

Глава 1. Энергосбережение, энергоэффективность и энергосберегающее инженерное оборудование в зданиях

1.1. Понятие энергоэффективности и нормативная база в области энергосбережения

Важнейшим государственным программным документом в сфере *энергосбережения* в России является Закон РФ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» №261-ФЗ» от 23 ноября 2009 года. Кроме того, к таким документам относится Энергетическая стратегия России, последняя действующая редакция которой на период до 2030 года была одобрена постановлением Правительства РФ № 1715-р от 13 ноября 2009 г. В ее предыдущем варианте (до 2020 года), в частности, констатируется (см. О.Д. Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.), что в стране сложилась крайне высокая энергоемкость экономики, в 3 – 4 раза превышающая удельную энергоемкость экономики развитых стран Запада. В условиях повышения экономических и экологических факторов в жизни общества это снижает конкурентоспособность отечественных товаров не только на мировом, но и на внутреннем рынке. Следует также иметь в виду, что для экономически развитых стран с 80-х годов вообще произошел переход к ресурсо- (в том числе энерго-) сберегающему типу развития на новой технологической основе. В частности, увеличение за это время ВВП США на 38% произошло практически без роста энергопотребления, а в целом для стран – членов ОЭСР коэффициент эластичности спроса на первичную энергию по ВВП составил к 1984 году лишь 0,15. При этом изменение цен на топливо – их стабилизация и даже снижение – уже не останавливают начавшегося процесса энергосбережения.

Поэтому коренное повышение энергоэффективности экономики является центральной задачей Энергетической стратегии. Для повышения действенности энергосберегающей политики Стратегия предполагает осуществление целостной системы правовых, административных и экономических мер. В частности, имеется в виду пересмотр существующих норм в направлении ужесточения требований к энергосбережению, совершенствование правил учета и контроля энергопотребления, установление стандартов энергопотребления, проведение регулярного энергетического аудита, представление государственных гарантий и прямой финансовой поддержки энергосберегающих проектов. При этом указывается, что только за счет малозатратных мер, окупаемых уже при нынешней цене на топливо, можно уменьшить энергопотребление в теплоснабжении на 67 – 76 млн. Гкал в год, общий потенциал энергосбережения оценивается в 345 – 410 млн. Гкал в год, или 15 – 20% от общего энергопотребления в 2000 году.

В 2015 году в соответствии с Федеральным законом от 28 июня 2014 г. № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» был также разработан проект Энергетической стратегии на период до 2035 года (ЭС-2035). В ЭС-2035 предписывается необходимость снижения удельных показателей загрязнения окружающей среды предприятиями топливно-энергетического комплекса (ТЭК), минимизация негативного воздействия потребления энергоресурсов на окружающую среду, климат и здоровье людей, а энергосбережение является одним из ключевых направлений указанного процесса.

В соответствии с ФЗ № 261, под *энергоэффективностью* понимается отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта. Если речь идет не о приборах и оборудовании, которые непосредственно потребляют энергию и создают конкретный продукт, а о

пассивных системах и конструкциях (например, ограждениях здания), смысл энергоэффективности в этом случае целесообразно понимать несколько иначе – как степень приближения к минимально возможному для имеющихся условий расходу энергоресурсов, необходимых для функционирования здания и его инженерных систем. В этом случае она характеризуется *коэффициентом снижения энергопотребления* и *коэффициентом полезного использования энергии зданием*.

Коэффициент снижения энергопотребления – отношение снижения суммарного удельного годового энергопотребления здания за счет повышения теплозащиты ограждающих конструкций и применения энергосберегающих мероприятий при проектировании инженерных систем здания к величине суммарного удельного годового энергопотребления в базовом варианте.

Коэффициент полезного использования энергии зданием – отношение количества энергии, полезно использованной для функционирования здания и его инженерных систем в течение года, к расходу энергии, поданной за год в здание от внешнего источника, в пересчете на первичное топливо.

Необходимость комплексного подхода к осуществлению энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и в первую очередь систем обеспечения их микроклимата не подлежит сомнению и обусловлена главным образом сокращением запасов минерального сырья и ископаемого органического топлива и, как следствие, их постоянным удорожанием. Следовательно, с экономической точки зрения энергосбережение не является самоцелью, а лишь средством для снижения суммарных затрат на возведение и последующую эксплуатацию здания. Поэтому всегда представляет интерес вопрос о выборе оптимального сочетания инженерных решений, обеспечивающих экономически обоснованное снижение энергопотребления. Но для этого нужно представлять себе структуру энергетического баланса здания и связанные с ней возможности изменения

энергозатрат по различным составляющим баланса. В таблице 1.1 представлена такая структура по данным разных источников (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.), для зданий, построенных до 1995 года, но составляющих до сих пор большую часть имеющейся застройки.

Таблица 1.1.

Энергетический баланс зданий (без учета электропотребления).

Здания	Доля в общих энергозатратах, %			
	Трансмиссионные теплопотери	Инфильтрация и подогрев воздуха для вентиляции	Всего на отопление и вентиляцию	Горячее водоснабжение (ГВС)
Жилые	28 – 42	30 – 48	70 – 78	22 – 30
Общественные	39 – 48	47 – 53	92 – 95	5 – 8

Таким образом, в жилых зданиях энергозатраты по всем составляющим сопоставимы, в общественных относительно меньше доля ГВС, но в обоих случаях наибольший вклад вносит подогрев инфильтрующегося или вентиляционного воздуха. Поэтому невозможно ограничиваться только одним повышением теплозащиты ограждающих конструкций – необходимы мероприятия, касающиеся и других направлений энергосбережения.

Для создания законодательной базы, позволяющей решать проблемы по оперативному внедрению новых инженерных решений и технологий, в том числе и в области энергосбережения, а также для устранения законодательных препятствий для бизнеса, реализующего инновационные проекты, 27 декабря

2002 года Президентом РФ был утвержден федеральный *Закон № 184-ФЗ «О техническом регулировании»* (ЗТР) с последующими изменениями от 2005 - 2017 г.г.

Основное его содержание заключается в коренном изменении подхода к техническому регулированию и разделению всех нормативных документов на два типа. Первый – обязательные (технические регламенты), содержащие исключительно требования безопасности, защиты жизни и здоровья людей, растений и животных, охраны окружающей среды и предотвращение введения потребителей в заблуждение, и утверждаемые в виде федерального закона или постановления Правительства РФ. Такие документы «с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие безопасность (промышленную, пожарную, механическую и т.д.), а также единство измерений» (Ст.7). Второй – все остальные (национальные стандарты, утверждаемые Национальным органом стандартизации; своды правил, утверждаемые иными органами исполнительной власти при отсутствии национальных стандартов, а также стандарты организаций). Они являются документами добровольного применения. При этом «со дня вступления в силу настоящего Федерального закона впредь до вступления в силу соответствующих технических регламентов требования, установленные нормативными правовыми актами Российской Федерации и нормативными документами федеральных органов исполнительной власти, подлежат обязательному исполнению только в части, соответствующей целям:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества; охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей» (Ст.46).

Таким образом, ЗТР допускает также и разработку стандартов организаций (коммерческих, общественных, научных и т.д.) добровольного применения.

В этой связи существенно расширяются возможности по разработке, принятию и использованию документов, соответствующих концепции оптимального нормирования, особенно если учесть, что в соответствии с упомянутым законом добровольные нормы могут быть признаны обязательными для контрагентов по договору между заказчиком и подрядчиком. Основную концепцию ЗТР можно свести к тому, что основная задача технических норм – показать, как НЕЛЬЗЯ проектировать, строить и эксплуатировать здания (технические регламенты), и как МОЖНО это делать (все остальные документы). Но нельзя требовать от нормативов, чтобы они показывали, как НУЖНО строить, поскольку при современном уровне развития науки и техники достижение параметров, превышающих минимально допустимые, в большинстве случаев, возможно несколькими способами, и фиксировать в нормах только один из них – означает давать необоснованные предпочтения одной определенной научной или практической школе и существенно ограничивать внедрение в широкое использование результатов научных исследований и практического опыта (см. О.Д. Самарин. Гидравлические расчеты инженерных систем. Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2016. – 132 с., О.Д. Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.).

