического или непрерывного действия или в конвейерных горизонтальных и вертикальных сушилах непрерывного действия. После сушки стержни и форма собирают для заливки. В конвейерных литейных цехах формы, часто металлические, размещают на заливочном конвейере, в литейных цехах со ступенчатым режимом – на полу цеха (в заливочном плацу). После заливки металла и его остывания производят извлечение отливки из опоки. Раньше извлечение отливок из опок выполняли на вибрационных решётках, в выбивку стержней из отливок – на вибрационных станках. В воздух помещения поступало большое количество горячей пыли. «Горелая» формовочная земля просыпалась вниз, в расположенный внизу бункер и оттуда на транспортную ленту. В настоящее время разработаны и применяются полностью укрытые выбивные устройства с несколькими точками вытяжки запылённого воздуха.

Отливкам не дают остыть до относительно низких температур, чтобы повысить использование заливочного плаца. После извлечения отливка имеет красный цвет, температура горелой земли составляет $600 \div 800$ °С. Столь высокая температура является причиной возникновения над выбивной решёткой и транспортёрами с горелой землёй мощных конвективных тепловых струй.

Затем производят очистку и обрубку литья. Для очистки литья применяют очистные (галтовочные) барабаны, дробеметные, дробеструйные, пескогидравлические или гидравлические камеры, а также обдирочные станки стационарного или переносного типа. Обрубку литья производят на обрубных столах. Мелкие дефекты литья исправляют путём его заварки и термической обработки в специальных печах камерного или тоннельного типа.

Ниже представлены рекомендуемые решения приточно-вытяжной вентиляции перечисленных выше отделений и участков литейного предприятия.

9.2.5. Рекомендации по устройству отопления в цехах при литье в опоки

При проектировании отопления следует учитывать производственные тепловыделения.

Теплоноситель – рекомендуется перегретая вода, допускается пар высокого давления.

Системы отопления, как правило, должны быть совмещены с вентиляцией.

Дежурное отопление – рекомендуется использовать приточные камеры, работающие в режиме полной рециркуляции с очисткой воздуха от пыли. В отдельных случаях возможно применение с помощью отопительно-рециркуляционных агрегатов, или местными отопительными приборами.

В основных производственных помещениях (кроме складов) устраивается, как правило, воздушное отопление, совмещённое с приточной вентиляцией. Для отопления складов шихты и формовочных материалов обычно применяются отопительно-рециркуляционные агрегаты, поддерживающие в помещении температуру + 5°C.

В качестве отопительных приборов в *складах формовочных материалов, землеприготовительных, стержневых, формовочных, выбивных, обрубно – очистных отделениях* следует применять только приборы с гладкими поверхностями, легко доступными для очистки от пыли.

Воздух должен подаваться во все отделения сосредоточенно со скоростями 8 – 12 м/с и расположением приточных отверстий не ниже 3,5 м от пола и без направления факела в рабочую зону. *Исключения* – отделения с пылевыведениями (обрубное, землеприготовительное и др.), в которых скорость притока следует принимать в пределах 2...4 м/с в зависимости от высоты размещения приточных отверстий.

Температура притока должна быть не более:

1. 70 °C – при подаче воздуха на высоте более 3,5 м от пола и без направления факела в рабочую зону;
2. 45 °C – при подаче воздуха на высоте не менее 3,5 м от пола и на расстоянии более 2 м от работающего при любом направлении факела.

9.2.6. Рекомендуемые способы организации вентиляции в производственных участках и отделениях литейных заводов

Параметры воздуха в производственных помещениях должны приниматься в соответствии ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» с учётом опыта проектирования подобного рода предприятий.

В тексте настоящего пособия и технической литературе, изданной в предыдущие годы, могут встречаться термины «незначительные теплоизбытки» или «значительные теплоизбытки». Слова «незначительные» и «значительные» в редакциях СНиПов прежних версий были терминами, характеризовавшими тепловую напряжённость в помещении, в настоящее время не используются. Теплонапряжённость менее $26,75 \text{ Вт/м}^3$ (или $23 \text{ ккал/(м}^3\cdot\text{ч)}$), считалась «незначительной», свыше этой границы «значительной». ГОСТ 12.1.005-88 задаёт диапазон температур, в пределах которого предлагается выбирать расчётную температуру воздуха в помещении. Согласно практики проектирования вентиляции литейных цехов и отделений, при «незначительных теплоизбытках» расчётную температуру воздуха в помещении принимают близкой к средней температуре расчётного диапазона температур внутреннего воздуха помещения по ГОСТ 12.1.005-88. В случае «значительных теплоизбытков» расчётное значение температуры помещения должно быть близким к максимальному значению температуры диапазона, чтобы в наибольшей степени уменьшить воздухообмен.

В литейных цехах имеется значительное число источников выделения вредных веществ, для локализации которых необходимо устанавливать местную вытяжную вентиляцию. Наиболее неблагоприятными (с точки зрения загрязнения воздушной среды) являются операции плавки, заливки металла в формы, выбивки опок и транспортировки горелой смеси.

Самым рациональным методом удаления вредных газообразных продуктов и аэрозолей конденсации от плавильных печей следует считать использование зонтов различной конструкции. В некоторых случаях для улавливания вредных веществ, поступающих из печей для плавки металлов, могут быть использованы кольцевые отсосы.

Вентиляция выбивных решеток может быть осуществлена несколькими способами, но наиболее эффективно использовать накатные вентиляционные устройства. Подключение укрытия к вентилятору осуществляется с помощью

телескопического воздуховода. Эффективность укрытия обеспечивается при удалении от укрытия 42 000 м³/ч воздуха.

Укрытие транспортера отработанной формовочной земли рекомендуется изготавливать с использованием подвижных элементов и стационарных секций, через которые осуществляется отсос воздуха. Места отсосов рекомендуется располагать при наклонных транспортерах в верхней их части, а при горизонтальных — в стороне сбрасывания материала.