В развитие ЗТР 29 июня 2015 года Президентом РФ был также подписан Федеральный закон № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Он относится в основном к национальным стандартам (ГОСТ), сводам правил и стандартам организаций, т.е. к добровольным документам в соответствии с ЗТР, и определяет их области применения, порядок разработки и утверждения, а также способы распространения.

Следует иметь, однако, в виду, что в СНИПах и ГОСТах, если они разработаны удачно и соответствуют современному уровню развития науки и техники, ничего плохого нет, ибо они содержат надежные, апробированные решения и рекомендации, основанные на опыте производства и строительства. Но это не означает, что нельзя и как-то по-другому, если кому-то удастся предложить лучший вариант, разумеется, в рамках соблюдения требований безопасности. Другое дело, что это повышает ответственность разработчиков научных, проектных и производственных решений, а схема страхования рисков от такого рода деятельности у нас в стране еще должным образом не отработана.

Наконец, во исполнение правительственной программы по разработке технических регламентов был принят **Федеральный Закон № 384-ФЗ «Технический регламент "О безопасности зданий и сооружений"»** (ТР БЗС). Он был подписан Президентом РФ 30 декабря 2009 года и вступил в силу с 1 июля 2010 года. В соответствии с частью 3 статьи 42 ТР БЗС распоряжением Правительства РФ от 21 июня 2010 года № 1047-р был утвержден перечень действующих на тот момент национальных стандартов и сводов правил, а также их частей, в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований ТР БЗС. Таким образом, распоряжение № 1047-р фактически предусматривает «распаковку» существующих документов с выделением из них обязательных и добровольных составляющих. В настоящее время производится пересмотр нормативной базы в области строительства, в том числе и актуализация основного документа в области строительной теплотехники – СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» для приведения его в соответствие с изменившимися требованиями законодательства, а именно во исполнение части 6 Ст.6 ТР БЗС, где содержится указание о необходимости такого пересмотра для документов, содержащих обязательные требования, не реже, чем раз в пять лет. Сейчас разработаны

актуализированные редакции (СП 50.13330.2012 с последующим Изменением № 1) и СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» (СП 131.13330.2012 с последующими Изменениями № 1 и 2) – введены с 1 июля 2013 г., а также СНиП 41-01-2003 (СП 60.13330.2016) – введен с 1 июля 2016 г. (вторая актуализированная редакция, первая – СП 60.13330.2012 – была введена уже с 1 января 2013 года), и некоторые другие. Кроме того, эта же статья предусматривает и возможность существования альтернативных документов, имеющих обязательный статус и регулирующих одну и ту же область нормирования, что является дальнейшим развитием идей, заложенных в ЗТР, хотя в настоящее время подобных нормативов пока не существует. Для обеспечения возможности применения актуализированных редакций СНиП и их частей на обязательной основе 26 декабря 2014 года Правительством РФ было принято новое постановление № 1521, содержащее обновленный перечень нормативных документов, вступающий в силу с 1 июля 2015 года с последующими изменениями от 29 сентября 2015 года – № 1033, и от 7 декабря 2016 года – № 1307. В частности, для СП 50 обязательными являются Разделы 1, 4 (пункты 4.3, 4.4 – влажностный режим ограждений и условия эксплуатации ограждающих конструкций) и 5 (пункты 5.1, 5.2, 5.4–5.7 – требования к теплозащите зданий). Сюда же входят и части Разделов 6 (пункт 6.8 – солнцезащита), 7 (пункт 7.3 – нормируемая воздухопроницаемость), 8 (подпункты "а" и "б" пункта 8.1 – требуемое сопротивление паропрооницанию), 9 (пункт 9.1 – нормируемое теплоусвоение полов), а также приложение Г (см. Лекцию 2). Для СП 131 в обязательные включены Разделы 1 и 3 – 13, т.е. практически весь документ, кроме «Общих положений» и Приложений, которые являются справочными.

Нужно отметить, что работа по совершенствованию и актуализации нормативной базы непрерывно продолжается, так, например, в соответствии с положениями ФЗ-184 ЗТР 17 апреля 2019 принят и вступил в силу приказ № 831 «Об утверждении перечня документов в области стандартизации, в

результате применения которых на добровольной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ "Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений»", который по состоянию на ноябрь 2019 года предписывает применение на добровольной основе актуализированных нормативных документов: СП 50.13330.2012 "СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»" (с изменением № 1), СП 60.13330.2016 "СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха»" (с изменением № 1), СП 131.13330.2018 "СНиП 23-01-99* «Строительная климатология»", СП 230.1325800.2015 "Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей" (с изменением № 1), СП 345.1325800.2017 "Здания жилые и общественные. Правила проектирования тепловой защиты".

1.2. Особенности выбора теплозащиты наружных ограждений и методика оценки энергопотребления здания по СП 50.13330.2012

Особенностью данного документа (далее – СП 50) по сравнению с предыдущей редакцией (СНиП 23-02-2003) является введение понятия *удельной теплозащитной характеристики здания* $k_{об}$, Вт/(м³·К). По определению она равна отношению суммарных теплотерь за счет теплопередачи через наружные ограждающие конструкции $Q_{тп}$, Вт, к отапливаемому объему здания $V_{от}$, м³, и к расчетной разности температур внутреннего и наружного воздуха ($t_{в} - t_{н5}$), °С (формулы (Ж.1) – (Ж.3), здесь и далее имеется в виду актуализированная версия СНиП 23-02-2003, т.е. СП 50):

$$\begin{aligned}
 k_{об} &= \frac{Q_{тп}}{V_{от}(t_{в} - t_{н5})} = \frac{\sum \left(\frac{n_i A_i}{R_i} \right) (t_{в} - t_{н5})}{V_{ом}(t_{в} - t_{н5})} = \frac{\sum \left(\frac{n_i A_i}{R_i} \right)}{V_{от}} \\
 &= \frac{\sum A_i}{V_{от}} \cdot \frac{\sum \left(\frac{n_i A_i}{R_i} \right)}{\sum A_i} = K_{комп} K_{общ}
 \end{aligned}
 \tag{1.1}$$

где $K_{\text{общ}}$, Вт/(м²·К) – общий коэффициент теплопередачи оболочки здания, и коэффициент компактности здания $K_{\text{комп}}$, м⁻¹, являясь их произведением. Другие параметры в формуле для $k_{\text{об}}$: A_i и R_i – соответственно площадь, м², и сопротивление теплопередаче, м²·К/Вт, i -го наружного ограждения (наружных стен, окон, покрытий, перекрытий над техподпольем, полов по грунту и т.д.); n_i – коэффициент положения i -го ограждения по отношению к наружному воздуху. Для основных ограждений можно использовать значения: наружные стены, окна, бесчердачные покрытия, полы по грунту – 1; чердачные перекрытия – 0,9; полы над неотапливаемыми подвалами – 0,6. Разность температур в выражение для $k_{\text{об}}$ уже не входит, поскольку сокращается при делении числителя на знаменатель. Следовательно, при использовании величины $k_{\text{об}}$ теплозащитные свойства оболочки можно охарактеризовать более полно, потому что она сочетает сразу два показателя: $K_{\text{общ}}$ и $K_{\text{комп}}$. Расчет $k_{\text{об}}$ описан в п.п. 5.5 – 5.6 СП 50, а значит, по упомянутому Постановлению Правительства РФ № 1521 является обязательным.

Предельный уровень этой характеристики ограничивается нормируемой величиной $k_{\text{об}}^{\text{тр}}$ в зависимости от значения $V_{\text{от}}$ и градусо-суток отопительного периода в районе строительства ГСОП, °С·сут/г. (формула (5.5) СП 50):

$$k_{\text{об}}^{\text{тр}} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{\text{от}}}}, \text{ для } V_{\text{от}} \leq 960 \text{ м}^3; \quad (1.2)$$

$$k_{\text{об}}^{\text{тр}} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{\text{от}}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61}, \text{ для } V_{\text{от}} > 960 \text{ м}^3.$$

Значения R_i принимаются по выражению $R_o^{\text{норм}} = R_o^{\text{тр}} m_p$, где $R_o^{\text{тр}}$ – базовое значение, определяемое через ГСОП по таблице 3 СП 50; m_p – региональный коэффициент, минимальный уровень которого составляет 0,63 для наружных

стен, 0,95 для светопрозрачных конструкций (по Изменению № 1 – 1.0) и 0,8 – для всех остальных. Затем проверяется условие $k_{об} \leq k_{об}^{тр}$. Если оно не выполняется, необходимо брать $m_p > 1$. Снижение m_p до указанных выше пределов в соответствии с СП 50 с Изменением № 1 допускается в случае выполнения требований по расходу тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания по методике Приложения Г из СП 50. Одновременно при необходимости можно определить, насколько можно уменьшить одно из m_p при увеличении другого, чтобы сохранить при этом значение $k_{об}$ на необходимом уровне. Редакция СП 50 от 2018 года допускает снижение m_p при строгом выполнении условия $k_{об} < k_{об}^{тр}$.

Оценка энергоэффективности здания в соответствии с требованиями актуализированной редакции СП 50 в основном сводится к расчету удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию $q_{от}^p$, Вт/(м³·К), по методике приложения Г данного документа, также являющегося обязательным по Постановлению Правительства РФ № 1521. Соответствующие расчетные формулы выглядят так (формула (Г.1) СП 50):

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад})\nu\zeta](1 - \xi)\beta_h. \quad (1.3)$$

Здесь параметры $k_{вент}$, $k_{быт}$ и $k_{рад}$, Вт/(м³·К), представляют собой соответственно удельную вентиляционную характеристику здания, удельную характеристику бытовых тепловыделений здания и удельную характеристику теплопоступлений в здание от солнечной радиации. Параметр ν – это коэффициент снижения теплопоступлений за счет тепловой инерции ограждающих конструкций, $\nu = 0,7 + 0,000025(\text{ГСОП} - 1000)$; ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления. Множитель β_h – это коэффициент, учитывающий дополнительное теплопотребление системой отопления, связанное с дискретностью номинального теплового потока номенклатурного ряда отопительных

приборов, с их дополнительными теплотерями через заприборные участки ограждений, теплотерями трубопроводов, проходящих через неотапливаемые помещения. Коэффициент ξ учитывает снижение теплотребления жилых зданий при наличии поквартирного учета тепловой энергии на отопление ($\xi = 0.1$).

Величина $k_{об}$ рассчитывается по формуле (1.1); $k_{вент}$ – по формуле (1.4) (формула (Г.2) СП 50):

$$k_{вент} = 0.28cn_a\beta_v\rho_v^{вент}(1 - k_{эф}), \quad (1.4)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·К); n_a – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹; β_v – коэффициент снижения объема воздуха в здании, учитывающих наличие внутренних ограждающих конструкций. При отсутствии данных следует принимать $\beta_v = 0,85$; $\rho_v^{вент}$ – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³, равная $353/(273+t_{от})$, где $t_{от}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период; $k_{эф}$ – коэффициент эффективности рекуператора (подробнее см. Главу 3). Таким образом, здесь уже учитывается на уровне расчетных формул возможность использования утилизации теплоты вытяжного воздуха.

В редакции СП 50 от 2018 года значения $q_{от}^p$ и $k_{вент}$ вычисляются по несколько измененным формулам:

$$q_{от}^p = k_{об} + k_{вент} - \beta_{КПИ}(k_{быт} + k_{рад}), \quad (1.3a)$$

Здесь множитель $\beta_{КПИ}$ – коэффициент полезного использования теплотеплуплений, определяемый по формуле:

$$\beta_{\text{КПИ}} = \frac{K_{\text{рег}}}{(1 + 0,5n_{\text{в}})}, \quad (1.4a)$$

где

$K_{\text{рег}}$ – коэффициент эффективности регулирования подачи теплоты в системах отопления;
 $n_{\text{в}}$ – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹.

$$k_{\text{вент}} = \frac{0,28c(L_{\text{вент}}\rho_{\text{в}}^{\text{вент}}n_{\text{вент}}(1 - k_{\text{эф}}) + G_{\text{инф}}n_{\text{инф}})}{168 \cdot V_{\text{от}}}, \quad (1.4б)$$

$L_{\text{вент}}$ – расчетный расход приточного воздуха в здание, м³/

ч; $n_{\text{вент}}$ – продолжительность работы механической вентиляции за неделю, выражаемая в часах;

$n_{\text{инф}}$ – число часов учета инфильтрации в течение недели, ч, равное 168 для зданий с механической вытяжной вентиляцией и $(168 - n_{\text{вент}})$ для зданий, в помещениях которых поддерживается подпор воздуха во время действия приточной механической вентиляции.

Характеристика $k_{\text{быт}}$ вычисляется по следующему выражению (формула (Г.6) СП 50):

$$k_{\text{быт}} = \frac{q_{\text{быт}}A_{\text{ж}}}{V_{\text{от}}(t_{\text{в}} - t_{\text{от}})}, \quad (1.5)$$

где $q_{\text{быт}}$ – величина бытовых тепловыделений на 1 м² площади жилых помещений ($A_{\text{ж}}$), принимаемая от 10 до 17 Вт/м² в зависимости от заселенности (соответственно более 45 и менее 20 м² общей площади на человека) или расчетной площади ($A_{\text{р}}$) общественного здания – по расчету.

Характеристика $k_{\text{рад}}$ вычисляется по следующей формуле ((Г.7) СП 50):

$$k_{\text{рад}} = \frac{11,6Q_{\text{рад}}^{\text{год}}}{V_{\text{от}}\Gamma_{\text{СОП}}}, \quad (1.6)$$

где $Q_{\text{рад}}^{\text{год}}$, МДж/г. – теплопоступления через окна и фонари от солнечной радиации за отопительный период.

Полученное значение $q_{от}^p$ используется для вычисления фактического удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, кВт·ч/(м³·г.):

$$q = 0,024ГСОПq_{от}^p, \quad (1.7)$$

или в качестве варианта для получения результата в размерности кВт·ч/(м³·г.) значение нужно домножить на h – высоту этажа, м.

Величина $q_{от}^p$ затем сравнивается с требуемым уровнем $q_{от}^{тр}$, приведенным в таблицах 13 и 14 СП 50, после чего делается вывод о соответствии здания нормам удельного энергопотребления с учетом принятого класса энергетической эффективности здания по таблице 15 СП 50. Для нового строительства рекомендуется один из трех следующих классов: А (очень высокий) с $q_{от}^p$ ниже, чем $q_{от}^{тр}$, на 40% и более; В (высокий), для которого $q_{от}^p$ ниже, чем $q_{от}^{тр}$, на величину от 15 до 40%, и С (нормальный), с отклонением $q_{от}^p$ от $q_{от}^{тр}$ в пределах от +15% до –15%. В настоящее время данные значения уточняются с перспективой к их ужесточению.

Расчет завершается составлением энергетического паспорта здания (приложение Д СП 50).