Места заливки формы при конвейерном литье оборудуют панелями равномерного всасывания с отсосом воздуха до 4000 м³/ч на 1 м длины панели. Вентиляция при изготовлении стержней необходима, если применяются формовочные смеси, содержащие вредные вещества. Вентиляцией должна обеспечиваться скорость воздуха в проеме укрытия формовочного ящика не менее 0,7 м/с.

Рабочие места сборки моделей в блоки рекомендуется оборудовать вытяжными шкафами. Ванны для выплавки моделей в горячей воде необходимо оборудовать бортовыми отсосами с удалением воздуха 2000 м³/ч на 1 м на открытой поверхности ванны.

При выплавке моделей в электропечах рекомендуется устройство вытяжного зонта-козырька с обеспечением скорости воздуха в приемном отверстии не менее 0,5 м/с.

У рабочих мест, подвергающихся интенсивному теплоизлучению (места заливки металла, загрузочные отверстия печей и другие), рекомендуется предусматривать душирующие установки. Интенсивность теплового потока на рабочих местах в литейных цехах может достигать до 11 000 Вт/м² и более.

Для локализации других вредных выделений у источников их образования необходимо создавать различные местные отсосы (вытяжные зонты, кольцевые и бортовые отсосы, защитно-обеспыливающие кожухи и другие).

Склад шихты.

Не отапливается зимой, внутренняя температура летом не нормируется. Тепловая напряжённость объёма помещения – «незначительная», степень тяжести работы – «тяжёлая».

Вытяжная вентиляция – местная и общеобменная. Запылённый воздух удаляется от грохотов для кокса, мест перепада на конвейерах, от бункеров и питателей бункерной эстакады. Кроме того, предусматривается вытяжка воздуха из верхней зоны. Запылённый воздух перед выбросом должен проходить мокрую очистку. Приточный воздух должен подаваться в верхнюю зону, Допускается сосредоточенная подача. В тёплый период года общеобменная вентиляция естественная. Коэффициент воздухообмена – 1,7.

Склад формовочных материалов.

На складе производятся разгрузка, сортировка, хранение и размол песка, глины, угля. *Расчётная температура воздуха помещения:* в тёплый период года – не нормируется, в холодный период поддерживается равной (+ 5) °С. Теплоизбытки – «незначительные», степень тяжести работы – «тяжёлая». Механическая вентиляция предусматривается только при наличии в помещении оборудования, нуждающегося в устройстве местных отсосов.

Если таковое имеется, удаление загрязнённого воздуха производится через местные отсосы мест перепада сыпучих материалов на конвейерах, от укрытий дробилок, элеваторов, бегунов, полигональных сит, плужковых сбрасывателей сыпучих материалов с конвейеров, шаровых мельниц, из бункеров для песка и горелой земли, а также из верхней зоны помещения в объёме однократного воздухообмена. Удаляемый от местных отсосов воздух перед выбросом в атмосферу проходит мокрую очистку, например в пылеуловителях ПВМ, не требующих устройства системы оборотного водоснабжения. Приточная и вытяжная вентиляция такая же, как и в складе шихты.

Землеприготовительное отделение (или «земледельное»). Производятся: приготовление формовочной земли для набивки опок, переработка «горелой» земли после выбивки литья. Теплоизбытки – «незначительные», степень тяжести работы – «тяжёлая».

Расчётная температура воздуха помещения в ХП – традиционно принимается (+ 15) °С.

Воздух удаляется от мест перепада на конвейер сыпучих материалов, дробилок, бункеров для песка и горелой земли, элеваторов, бегунов, полигональных сит, плужковых сбрасывателей, шаровых мельниц и из верхней зоны. Удаляемый от местных отсосов воздух проходит мокрую очистку, аналогичную очистки выбросов склада формовочных материалов. Кроме местной аспирационной вентиляции в отделении должна быть предусмотрена *естественная вентиляция* с кратностью воздухообмена, равной 5. Непосредственно в помещение землеприготовительного отделения должно подаваться 75...80% от общего объёма притока, прочее количество воздуха подается в смежные помещения или смежное формовочное помещение. В этом случае отделение попадает под разрежение, распространение вредных выделений из него прекращается.

Приток в холодный период года – рассеянный, в верхнюю зону. Коэффициент воздухообмена равен 1,67.

В связи с заметной запылённостью воздуха рабочей зоны на постоянные рабочие места (у бегунов, смесителей, сушил и других машин) следует подавать местный приток в объёме 1000 м³/ч, скорость воздуха на рабочем месте не должна превышать 1 м/с.

Формовочное отделение (изготавливаются формы из формовочной земли, формовка машинная и пескомётная). Теплоизбытки – «незначительные», степень тяжести работы – «средней тяжести».

В формовочном отделении производится наполнение опок формовочной землёй, уплотнение её специальными трамбовками, вставка и выемка моделей, вставка стержней, окончательная сборка. Готовые опоки перемещаются на плац для заливки металлом.

Минимальный объём притока не должен быть менее трёх крат. Удаление воздуха производится механическим или естественным путём из верхней зоны. Если в процессе формовки применяются крепители из жидкого стекла, имеет место поступление углекислого газа от залитых опок, воздух должен удаляться из верхней и нижней (до 50%) зон.

Подача воздуха в холодный период – механическая, рассеянная, в рабочую зону, в тёплый период года – естественная через нижние фрамуги окон. Коэффициент воздухообмена равен 1,67.

При машинной формовке подача воздуха в холодный период года – сосредоточенная, в верхнюю зону; в тёплый период года – естественная через нижние фрамуги окон. Коэффициент воздухообмена для тёплого периода года – 2,0.

При наличии у формовочного отделения смежных помещений, в которых выделяются вредности, в формовочном отделении поддерживается некоторый подпор за счёт подачи в него дополнительного количества воздуха, которое «недостаётся» в более загрязнённые соседние отделения.

Стержневое отделение. Производятся: приготовление стержневых смесей, формовка стержней, их окончательная обработка. *Расчётная температура воздуха помещения* в ХП традиционно принимается равной (+ 15) °С. Теплоизбытки – «незначительные», степень тяжести работы – «средней тяжести».

Если стержни изготавливаются с применением смол холодного отверждения, формы, в которых они формируются, должны иметь местную вытяжку.

В производстве стержней могут применяться смеси ЖСС и ХТС.

ЖСС – жидконаливные самоотверждающиеся смеси. Эти смеси содержат хромовый ангидрид. Твердение происходит в течение 20 – 60 минут. Стержни, изготовленные с применением этих смол, легко извлекаются из отлитой детали при выбивании на выбивных решётках. ХТС – смеси холодного твердения.

ВНИИОТ в г. Свердловске (ныне Екатеринбург) провели исследования количеств выделяющихся вредностей, в мг, при твердении образца смеси, содержащей 200 г. песка и 4 г. Смолы за 3 часа холодного твердения.

Таблица 9.2.

Вредные вещества и их количества, выделяющиеся из стержневой смеси 200 г песка и 4 г смолы, выделяющиеся за 3 часа.

Смола	Марка	Фено л	Формальдеги д	Метано л	Фурфуро л	Ацето н
Фенолформальдегидная	ОФ-1	0,45	0,85	2,77	-	87,26
Фенолформальдегидная	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	-

При заливке в форму жидкого металла их формовочных смесей типа ХТС выделяются:

Смола ОФ-1 – СО, бензол, фенол, формальдегид, метанол.

Смола УКС-Л – СО, формальдегид, метан, цианиды, аммиак.

Максимальные выделения наблюдаются в первый период после заливки в опоку жидкого металла и превышают средние значения в 1,3...1,5 раза.

При изготовлении стержней из ЖСС и ХТС применяют вентилируемые ящики, представляющие собой ящик с крышкой и патрубком для отсоса воздуха из полости ящика. Вытяжка должна обеспечивать скорость воздуха в рабочем проёме и неплотностях 0,7 м/с. Учитывая взрывоопасность

выделяющихся газов, объём вытяжки должен обеспечивать фактическую концентрацию взрывоопасных газов в удаляемом воздухе не должна превышать 50% от нижнего предела взрываемости или НКПРП (нижнего концентрационного предела взрываемости).

Воздух удаляется от станков зачистки и шлифовки стержней, пульверизационных камер окраски изделий, сушильных камер, автоматических станков для изготовления полу-форм, станков и рабочих столов для склейки полу-форм и из верхней зоны помещения в объёме не менее 1-кратного воздухообмена. Запылённый воздух перед выбросом в атмосферу проходит мокрую очистку.

Подача притока в рабочую зону – механическая в холодный и переходный периоды года, фрамуги окон – в тёплый период года. На постоянных рабочих местах у горелок и форсунок, а также у дверей и проёмов сушил предусматривается воздушное душирование. Коэффициент воздухообмена – 2,0.

Сушка форм и стержней. После изготовления стержни высушиваются в камерных сушилах, поверхностная сушка стержней производится в специальных сушильных камерах. Расчётные параметры воздуха в помещении зависят от размещения камерных сушил. Они могут быть установлены либо в стержневом отделении, или отдельном помещении.

- При расположении сушил в общем со стержневым или иными цехами помещении *расчётная температура* в ХП традиционно принимается - (+ 15).

- При расположении сушил в отдельном помещении. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ТП – не нормируется, в ХП – (+ 5).

Должен предусматриваться подпор, предохраняющий помещение от проникновения пыли и газов из отделений заливки и выбивки. В тёплое время

года предусматривается приточного воздуха через открываемые створные переплёты окон. Станки для механической зачистки стержней, станки для изготовления полу-форм, столы для склеивания полу-форм, сушильные камеры должны быть оборудованы местными отсосами.

Удаление воздуха производится от сушил и из верхней зоны помещения.

Тепловыделения в сушильных отделениях можно ориентировочно принимать в % от теплопроизводительности топлива, сжигаемого топлива:

- для горизонтальных сушил, открыто стоящих 30...35%;
- примыкающих одной продольной стенкой к стене корпуса или смежному сушилу 25...30%;
- для сушил, примыкающих двумя продольными стенками к смежным сушилам, и вертикальных сушил 15...20%.

Количество теплоты, влияющее на повышение температуры в рабочей зоны, принимать в размере 50% от рассчитанных величин тепlopоступлений.

При расположении топок сушильных печей в прямых, а также при использовании газообразного топлива на местах рабочих, обслуживающих топку, необходимо предусматривать устройство воздушных душей с подачей притока со скоростью 2 м/с с подогревом воздуха в холодное время года. Направление потока следует принимать сверху и сбоку, в сторону дверцы топки. Объём притока 2000 м³/ч на рабочее место.

Отделение плавки. Производятся: загрузка шихты в вагранку, раздача металла, сушка ковшей, освобождение ковшей от застывшего металла, завалка электропечей. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ХП традиционно (+ 15). Теплоизбытки значительные, степень тяжести работы – средней тяжести.

Таблица 9.3.

Перечень рабочих мест, требующих устройства воздушного душирования

Наименование помещения	Наименование рабочего места	Степень тяжести	Интенсивность теплового
------------------------	-----------------------------	-----------------	-------------------------

		работ	облучения, Вт/м ²
Плавильное отделение	Площадка у лётки вагранок	Средней тяжести	350 - 700
	Рабочее место у копильника вагранки	Средней тяжести	700 - 1400
	Рабочее место загрузчика плавильных печей	Тяжёлая	700 - 1400

Тепловыделения от вагранок следует принимать 700 Вт/м² при отсутствии системы охлаждения и 350 Вт/м² при водяном охлаждении. В расчёте учитывается от уровня дна вагранки до перекрытия помещения.