В качестве примера приведем результаты расчетов $k_{об}$, $k_{об}^{тр}$, а также $q_{от}^p$ и $q_{от}^{тр}$ (в размерности Вт/(м³·К)) для характерного здания-представителя – средней школы по типовому проекту 221-1-25-387 (см. Строительный каталог. Перечень типовой документации общественных зданий для строительства в городах и поселках городского типа. – М.: ГУП ЦПП. – 1994) – в трех регионах России с различными климатическими условиями. Величина $V_{от}$ для данного здания равна 10100 м², а коэффициент компактности $K_{комп}$, м⁻¹, представляющий собой отношение суммарной площади наружных ограждений ΣA_i , м², к $V_{от}$, м³, для данного объекта равен 0.423. Средняя кратность воздухообмена механической вентиляции в рабочее время $n_{раб} = 1,5$ ч⁻¹, продолжительность рабочего времени

10 часов в сутки, тогда $n_a = 1,5 \cdot 10 / 24 = 0,625 \text{ ч}^{-1}$. Значение $q_{\text{быт}}$ принято по расчету (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.) равным $14,9 \text{ Вт/м}^2$. Если взять для примера, скажем, Краснодар (ГСОП = 2682 по СП 131.13330.2012), Москву (ГСОП = 4944) и Воркуту (ГСОП = 8905), получается следующая картина. В таблице 1.2 приведены значения $k_{\text{об}}$ и $q_{\text{от}}^{\text{p}}$ для двух вариантов: 1 – требуемое сопротивление теплопередаче ограждений $R_0^{\text{тр}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, непосредственно по таблице 3 СП 50, т.е. при $m_p = 1$; 2 – с минимально допустимыми m_p (0,63 для наружных стен, 0,95 для светопрозрачных конструкций и 0,8 – для полов, потолков и т.д.). Коэффициент эффективности рекуператора k был принят равным нулю, чтобы получить максимально возможную величину $q_{\text{от}}^{\text{p}}$. В этом случае, если даже при $k = 0$ окажется, что $q_{\text{от}}^{\text{p}} < q_{\text{от}}^{\text{тр}}$, то при $k > 0$ это условие будет соблюдаться еще лучше. Требуемый по таблице 14 СП 50 уровень энергопотребления $q_{\text{от}}^{\text{тр}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, указан в третьей колонке, а вычисленные по формуле (1.2) ((5.5) СП 50) значения $k_{\text{об}}^{\text{тр}}$ – в шестой. В двух последних колонках таблицы 1.2 для наглядности приведена характеристика $k_{\text{вент}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, и сумма характеристик $k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}$ в той же размерности.

Таблица 1.2.

Теплоэнергетические показатели зданий образовательных учреждений

Регион	ГСОП	$q_{\text{от}}^{\text{тр}}$	$q_{\text{от}}^{\text{p}}$		$k_{\text{об}}^{\text{тр}}$	$k_{\text{об}}$		$k_{\text{вент}}$	$k_{\text{быт}} + k_{\text{рад}}$
			Вариант 1	Вариант 2		Вариант 1	Вариант 2		
			1	2		1	2		
Краснодар	2682	0,440	0,262	0,316	0,271	0,238	0,286	0,189	0,244
Москва	4944	0,440	0,243	0,284	0,207	0,169	0,205	0,195	0,186
Воркута	8905	0,418	0,226	0,255	0,147	0,12	0,145	0,198	0,147

Таким образом, оказывается, что даже после допустимого снижения теплозащиты величина $q_{от}^p$ будет ниже, чем $q_{от}^{тр}$, и довольно существенно, особенно в северных районах, даже при отсутствии утилизации теплоты в системах вентиляции. Условие $k_{об} \leq k_{об}^{тр}$ тоже при этом соблюдается практически всегда, и только в самых южных районах во втором варианте наблюдается небольшое превышение. Это означает, что значения m_p при этом следует брать не на минимально допустимом уровне, а несколько выше его, но в любом случае меньше единицы, т.к. в первом варианте $k_{об}$ и здесь существенно меньше, чем $k_{об}^{тр}$. Таким образом, m_p можно принимать меньше единицы практически всегда.

Следует отметить, что значения R_i для светопрозрачных конструкций значительно зависят от температуры наружного воздуха. Поэтому при расчете $k_{об}$ для последующего вычисления $q_{от}^p$ и оценки класса энергосбережения здания, в отличие от расчета для проверки условия $k_{об} \leq k_{об}^{тр}$, величину R_i для окон, строго говоря, необходимо принимать для средних условий отопительного периода. Авторами некоторых работ (О.Д.Самарин, П.В.Винский. Подтверждение экспериментальной оценки теплозащитных свойств оконных блоков. // Журнал «СОК». 2018. № 4. С. 81 – 83, О.Д.Самарин, П.В.Винский. Теоретическое обоснование экспериментальной зависимости для сопротивления теплопередаче оконных блоков. // Журнал «СОК». 2020. № 1. С. 85 – 87) показывается, что для современных заполнений светопроемов в виде стеклопакетов повышающий коэффициент к расчетному значению R_i должен составлять около 1,13.

1.3. Некоторые энергоэффективные решения для систем ОВ и КВ

В качестве основных малозатратных, быстрокупаемых и наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий в гражданских зданиях можно рассматривать следующие (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.):

- Утепление несветопрозрачных наружных ограждений до оптимального уровня.

- Замена остекления на более энергоэффективное.

- Утилизация теплоты вытяжного воздуха. Наименее затратным является применение схемы с промежуточным теплоносителем.

- Установка в системах ГВС индивидуальных водосчетчиков, смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором, а также применение ТНУ для подогрева воды.

- Установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, дающая возможность учесть бытовые тепловыделения, а также теплопоступления от солнечной радиации через окна.

- Другие мероприятия, возможные в конкретном проекте.

Для оценки сравнительной эффективности решений по снижению энергопотребления удобно использовать альтернативную методику, разработанную О.Д. Самариным для общественного Стандарта РНТО строителей «Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий» СТО 175 32043-001-2005. Стандарт был создан в соответствии с ЗТР и введен в действие с 1 января 2006 года постановлением расширенного заседания Бюро Совета РНТО строителей от 30 сентября 2005 года. Оценка энергоэффективности здания в соответствии с этим Стандартом основывается на сравнении двух вариантов устройства здания и его инженерных систем. За базисный вариант (далее – Вар.1) принимаем здание без энергосберегающих мероприятий и с наружными ограждениями по СНиП 23-02-2003 до внесения изменений №3 и №4, но с использованием в

качестве расчетной температуры наиболее холодных суток $t_{н1}$, °С, обеспеченностью 0,92 по данным СНиП 23-01-99* или, в настоящее время, СП 131.13330.2012:

$$R_1 = \frac{(t_{в.от} - t_{н1})n}{\alpha_{в}\Delta t^H}, \quad (1.8)$$

где: $t_{в.от}$ – средняя температура внутреннего воздуха в здании для расчета системы отопления; $\alpha_{в} = 8,7$ Вт/(м²·К) – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности конструкции; Δt^H – нормируемый перепад температур между воздухом помещения и внутренней поверхностью, принимаемый для зданий 1-й категории в размере 6°С, а для зданий 2-й категории – 7°С для наружных стен; для потолков соответственно 4 и 5,5°С; для полов – 2 и 2,5°С.

За альтернативный вариант (Вар.2) принимаем использование возможных энергосберегающих мероприятий, перечисленных выше.

Расчет сопротивлений теплопередаче по Вар.2 производится по методике Стандарта РНТО (автор Г.С.Иванов), основанной на технико-экономической оптимизации теплозащитных свойств несветопрозрачных ограждений, исходя из текущей стоимости теплоизоляционных материалов и единовременных затрат на устройство теплоизоляции. Соответствующая формула выглядит так:

$$R_2 = m_0 R_1, m_0 = n \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{1 + (B - 1)}{n}} \right]; \quad (1.9a)$$

$$B = \frac{C_p}{R_1 \lambda_{ут} C_{ут}}$$

Здесь R_1 и R_2 , (м²·К)/Вт – сопротивления теплопередаче по Вар.1 и Вар.2; $n = r_1/r_2$ – отношение коэффициентов теплотехнической однородности ограждающих конструкций соответственно до и после утепления, поэтому при $n = 1$ $m_0 \approx 1 + \sqrt{B}$; C_p , руб./м² – стоимость дополнительных единовременных

затрат сверх стоимости материала утеплителя, $C_{ут}$, руб./м³, и $\lambda_{ут}$, Вт/(м·К) – соответственно стоимость утеплителя и его теплопроводность.