Для удаления воздуха от вагранок, электропечей, стендов для сушки ковшей, тигельных горнов и из верхней зоны помещения применяют местные отсосы.

Приток в помещения – местный, в виде воздушных душей и общеобменный, естественным путём. Из общего объёма приточного воздуха 20....25% подаётся в смежное формовочное отделение. Коэффициент воздухообмена равен 2,0. В отделении предусматриваются следующие местные отсосы (см. табл.9.4).

Таблица. 9.4.

Местные отсосы от оборудования плавильного отделения

№№ п/п	Наименование оборудования	Вид укрытия	Объём вытяжки, м³/с	Скорость в открытом проёме укрытия, м/с
1	Вагранки для плавки чугуна	Зонт над жёлобом при непрерывном выпуске металла в раздаточные ковши или копильники	По расчёту	не менее 1
	Вагранки для плавки чугуна	Зонт над отверстием для выпуска шлака (только у вагранок непрерывного действия и при отсутствии устройства грануляции шлака)	То же	1
		Отсос в виде ёмкого зонта над загрузочным окном вагранки (при ручной загрузке)	То же	1...1,5
2	Электродуговые печи	Поворотный или передвижной зонт на одну печь, для печей ёмкостью		не менее 2
		до 1,5 т	20000	
		3 т	30000	
		5 т	45000	
		10 т	60000	
		Отсос на одну печь в виде завес, спускающихся на 2...3 м ниже перекрытия цеха для печей ёмкостью		
		до 1,5 т	30000	
		3 т	45000	
		5 т	65000	
		10 т	90000	
		Отсос на одну печь в виде укрытия над сводом для печей ёмкостью		
		до 1,5 т	8000	
		3 т	10000	
		5 т	12000	
		10	20000	

Таблица 9.5.

Рабочие места, требующие оборудования воздушными душами

Наименование помещения	Наименование рабочего места	Степень тяжести работ	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
Плавильное отделение	Площадка у лётки вагранок	Средней тяжести	350 – 700
	Рабочее место у копильника вагранки	Средней тяжести	700 – 1400
	Рабочее место загрузчика плавильных печей	Тяжёлая	700 – 1400
	Рабочее место наращивания электродов на печи	Тяжёлая	1400 – 2100

Конвейер для отливки «чушек» представляет собой бесконечную цепь, состоящую из металлических форм для отливки. Конвейер состоит из нескольких рабочих зон:

- Зона предварительного опрыскивания форм специальным составом, содержащим графит, предотвращающим прилипание отливок к форме.
- Зона заливки. Проникновение горячих дымовых газов при заливке в зону дыхания предотвращается установкой на противоположной рабочему месту стороне панелей равномерного всасывания.
- Зона отверждения и охлаждения отливок. Чтобы уменьшить длину отливочного конвейера, формы с залитым металлом опрыскиваются водой из форсунок. Образуются значительные количества водяного пара, который улавливается вытяжным зонтом.

Заливочное отделение. На заливочном плацу опоки укладываются в один ряд или несколько параллельных рядов. После чего из заливочного ковша в формы производится заливка металла. Выполняется и конвейерное литьё с

помощью специальных технологических установок. В процессе заливки и остывания отливок происходит выделение угарного газа, формальдегида и ряда других вредных выделений. Обычно их удаляют общеобменной вентиляцией.

Расчётная температура воздуха помещения: в ХП традиционно – (от 12 до + 15). Теплоизбытки значительные, степень тяжести работы – средней тяжести.

Количество теплоты и влаги, выделяющиеся в помещении, следует принимать по данным технологической части проекта. Если такие данные отсутствуют, их можно принимать следующими:

1) количество явной теплоты, выделяющего на каждую тонну заливаемого металла:

мелкое литьё (15 – 30 кг)	420000 кДж
среднее литьё (30 – 500 кг)	565000 кДж
крупное литьё (более 500 кг)	715000 кДж

2) выделение влаги из формовочной земли в % от её веса «по сырому»:

мелкое, среднее и безопочное литьё	2,5
крупное литьё	3,0

3) соотношение между весом залитого металла и общим весом формовочной и стержневой земли:

мелкое литьё	1:5,5
среднее литьё	1:4,5
крупное литьё	1:3,5

4) количество теплоты, выделяющейся на каждую тонну заливаемого металла при литье в сухие формы или кокили, принимать равными 290000 кДж.

Количество вентиляционного воздуха принимается из условия разбавления выделяющейся *окси углерода* до допускаемых концентраций. При удалении воздуха в верхней зоне, принимать концентрацию окиси углерода в удаляемом воздухе в 1,5 раза больше предельно-допустимой в рабочей зоне.

Удаление воздуха из плавно-заливочных отделений (кроме удаляемого местными отсосами) должно производиться через шахты и фонари естественной тягой.

Таблица 9.6.

Тепловыделения в помещениях конвейерных литейных (кДж на 1 тонну заливаемого материала)

Наименование мест и источников тепловыделений	При подаче горячих отливок из выбивки на очистку		При остывании отливок в помещении выбивки	
	мелкое литьё	среднее литьё	мелкое литьё	среднее литьё
Помещение заливки	23000	35000	23000	35000
Охладительный кожух	<u>17500</u>	<u>17500</u>	<u>17500</u>	<u>17500</u>
Помещение выбивки	<u>17500</u>	<u>23000</u>	<u>35000</u>	<u>46500</u>
Помещение очистки литья	<u>30000</u>	<u>40000</u>	<u>12000</u>	<u>17500</u>
Теплота горелой (оборотной) земли	<u>29000</u>	<u>40000</u>	<u>30000</u>	<u>40000</u>

5) общее время остывания отливок следует принимать:

При непрерывном (конвейерном) литье количество выделяющейся теплоты определяется по данным технологов.

Удаление воздуха производится через местные отсосы от стендов для сушки ковшей, установок для разлива металлов, мест заливки в формы,

охлаждающих конвейеров и верхней зоны помещения. Подача воздуха такая же, как и в плавильном отделении. Воздухообмен в холодный период года должен проверяться на разбавление окиси углерода до ПДК.

Таблица 9.7.

Местные отсосы от оборудования плавильного отделения в цехе или отделении заливки

№№ п/п	Наименование оборудования	Вид укрытия	Объём вытяжки, м ³ /с	Скорость в открытом проёме укрытия, м/с
1	Сушка и разогрев ковшей	Поворотный или подъёмный зонт	По расчёту, исходя из расхода топлива и перепада температур (80...100 °С)	не менее 5 в зазоре между зонтом и кромкой ковша
2	Охлаждающие кожухи конвейерных литейных	Отсос в виде охлаждающего сплошного укрытия, плотно примыкающего к полу	По расчёту	не менее 1,5 на входном и выходном проёмах
3	Заливочный участок конвейера	Панель Чернобережского	3000 м ³ /ч на 1 м длины панели	не менее 1 по габаритному сечению панели

Таблица 9.8.

Места установки воздушных душей в цехе или отделении заливки

Наименование помещения	Наименование рабочего места	Степень тяжести работ	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
	Рабочее место заливщика у конвейера	Средней тяжести	1400 - 2100
	Рабочее место шлаковщика у конвейера	Средней тяжести	1400 - 2100

Выбивка форм. Производится подача опок на выбивную решётку, выбивка на решётках, охлаждение отливок, освобождение отливок от земли. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ХП традиционно принимается в пределах (от + 10 до + 15). Теплоизбытки незначительные, степень тяжести работы – тяжёлая.

Воздух удаляется через местные отсосы от решёток для выбивки форм, станков для выбивки стержней, от мест пересыпки горелой земли с конвейера на конвейер, бункеров горелой земли, песка и сухой глины, ковшовых элеваторов, магнитных сепараторов, барабанных сит и из верхней зоны помещения. Удаляемый запылённый воздух проходит 2-х ступенчатую очистку сухим (циклоны) и мокрым способом.

Таблица 9.9.

**Местные отсосы и объём вытяжки от оборудования цеха или отделения
выбивки форм**

Наименование оборудования	Конструкция местного отсоса	Высота опоки в % от ширины решётки	% площади выбивной решётки, занимаемой опокон	Объём отсасываемого воздуха в м ³ /ч на 1 м ² решётки	
				температура отливок	
				Более 200 °С	менее 200 °С
Механические и пневматические вибрационные решётки для выбивки форм	Верхне-боковой отсос	30...60	не учитывать	6000	5000
	Угловой бортовой отсос	30...60	до 50	не применять	8000
	Бортовой отсос в 2-х сторон				
	Отсос вниз под решётку	до 30	до 30	6000	5000
	то же	до 30	до 50	8000	6000
	Сплошной кожух, укрытие с отсосом (для решёток площадью более 3 м ²)	-	-	2000	2000

Подача воздуха производится воздушными душами. В тёплый период года в дополнение к воздушным душам производится естественный приток воздуха через нижние фрамуги окон. Из общего объёма приточного воздуха 20...25% подаётся в формовочное отделение. Коэффициент воздухообмена – 2,0.

Эта струя исключает применение местного отсоса, действие которого основано на применении спектров всасывания. Многократные попытки проектирования подобных отсосов были неудачными. Удачным получилось

укрытие накатного типа, которое предотвращает действие конвективных струй с помощью непроницаемых стенок укрытия. Такое укрытие было спроектировано инженером Г.А. Синицыным. Расчётный объём вытяжки от укрытия 42000 м³/ч.

Выбивная решётка обычно имеет размеры, позволяющие одновременно выбивать 2 опоки. Под каждой из частей выбивной решётки, предназначенной для одной опоки, размещается бункер. Загрузка опок и съём обечаек и выбитых деталей производится краном.

Укрытие состоит из 2-х накатных частей и телескопического вытяжного воздуховода, присоединённого к вытяжному вентилятору. В момент загрузки-выгрузки укрытие должно быть в собранном состоянии, далее укрытие накатывается, включается вытяжка и производится выбивка опок. Очистка удаляемого от укрытия выбивных решёток воздуха обязательна.

Выбивка стержней. Производится подача форм на выбивку. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ХП традиционно принимается равным (+15). Теплоизбытки значительные, степень тяжести работы – тяжелая.

Таблица 9.10.

Место установки душирующего патрубка в отделении выбивки стержней

Наименование помещения	Наименование рабочего места	Степень тяжести работ	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ²
Отделение выбивания стержней	Рабочее место у вибратора выбивки стержней	Тяжёлая	350 - 700

Участок остывания отливок.

На участке остывания отливок (охлаждающая галерея), а также в тоннелях для подачи отливок из литейных цехов в цехи очистки, обрубки и термообработки устраивается естественная приточно-вытяжная вентиляция, рассчитанная на ассимиляцию теплоизбытков.

При этом температура воздуха на участке при отсутствии постоянных рабочих мест принимается в холодный период равной $+ 5^{\circ}\text{C}$. В тёплый – не более 40°C .

Количество тепловыделений определяется по разности теплосодержания отливок в момент их поступления на участок и в момент их выхода. Температура поступающих отливок должна быть 100°C ниже температуры выбитых деталей, температура выходящих отливок не ниже 70° .

При наличии на участке постоянных рабочих мест необходимы воздушные души. Коэффициент воздухообмена равен 1.

Термообработка.

Производится подача отливок к печам, загрузка в печи для обжига, обжиг (томление), выгрузка из печей. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ХП традиционно принимается в пределах (от $+ 12$ до $+ 15$).