Оценка энергоэффективности зданий по Стандарту РНТО сводится к определению их энергетической эксплуатационной характеристики. Она равна удельным суммарным затратам $\sum Q_i$ тепловой и электрической энергии, кВт·ч/(м²·г.), на 1 м² отапливаемой площади здания за один отопительный период в годовом цикле эксплуатации за вычетом тепlopоступлений $Q_{тп}$ от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через световые проемы:

$$q = 10^3 \left(\sum Q_i - Q_{тп} \right) / F_{от}, \quad (1.10)$$

Составляющие энергозатрат и тепlopоступления вычисляются следующим образом (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.):

А. Трансмиссионные тепlopотери, МВт·ч/г., за счет тепlopередачи через ограждающие конструкции оболочки зданий следует определять по формуле:

$$Q_1 = \beta_1 \beta_2 M \sum (n_i F_i / R_i) \cdot 10^{-3}, \quad (1.11)$$

Здесь: β_1 – коэффициент, учитывающий добавочные потери теплоты через ограждения, для жилых зданий $\beta_1 = 1,13$, для общественных $\beta_1 = 1,10$;

β_2 – коэффициент учета округления тепловой мощности отопительных приборов: для протяженных зданий $\beta_2 = 1,13$, для зданий башенного типа $\beta_2 = 1,11$;

$M = 0.024 \cdot \text{ГСОП}$ – характеристика отопительного периода, тыс. градусо-часов;

$t_{оп}, z_{оп}$ – средняя температура, °С, и продолжительность, сут, периода со средней суточной температурой воздуха ниже или равной 8°С по СП 131.13330.2012.

n_i – коэффициент, принимаемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху по таблице 5 СП 50.

F_i и R_i – площадь, м², и сопротивление теплопередаче, м²·К/Вт, ограждающих конструкций оболочки зданий: соответственно, наружных стен, окон, балконных дверей, перекрытия над неотапливаемым подвалом или техническим подпольем, пола по грунту, чердачного перекрытия или покрытия и др. Значения R_i принимаются в зависимости от варианта энергосберегающих мероприятий.

Б. Энергозатраты, МВт·ч/г., на подогрев инфильтрующегося холодного воздуха или воздуха для вентиляции помещений здания следует определять по формуле:

$$Q_2 = 10^{-3} \cdot 0,33MVK_p, \quad (1.12)$$

Здесь: $0,33 = \rho c / 3600 = 1,29 \cdot 1006 / 3600$ – коэффициент (ρ – плотность, c – удельная теплоемкость воздуха);

V – отапливаемый объем здания, м³;

K_p – эффективная кратность воздухообмена, ч⁻¹;

$$K_p = [(1 - k_{эф})z_p K_{рраб} + k(24 - z_p)K_{рн}] / 24, \text{ где}$$

z_p – продолжительность рабочего времени в учреждении;

$$K_{рраб} \text{ – кратность воздухообмена в рабочее время, ч}^{-1}, K_{рраб} = L_{расч} / V,$$

где $L_{\text{расч}}$ – расчетный воздухообмен, м³/ч, определяемый по данным проекта или, при отсутствии данных, по укрупненным показателям;

$K_{\text{рн}}$ – кратность воздухообмена в нерабочее время (при отсутствии данных может быть принята равной 0,5 ч⁻¹);

Для жилых зданий вместо произведения $V \cdot K_{\text{р}}$ следует применять произведение $3 \cdot F_{\text{жил}}$, где $F_{\text{жил}}$ – суммарная жилая площадь здания, м², исходя из нормативного воздухообмена 3 м³/ч на 1 м² жилой площади.

k – коэффициент учета встречного теплового потока при естественном воздухообмене здания; принимается равным 0,7 для стыков панелей стен и окон с тройными переплетами, 0,8 – для окон и балконных дверей с отдельными переплетами и 1,0 – для одинарных окон, окон и балконных дверей со спаренными переплетами и открытых проемов;

$k_{\text{эф}}$ – коэффициент температурной эффективности устройств утилизации теплоты при наличии механической вентиляции, принимаемый равным 0 в случае отсутствия утилизации теплоты вытяжного воздуха. При наличии утилизации коэффициент принимается по проектным данным, а при их отсутствии – в размере 0,4÷0,5 при использовании утилизаторов с промежуточным теплоносителем, 0,5÷0,55 при использовании рекуперативных утилизаторов, 0,6÷0,85 при использовании вращающихся регенераторов; при использовании ТНУ – до 1.

в. Энергозатраты на ГВС, МВт·ч/г.:

$$Q_3 = 1,163 \cdot 10^{-6} q_{u,m}^h \Delta t_{\text{оп}} k_h; \quad (1.14)$$

Здесь $q_{u,m}^h$ – норма расхода горячей воды в средние сутки, л/сут, принимаемая для жилых зданий в 12 этажей и ниже из расчета 105 л/сут на человека, выше 12 этажей – 115 л/сут на человека;

$1,163 \cdot 10^{-6} = (4,19/3,6) \cdot 10^{-6}$ МВт·ч/(кг·К) – удельная теплоемкость воды;

Δt – разность температур, К, холодной и нагретой воды в системе горячего водоснабжения, при отсутствии использования ВЭР для подогрева воды принимается равной 55; при использовании ВЭР принимается равной $60 - t_{вэр}$, где $t_{вэр}$ – температура нагреваемой воды после устройства, использующего ВЭР (ТНУ и др.). В нашем примере величина Δt во всех случаях принималась равной 55°C.

k_{\square} – коэффициент снижения расхода горячей воды за счет применения мер по энергосбережению (по [1], с. 10); $\Delta k_{\square,i}$ – относительное снижение расхода воды за счет того или иного мероприятия (по [1], с. 10); при отсутствии специальных мероприятий k_{\square} принимается равным 1.

Г. Энергопотребление всеми электроприводами инженерных систем здания (механическая вентиляция, кондиционеры, насосы водоснабжения, лифты), МВт·ч/г., следует определять по формуле:

$$Q_4 = 10^{-3} \sum N_{пр.i} k_{сп.i} z_{р.i} z_{оп}; \quad (1.15)$$

где: $N_{пр.i}$ – максимальная мощность различных электроприводов, кВт, принимаемая по проектным данным;

$k_{сп.i} < 1$ – коэффициент спроса на электроэнергию;

$z_{р.i}$ – продолжительность работы каждого потребителя в течение одних суток можно принимать: для насосов водоснабжения и лифтов – 24 час/сут; для систем механической вентиляции и кондиционирования – равным рабочему времени учреждения.

Для удобства пользования Стандартом значения коэффициентов спроса для основных потребителей включены непосредственно в текст Стандарта.

Д. Электропотребление на освещение помещений, а также электробытовыми приборами (кухонные плиты, стиральные машины,

компьютеры, телевизоры, теплые полы и пр.) определяется аналогично п.Г. со своими значениями мощности $N_{Э.i}$ и коэффициентов $k_{сп.i}$ и $z_{р.i}$:

$$Q_5 = 10^{-3} \sum N_{Э.i} k_{сп.i} z_{р.i} z_{оп}; \quad (1.16)$$

Для общественных зданий величину $z_{р.i}$ допускается принимать равной рабочему времени учреждения. Значение $k_{сп.i}$ $N_{изм}$, где $n_{Э.i}$ – удельная нагрузка, кВт/измеритель, $N_{изм}$ – измеритель (рабочее место, м², полезной площади и др.). Для удобства пользования Стандартом соответствующая таблица также включена непосредственно в его текст.