В этом отделении обычно производится отжиг литых изделий. Тепловыделения определяются по данным технологов. При отсутствии таких данных тепловыделения от печей в % от общей теплопроизводительности топлива или электрической мощности электрических печей следует принимать:

а) для печей, отапливаемых мазутом и имеющих отвод продуктов горения в дымовую трубу, а также местные отсосы у загрузочных дверок – 35%;

б) для газовых печей с выпуском продуктов горения непосредственно в цех – 100% (с условным поступлением теплоты в рабочую зону в размере 50%);

в) для электрических печей, расположенных на полу помещения – 100% (с условным поступлением теплоты в рабочую зону в размере 65%);

г) для электрических печей, расположенных в верхней зоне помещения, принимать в рабочую зону принимать в количестве 30%.

На рабочих местах, подверженных воздействию лучистой теплоты должны устраиваться воздушные души.

Удаление воздуха производится от зонтов над загрузочными и выгрузочными проёмами печей отжига, работающих на твёрдом топливе, мазуте и генераторном газе, из верхней зоны помещения. Для печей, работающих на природном газе, продукты сгорания которых поступают непосредственно в цех, местную вытяжную вентиляцию не устраивают.

Воздух подаётся в рабочую зону механическим путём рассеянно и за счёт душирования. Если помещение большое, то в холодный период года общеобменный приток подаётся сосредоточенно в верхнюю зону, в тёплый период года – через нижние фрамуги окон.

Коэффициент воздухообмена при подаче притока в рабочую зону равен 2,2, при подаче воздуха в верхнюю зону сосредоточенно – 1,4. Теплоизбытки значительные, степень тяжести работы – тяжёлая.

Обрубно – очистное. Производится механическая очистка литья, обрубка заусенцев. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ХП традиционно принимается равной (+ 15) °С.

Воздух удаляется через местные отсосы от обрубных столов, очистных барабанов, гидropескоструйных, дробеструйных и дробемётных камер, точнольно-обдирочных и наждачных станков и из верхней зоны помещения. Запыленный воздух перед выбросом в атмосферу подвергается очистке: от очистных барабанов, дробеструйных и дробемётных камер – одноступенчатой в рукавных фильтрах, от остального оборудования – двухступенчатой сухим (в циклонах) и мокрым способом. Теплоизбытки значительные, степень тяжести работы – тяжёлая.

Подача воздуха в холодный период года – механическая, рассеянно, в верхнюю зону. В тёплый – естественная через нижние фрамуги окон. Коэффициент воздухообмена равен 2,0.

Колошниковая площадка вагранок.

Теплоизбытки значительные, степень тяжести работы – тяжёлая. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ХП традиционно принимается равным (+15) °С.

Удаление воздуха – естественное, через фонарь, или механическое, через шахты. Вытяжные шахты располагают на расстоянии 1...1,5 м от фронта вагранок. При ручной завалке вагранок необходимо устанавливать зонты над загрузочным окном.

Подача воздуха производится рассеянно в рабочую зону механическим путём из расчёта 1000 м³ на 1 тонну выплавляемого металла и с помощью воздушных душей. Коэффициент воздухообмена равен 1,43.

Таблица 9.11

Интенсивность теплового облучения

Наименование помещения	Наименование рабочего места	Степень тяжести работ	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² .
Колошниковая площадка вагранок	Кабина шарнирного крана	Лёгкая	350 - 700
	Загрузочная площадка вагранок	Тяжёлая	700 - 1400

Помещение колошниковой площадки вагранок должно быть оборудовано общеобменной вентиляцией с механическим притоком и естественной вытяжкой. Объём притока надлежит принимать 1000 м³/ч на 1 т выплавляемого

металла с подачей на место наибольшей длительности пребывания рабочих. Вытяжные отверстия в фонаре или шахте, в перекрытии необходимо располагать на расстоянии 1...1,5 м от фронта вагранок.

Склад опок и готового литья. Производится хранение опок и готовых отливок. *Расчётная температура воздуха помещения:* не нормируется в ХП, ПП и ТП.

Туннели под выбивными решётками. Производится уборка земли. *Расчётная температура воздуха помещения:* в ХП традиционно принимается в пределах от + 15 до + 20 °С.

Галерея транспортировки обратной земли.

Теплоизбытки значительные, степень тяжести работы – средней тяжести.

Удаление воздуха производится от транспортёров магнитных сепараторов и из верхней зоны. Удаляемый запылённый воздух проходит перед выбросом в атмосферу сухую и мокрую очистку.

Приточный воздух подаётся сосредоточенно в верхнюю зону со скоростью не более 2 м/с. Коэффициент воздухообмена равен 1. Транспортёрная лента, с помощью которой транспортируется горелая земля, имеющая высокую температуру, является источником не только тепловыделений, но и пыли, поэтому те участки, на которых горелая земля имеет высокую температуру, должны быть укрыты сплошным кожухом. Кожуховое укрытие состоит из неподвижных и сдвижных частей. Вытяжные воздуховоды присоединяются к неподвижным секциям. Поскольку удаляемый воздух содержит значительные количества пыли, вытяжная система относится к аспирационным. В воздуховодах должно поддерживать повышенные скорости воздуха, кроме того, во избежание скапливания пыли в воздуховодах горизонтальные участки рекомендуется прокладывать под углом 60° к горизонту. В качестве 1-й ступени очистки применяются циклоны. Уловленная пыль возвращается на

транспортёрную ленту. Сдвижные участки необходимы для наблюдения и ремонта транспортёра.

Склад моделей. Производится хранение текущего запаса моделей. *Расчётная температура воздуха помещения:* традиционно принимается равной (+ 16) °С.

Вентиляция кабин мостовых кранов.

Мостовые краны, обслуживаемые крановщиками, в формовочных, заливочных и землеприготовительных отделениях (при наличии в последних сушильного оборудования) должны оборудоваться закрытыми кабинами, в прочих отделениях, допускается применение открытых кабин. В закрытые кабины кранов должен подаваться наружный воздух, подогреваемый в холодное время года. Воздух должен подаваться непрерывно, включая и режим движения и останова в любой точке цеха.