Для жилых зданий при отсутствии проектных характеристик

$$Q_5 = \beta_5 q_5 N_{чел} z_{оп} / 365; \quad (1.16a)$$

где $N_{чел}$ – число жителей в здании; q_5 – удельные затраты электрической энергии, МВт·ч / (чел·г.), принимаемые по таблице 1.3, приведенной в Стандарте РНТО:

Таблица 1.3.

Удельное электропотребление, q_5 , на освещение и бытовые нужды

Для жилого фонда, оборудованного:	q_5 , МВт·ч / (чел·г.), при количестве человек в семье:					
	1	2	3	4	5	6
Газовыми плитами	0,921	0,56	0,439	0,379	0,343	0,318
Электроплитами	1,541	0,94	0,719	0,639	0,579	0,538
Плитами на тв. топливе	1,447	0,795	0,578	0,470	0,405	0,361

β_5 – поправочный коэффициент, учитывающий число квартир в здании, принимаемый по таблице 1.4, , приведенной в Стандарте РНТО:

Таблица 1.4.

Значения поправочного коэффициента β_5

Для жилого фонда, оборудова нного:	Коэффициент β_5 при числе квартир в здании:												
	1–3	6	9	12	15	18	24	40	60	100	200	400	600
Газовыми плитами	5,26	4,04	3,07	2,54	2,28	2,02	1,75	1,40	1,23	1,05	0,88	0,79	0,75
Электропл итами	7,19	3,60	2,88	2,47	2,21	2,06	1,85	1,54	1,34	1,18	1,03	0,92	0,87
Плитами на тв. топливе	5,59	3,64	2,80	2,31	2,10	1,89	1,61	1,40	1,26	1,12	1,05	0,98	0,91

Е. Теплопоступления, МВт·ч/г., от людей, электробытовых приборов и солнечной радиации через светопрозрачные ограждения в случае, если эти теплопоступления можно полезно использовать, например, за счет установки автоматических терморегуляторов у отопительных приборов, следует определять по формуле:

$$Q_{\text{тп}} = Q_{\text{быт}} + Q_{\text{рад}} \quad (1.17)$$

Здесь: $Q_{\text{быт}} = Q_4 + Q_5 + 10^{-6} q_{\text{ч.я}} N_{\text{чел}} z_p z_{\text{оп}}$ – бытовые тепловыделения за отопительный период в годовом цикле;

$q_{ч.я}$ – поступления явной теплоты от одного человека, Вт/чел; рекомендуется $q_{ч.я}$ принимать равным 90 Вт/чел;

$N_{чел}$ – количество людей в здании, определяемое по проектным данным;

$$q_{быт} = Q_{быт} / (10^{-6} \cdot$$

$24z_{оп}F_{от})$ – бытовые тепловыделения на 1 м² пола отапливаемой площади. Данная и является контрольным параметром, т.к. должна составлять не менее 10 Вт/м²;

$Q_{рад} = \tau_{ок}k_{ок} \sum(F_{ок.i} I_i/3600)$ – солнечная радиация за отопительный период через окна;

$\tau_{ок}$ – коэффициенты, учитывающие затенение светового проема окон непрозрачными элементами заполнения, принимаемые по проектным данным;

$k_{ок}$ – коэффициенты относительного проникания солнечной радиации для светопропускающих заполнений окон, принимаемые по паспортным данным соответствующих светопропускающих изделий.

$F_{ок.i}$ – площадь светопрозрачных ограждений соответствующей ориентации, м²,

I_i – интенсивность солнечной радиации через окна, МДж/м², принимаемая по данным СП 131.13330.2012, в зависимости от их ориентации по сторонам света с учетом поправки на среднюю облачность (понижающий коэффициент около 0,6).

Таким образом, предлагаемая методика действительно позволяет учитывать все основные составляющие энергетического баланса здания, а при расчете каждой составляющей – все основные энергосберегающие мероприятия, а значит, пригодна для комплексной оценки энергоэффективности здания. После расчета энергетической эксплуатационной

характеристики по обоим вариантам определяется относительное снижение энергопотребления для Вар.2 за счет принятых решений по энергосбережению:

$$\Delta q = (1 - q_2/q_1) \cdot 100\%; \quad (1.18)$$

Далее величина Δq сравнивается с требуемым снижением энергопотребления, заданным заказчиком, и делается вывод о достаточности принятого комплекса энергосберегающих мероприятий. Рекомендуется принимать величину Δq в размере не менее 50%. После этого производится расчет абсолютного и относительного снижения энергопотребления по каждому мероприятию и оценивается их сравнительная энергетическая эффективность. Расчет завершается составлением энергетического паспорта здания и оценкой экономической целесообразности принятого решения по снижению энергопотребления.

На рисунке 1.1 (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.) представлен энергетический баланс зданий до и после реализации перечисленного комплекса энергосберегающих мероприятий, в таблице 1.5 объединены данные по относительному снижению энергопотребления за счет применяемых мероприятий в зданиях, рассмотренных в данной работе.

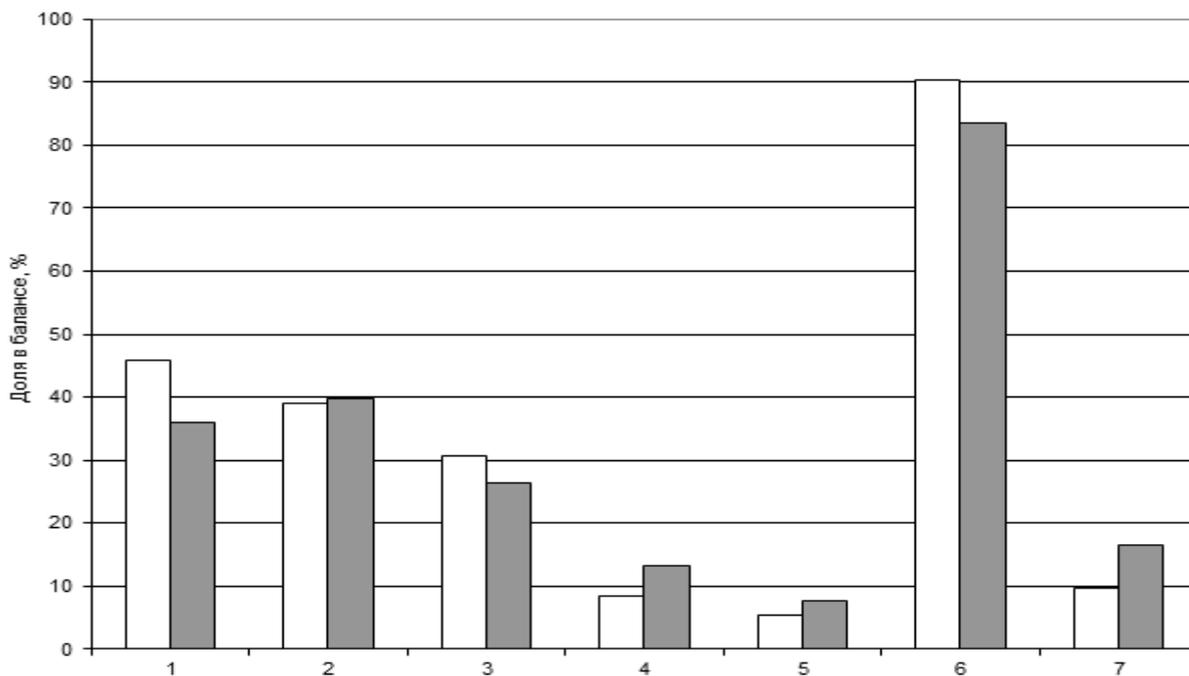


Рис.1.1. Энергетический баланс здания до и после реализации энергосберегающих мероприятий

Для наглядности среднее снижение энергопотребления изображено на рисунке 1.2 в виде столбчатой диаграммы. Здесь уже очевидно, что относительная энергетическая эффективность мероприятий в пределах выбранного комплекса обнаруживает чрезвычайную статистическую устойчивость. Можно показать, что средние значения при добавлении следующих объектов меняются уже очень незначительно, в пределах точности инженерного расчета. В несколько меньшей степени это характерно для абсолютного энергопотребления. Разница обуславливается в основном назначением и объемно-планировочными решениями, в том числе несовпадением коэффициентов компактности и соотношений площадей стен, окон и покрытий, а также различием норм по воздухообмену и расходу горячей воды.