9.2.7. Организация аэрации в литейных цехах

В литейных цехах предлагается устраивать аэрацию при наличии остаточных теплоизбытков. Под избыточными теплоизбытками, остающиеся после удаления части теплоизбытков через местные отсосы. *Фонари над плавильным, заливочным, сушильным и выбивным отделениями должны быть расположены не ниже, чем над отделениями, не выделяющими теплоты, а лучше, выше фонарей отделений, не выделяющих теплоту.* С этой целью применяют разновысокие цехи. Открывающиеся створные переплёты в фонарях и окнах должны оборудоваться механическими или ручными устройствами для открывания и обслуживаемыми с пола цеха.

Аэрационные фонари должны выполняться в незадуваемом исполнении.

Продольные оси фонарей над горячими участками (плавки, заливки, выбивки, сушки) должны располагаться параллельно производственному потоку и, по возможности, под углом 60...90° к направлению ветров, господствующих в летнее время.

9.3. Особенности вентиляции термических цехов

Термические цехи подразделяются на:

- основные цехи - для обработки деталей основной продукции предприятия;
- вспомогательные – для обработки деталей вспомогательного производства: режущих инструментов, штампов и т. д.

В свою очередь, основные цехи делятся на:

- черновые, осуществляющие термическую обработку полуфабрикатов до их механической обработки;
- чистовые – выполняют обработку деталей после их механической обработки;
- объединённые – выполняют обработку изделий обоих перечисленных выше видов.

Основные производственные вредности термических цехов: тепловыделения, лучистое тепло, пары масла и воды от закалочных ванн, окись углерода, сернистый газ, аммиак, окислы азота, цианистый водород, различные углеводороды и др.

В термических цехах выполняются операции придания металлическим изделиям требуемых качеств.

К числу основных операций относятся:

- 1) Отжиг и нормализация изделий из углеродистой стали с нагревом до 750...900 °С и изделий из легированной (быстрорежущей) стали с нагревом до 1100...1200 °С для придания металлу однородной структуры и равномерной

твёрдости. Нагрев ведётся в камерных и муфельных печах или электродносоляных ваннах с расплавленными хлористым натрием или хлористым барием. Иногда нагрев осуществляется токами высокой частоты. Процесс отжига заключается в постепенном нагреве металла до указанных температур, выдержке и постепенным охлаждением металла в печи. Отжиг служит для устранения остаточного напряжения и твёрдости послековки. Нормализация аналогична отжигу с тем отличием, что остывание происходит на воздухе;

2) Цементация – процесс обогащения поверхностного слоя металла углеродом с образованием карбида железа («науглероживание») протекает при температуре 900...950 °С в муфельных и камерных печах в среде, содержащей порошкообразный уголь (твёрдый карбюризатор) или богатые углеродом газы (газовая цементация). К последним относятся нефтяной газ, природные газы (метан, пропан, бутан), продукты гидролиза нефти, керосина, масел, мазута и др.

3) Закалка – придание стальным изделиям твёрдости нагревом до температуры 750...850 °С с последующим быстрым охлаждением. Нагрев ведётся в камерных или шахтных печах, закалка – в масляных или водяных ваннах (баках). Иногда применяется воздушная закалка путём обдува нагретых поверхностей струёй сжатого воздуха;

4) Отпуск – снятие внутренних напряжений в металле, образующихся в процессе закалки. Низкий отпуск ведётся при температурах 250...300 °С в масляных или в ваннах с расплавленным свинцом. Высокий отпуск – при температуре 800...900 °С в соляных ваннах, оборудованных электронагревом;

5) Цианирование – одновременное обогащение поверхностного слоя металла углеродом (для придания твёрдости) и азотом (для придания устойчивости против истирания). Процесс проводится в ваннах или

заполненных расплавленными солями цианистых соединений тигельных сетях с электрообогревом;

б) Азотирование (или азотизация) – придание поверхности металла износоустойчивости за счёт обогащения азотом. Процесс ведётся в камерных печах при температуре 500...600 °С в среде аммиака, который при диссоциации освобождает азот, поглощаемый поверхностью металла. Водород при этом сгорает. В некоторых случаях вместо аммиака в печь подаётся под давлением газообразный азот из баллонов.

В перечисленном выше тепловом оборудовании в качестве топлива используются мазут, природный газ, уголь (крайне редко) или же имеется электронагрев: электродуговой, или электронагреватели сопротивления.

Оборудование термических цехов состоит из:

- основного, предназначенного для нагрева и охлаждения деталей;
- дополнительного – для очистки, правки изделий, их контроля;
- вспомогательного – для приготовления контролируемых атмосфер, средств транспортировки готовой продукции.

Конструкции теплового оборудования весьма многообразны.

Практически в каждом термическом цехе имеется отделение нагрева деталей токами высокой частоты – отделение ТВЧ.

Установка для нагрева деталей токами высокой частоты состоит из генератора - преобразователя тока, подающего энергию на индукционный нагревательный контур. Нагревательный контур представляет собой цилиндрическую полую катушку, выполненную из медных трубок, охлаждаемых водой. Нагреваемая деталь помещается в середину катушки и нагревается до требуемой температуры токами высокой частоты. Наиболее часто нагрев детали токами высокой частоты производится для последующей закалки детали в масле или воде, а также для наварки режущих частей инструмента.

Работы, выполняемые в термических цехах, относятся к категории работ средней тяжести – IIб.

Максимальные тепловыделения промышленной печью наблюдаются при стационарном тепловом режиме печи, который наступает спустя некоторое количество часов после начала работы. В этот период потребляемая печью мощность равна теплотерям печи или поступлениям теплоты от печи в помещение. Ранее эта мощность называлась *мощностью холостого хода*. В каталогах на печное оборудование она может быть указана: непосредственным значением электрической мощности, процентом от номинальной мощности печи. Если такие данные отсутствуют, тепловыделения вычисляют с помощью удельных тепловыделений, поступающих от 1 кВт установочной мощности, зависящей от вида печи (таблица 9.12).

Таблица 9.12.

Удельные тепловыделения печей различного назначения

Вид печи	Уд. выделения теплоты Вт/кВт
Камерные, шахтные, методические	200
Колокольные	130
Муфельные	150
Печи - ванны	400
Печи без указания вида	250

Тепловыделения от установок высокой частоты – ТВЧ в термических цехах принимаются равными, Вт:

$$Q = N \eta_{\text{общ}}$$

где N – мощность установки, кВт; $\eta_{\text{общ}} = 0,08...0,12$ – суммарный коэффициент, характеризующий стабильный режим работы установки с учётом теплоты, содержащейся в нагретом металле.

Тепловыделения от остывающего металла в термических цехах. Весь металл, подвергшийся процессу закалки остывает в помещении до температуры окружающего воздуха. При переносе его от нагревательной печи до закалочной ванны остывает на 80...100 °С. Прочее тепло расходуется на нагрев и испарение воды и масла. Выделения теплоты от металла, обрабатываемого в электрических печах и ваннах, принято оценивать 20...22% теплового эквивалента установочной мощности печей и ванн. Тепловыделения от карбюризаторов (смесь угля и извести), учитывать в тепловом балансе цеха учитывать не принято.

Метеорологические условия в печных залах и отделениях высокотемпературного цианирования термических цехов должны соответствовать ГОСТ 12.1.005 – 88.

Во всех производственных помещениях принято отопление совмещать с приточной вентиляцией. Дежурное отопление тоже осуществляется приточными и душирующими системами в режиме полной рециркуляции.

Термические цехи вентилируются по схеме смешанной вентиляции. Общеобменный воздухообмен рассчитывается:

- в печных залах – на ассимиляцию теплоизбытков с проверкой в холодный период года на растворение окиси углерода и сернистого ангидрида при наличии в зале печей на жидком и газообразном топливе;
- в отделениях цианирования - на ассимиляцию теплоизбытков с проверкой достаточности воздухообмена на разбавление до концентрации ПДК цианистого водорода;
- в отделениях токов высокой частоты – на ассимиляцию теплоизбытков. Расчётный воздухообмен не может быть менее объёма вытяжки через местные отсосы;
- в отделениях очистки – равен объёму местной вытяжки через местные отсосы.

На рабочих местах, подверженных тепловому облучению устраивается воздушное душирование в соответствии с интенсивность теплового облучения.

Ориентировочные значения интенсивности теплового облучения:

- у масляных закалочных ванн, селитровых и щелочных ванн с газовым подогревом, шахтных отпускных электропечей, камерных газовых печей с выдвижным подом – $350...700 \text{ Вт/м}^2$;

- у шахтных газовых и цементационных электропечей, печей – ванн электродно – соляных ($t - 900^\circ\text{C}$), тигельных газовых печей, агрегатов для отпуска изделий, столов для наплавки твёрдых сплавов – $700...1400 \text{ Вт/м}^2$;

- у печей – ванн электродно – соляных ($t = 1300^\circ\text{C}$), агрегатов для закалки и цианирования, камерных газовых и электрических печей для закалки, колодцев для охлаждения изделий – $1400...2100 \text{ Вт/м}^2$.

Помещения цианирования и хранения цианистых печей должны быть оборудованы самостоятельными вентиляционными установками с пускателями снаружи помещения.

Вентиляционный выброс от печей предусматривается на высоте не менее 2-х метров от наиболее высокой части кровли. Вентиляционные выбросы от оборудования для очистки деталей (дробемётные, дробеструйные камеры и т. д.) очищаются в мокрых пылеуловителях.

9.4. Вентиляция гальванических цехов

Краткие сведения о технологии металлопокрытий. Покрытие поверхности делали или изделия тонким слоем другого металла выполняется последовательностью операций химической и электрохимической обработки в водных растворах минеральных кислот, солей и щелочей, включающих в себя обезжиривание, травление и нанесение покрытия.

Процесс осуществляется гальванических ваннах, размер которых определяется габаритами обрабатываемых деталей и производственной

программой предприятия. Применяются стационарные, отдельно стоящие ванны с ручной загрузкой, ванны, установленные в ряды с механизированной загрузкой – выгрузкой, агрегаты и автоматические линии.

Применяются автоматические линии двух типов: автооператорные и кареточные. В автооператорных линиях ванны одной длины устанавливаются одна к другой, а направление движения подвесок перпендикулярно продольной оси ванны. В кареточных линиях ванны имеют разную длину в зависимости от числа одновременно загружаемых подвесок и установлены последовательно. Направление движения подвесок параллельно продольной оси ванны.

При отсутствии полной автоматизации и дистанционного управления оборудованием работа в гальванических цехах относится к категории средней тяжести работы.

В случае применения стационарных ванн, рабочие места расположены практически у всех ванн. Технологический процесс мало механизирован, количество работников максимально. При использовании агрегатов и автоматических линий количество рабочих мест сокращается до двух для каждого агрегата и технологической линии. На этих местах рабочие выполняют загрузку – выгрузку изделий в барабаны или монтаж – демонтаж подвесок. Обслуживание автоматических линий выполняется оператором, постоянного рабочего места не имеющего.

Число токсичных компонентов растворов невелико. Наиболее распространены: серная соляная, азотная и плавиковая кислоты, едкий натр цианистые соли, хромовый ангидрид и соли никеля.

Выделения вредных веществ в воздух помещения происходит как в результате испарения летучих веществ с открытой поверхности растворов, так и, главным образом, путём диспергирования и уноса мельчайших частиц раствора мельчайшими пузырьками водорода и кислорода.

Список литературы

1. СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция, кондиционирование.
2. Тертичник Е.И. Вентиляция: Учебник. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 608 с.
3. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
4. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.