Относительное снижение энергопотребления в % за счет применения
энергосберегающих мероприятий в общественных зданиях

Здания	Дополнительная теплоизоляция	Замена остекления	Теплоутилизация	Установка термоклапанов	Мероприятия ГВС	Всего
1	20	7,62	18,7	16	0,07	62,39
2	16,7	4,45	16,34	25,3	0,079	62,87
3	18,3	3,45	17,58	20,75	0,23	60,31
4	24,5	3,2	14,9	23,6	0,3	66,5
5	36,4	1,18	15,8	9,11	0,04	62,53
6	24,6	2,81	13,9	30	0,5	71,81
7	15,8	2,28	9,7	13,92	2,14	43,84
8	21,6	4,5	11,7	27,7	0,1	65,6
9	25,96	6,27	11,42	13,63	0,15	57,43
10	17,42	7,66	15,51	19,84	0,04	60,47
11	25,77	5,67	10,21	12,87	0,12	54,64

12	15,3	4,85	25,06	8,72	0,09	54,0
Средн ее	22,10	4,46	14,97	17,83	0,386	60,7 9

Особенно это заметно на примере Здания 5, для которого из-за малого коэффициента остекления эффект от замены окон мало ощутим. Определенные особенности имеет также Здание 7, где в силу повышенной доли затрат на горячее водоснабжение в общем энергетическом балансе относительная эффективность мер по снижению остальных составляющих энергопотребления оказывается несколько меньше, чем на других объектах. Наибольшее относительное снижение энергопотребления имеет место в Здании 6 из-за увеличенных бытовых тепловыделений в силу повышенной загрузки помещений постоянно работающим персоналом.

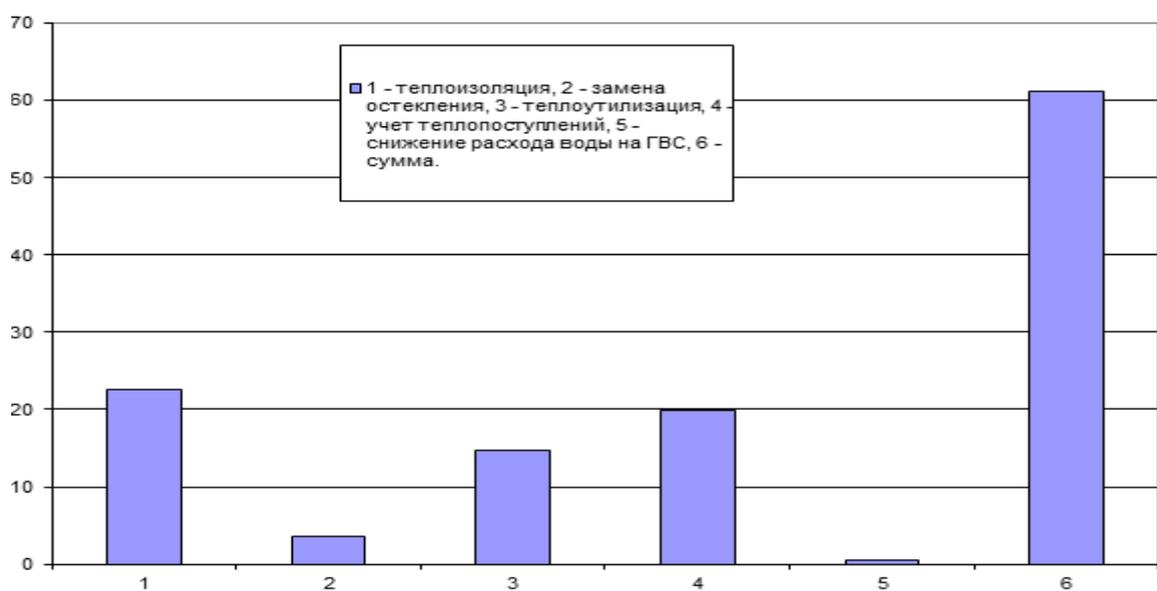


Рис.1.2. Среднее относительное снижение энергопотребления в общественных зданиях за счет различных энергосберегающих мероприятий, %

Особое значение имеет Здание 8 – характерное здание-представитель – средняя школа по типовому проекту 221-1-25-387. Результаты расчетов для данного объекта мы приводим, в первую очередь, поскольку на его примере могут исследоваться возможности различных энергосберегающих мероприятий и определяться их оптимальные характеристики. Поэтому целесообразно показать все параметры данного здания, как конструктивные, так и относящиеся к инженерным системам, а также результаты комплексной реализации энергосберегающих мероприятий для сравнения с индивидуальными решениями по снижению энергопотребления. Соответствующие показатели по данным того же источника приведены в таблицах 1.6 и 1.7.

Таблица 1.6.

Результаты определения энергетических показателей для здания средней школы по типовому проекту 221-1-25-387

Параметр	Ед. изм.	Значение	
		Вар.1	Вар.2
Число учащихся	Чел	392	
Площадь остекления	м ²	464	
Площадь наружных стен (без окон)	м ²	1014	
Площадь покрытия	м ²	1397	
Площадь перекрытия над техподпольем	м ²	1397	
Коэффициент остекления	-	0,314	
Отапливаемая площадь	м ²	2794	

Отапливаемый объем	м ³	10102	
Средняя температура внутреннего воздуха	°С	+20	
Средняя температура нар. воздуха за от. период	°С	-3,1	
Продолжительность отопительного периода	сут	214	
Характеристика отопительного периода	тыс.К·час	118,6	
Сопротивление теплопередаче стен	м ² ·К/Вт	0,92	2,77
То же, покрытия	м ² ·К/Вт	1,66	3,70
То же, перекрытия над техподпольем	м ² ·К/Вт	1,38	3,25
Сопротивление теплопередаче окон	м ² ·К/Вт	0,42	0,54
Суммарная площадь наружных ограждений	м ²	4272	
Коэффициент <i>n</i> наружной стены	-	1	
То же, покрытия	-	1	
То же, перекрытия над техподпольем	-	0,6	
То же, окон	-	1	
Коэффициент компактности	м ⁻¹	0,423	
Коэффициенты добавочных теплопотерь	-	1,1, 1,13	
Трансмиссионные теплопотери	МВт·ч/г.	538,8	273,9
Расчетный воздухообмен (по проекту)	м ³ /ч	15200	
Кратность воздухообмена (в рабочее время)	ч ⁻¹	1,505	
То же, в нерабочее время (принято)	ч ⁻¹	0,5	

Коэфф. эффективности устройств теплоутилизации	-	0	0,5
Коэфф. учета встречного теплового потока	-	0,8	0,7
Рабочее время (исходя из режима работы)	час/сут	10	
Эффективная кратность воздухообмена	ч ⁻¹	0,86	0,52
Энергозатраты на подогрев воздуха для вентиляции	МВт·ч/г.	340,0	205,6
Норма расхода горячей воды в средние сутки	л/сут	1333=3,4·N _{чел}	
Перепад температур в системе гор. водоснабжения	К	55	
Коэффициент снижения расхода горячей воды	-	1	0,94
Энергозатраты на горячее водоснабжение	МВт·ч/г.	18,2	17,1
Мощность электроприводов инженерных систем	кВт	20	
Коэффициент спроса для электроприводов	-	0,5	
Энергопотребление электроприводами инж. систем	МВт·ч/г.	21,4	
Удельная нагрузка на освещение и электроприборы	кВт/1 уч.	0,22	
Мощность освещения и электроприборов	кВт	86,2	
Коэффициент спроса для освещения и эл.приборов	-	0,76	

Электропотребление на освещение и эл.приборами	МВт·ч/г.	140,2	
Бытовые теплопоступления на 1м ² отопл. площади	Вт/м ²	14,9	
Бытовые тепловыделения	МВт·ч/г.	213,1	
Коэффициент затенения светового проема	-	0,65	0,5
Коэффициент относит. проникания солн. радиации	-	0,57	0,83
Теплопоступления от солн. радиации через окна	МВт·ч/г.	72,2	80,9
Суммарные теплопоступления	МВт·ч/г.	-	294,0

Примечание. Вар.1 – без применения энергосберегающих мероприятий,
Вар.2 – с применением рассмотренного комплекса таких мероприятий

Таблица 1.7.

Сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий для здания
средней школы по типовому проекту 221-1-25-387

Энергосберегающие мероприятия	Снижение энергопотребления	
	кВт·ч/(м ² ·г.)	%

Утепление несветопрозрачных наружных ограждений	81,7	21,6
Замена двойного остекления на тройное		
- повышение термического сопротивления	12,9	3,4
- снижение неорганизованного воздухообмена	4,1	1,1
Утилизация теплоты вытяжного воздуха	44,3	11,7
Установка смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором	0,4	0,1
Учет бытовых тепловыделений	76,2	20,1
Учет теплопоступлений от солнечной радиации через окна	28,9	7,6
Итого	248,5	65,6

Для сравнения в таблицах 1.8 и 1.9 приведены результаты еще для двух зданий.

Таблица 1.8.

Результаты определения энергетических показателей Зданий 9 – 10.

Параметр	Ед. изм.	Значение			
		Здание 9		Здание 10	
		Вар.1	Вар.	Вар.1	Вар.
Количество людей (по проекту)	Чел.	218		150	
Площадь остекления	м ²	392		1124,4	

Площадь наружных стен (без окон)	м ²	2345	2943,1			
Площадь покрытия	м ²	1308	2790,4			
Площадь перекрытия над техподпольем	м ²	1308	900			
Коэффициент остекления	-	0,17	0,38			
Отапливаемая площадь	м ²	3447,2	6061,3			
Отапливаемый объем	м ³	16480,8	21445,3			
Средняя температура внутреннего воздуха	°С	18	20			
Средняя температура нар. воздуха за от. период	°С	-3,1				
Продолжительность отопительного периода	сут	214				
Характеристика отопительного периода	тыс.К- час	108	119			
Сопротивление теплопередаче стен	м ² ·К/Вт	0,90	2,41	0,87	2,34	
То же, покрытия	м ² ·К/Вт	1,15	2,89	1,10	2,78	
То же, перекрытия над техподпольем	м ² ·К/Вт	0,69	1,20	0,66	1,10	
Сопротивление теплопередаче окон	м ² ·К/Вт	0,31	0,54	0,31	0,54	
Суммарная площадь наружных ограждений	м ²	5353,0	7757,9			
Коэффициент <i>n</i> наружной стены	-	1				
То же, покрытия	-	1				
То же, перекрытия над техподпольем	-	0,6				

То же, окон	-	1			
Коэффициент компактности	м ⁻¹	0,325		0,362	
Трансмиссионные теплопотери	МВт·ч/г.	827,3	378,0	1529,7	712,5
Расчетный воздухообмен (по проекту)	м ³ /ч	24721		42890	
Кратность воздухообмена (в рабочее время)	ч ⁻¹	1,5		2,0	
То же (в нерабочее время)	ч ⁻¹	0,5		0,5	
Коэфф. эффективности устройств теплоутилизации	-	0	0,5	0	0,5
Коэффициент учета встречного теплового потока	-	0,8	0,7	0,8	0,7
Рабочее время	час/сут	9		15	
Эффективная кратность воздухообмена	ч ⁻¹	0,81	0,5	1,55	0,89
Энергозатраты на подогрев воздуха для вентиляции	МВт·ч/г.	478,9	294,7	1301,4	745,2
Норма расхода горячей воды в средние сутки	л/сут	2616		1800	
Коэффициент снижения расхода горячей воды	-	1	0,94	1	0,94
Энергозатраты на горячее водоснабжение	МВт·ч/г.	35,8	33,7	24,6	23,2
Мощность электроприводов инженерных систем	кВт	100		200	
Коэффициент спроса для электроприводов	-	0,5		0,5	
Энергопотребление электроприводами инж.	МВт·ч/г.	96,3		513,6	
Удельная нагрузка на освещение и эл.приборы	кВт/1 чел	0,036		0,036	

Коэфф. спроса для освещения и эл.приборов	-	0,85	0,85		
Электропотребление на освещение и эл.приборами	МВт·ч/г.	12,8	14,7		
Бытовые теплопоступления на 1м ² отопл. площади	Вт/м ²	8,3 (10)	6,2 (10)		
Бытовые тепловыделения	МВт·ч/г.	177	571		
Коэффициент затенения светового проема	-	0,65	0,50	0,65	0,50
Коэфф. относит. проникания солнечной радиации	-	0,57	0,83	0,57	0,83
Теплопоступления от солнечной радиации через окна	МВт·ч/г.	18,5	20,7	89,2	99,9
Суммарные теплопоступления	МВт·ч/г.	-	197,8	-	691,6

Таблица 1.9.

Сравнительная эффективность энергосберегающих мероприятий в Зд. 9 – 10.

Энергосберегающие мероприятия	Снижение			
	кВт·ч/(м ² ·г.)		%	
	Зд,9	Зд,10	Зд,9	Зд,10
Утепление нестепрозрачных наружных	109,3	97,2	25,96	17,42
Замена двойного остекления на тройное:				
- за счет повышения термического сопротивления	21	37,6	5	6,73
- за счет снижения неорганизованного воздухообмена	5,34	5,19	1,27	0,93

Утилизация теплоты вытяжного воздуха	48,09	86,58	11,42	15,51
Установка смесителей с левым расположением крана горячей воды и кранов с регулируемым напором	0,62	0,24	0,15	0,04
Учет бытовых тепловыделений	51,36	94,31	12,2	16,89
Учет тепlopоступлений от солнечной радиации через окна	6,01	16,48	1,43	2,95
Итого	$q_1 - q_2$		$\Delta q = (1 - q_2/q_1) \cdot 100$	
	242	337	57,43	60,4

Кроме того, в Здании 12 из-за большой кратности воздухообмена в рабочее время в системе механической вентиляции (около 6,4), связанной с наличием бассейна, снижение энергопотребления за счет теплоутилизации заметно возрастает и в относительных величинах выходит на первое место. Поэтому очевидно, что чем выше доля затрат на механическую вентиляцию в общем балансе здания, тем больше доводов в пользу утилизации теплоты вытяжного воздуха. Остается только добавить, что экономия за счет мероприятий ГВС в данном случае получилась незначительной из-за малого нормативного расхода горячей воды в общественных зданиях. Однако в жилых зданиях эти мероприятия могут дать большой эффект из-за высокой доли ГВС в общем энергетическом балансе.

При этом вклад каждого мероприятия в относительное снижение энергопотребления различен, но для всех зданий это распределение имеет сходный вид. Поэтому указанные в таблице 1.3 средние значения можно с большой уверенностью использовать для предварительной ориентировочной оценки каждого мероприятия в общее снижение энергопотребления. Суммарная экономия энергии весьма значительна и мало отличается для большинства зданий, находясь в пределах 55 – 65%, причем на долю утепления нестепрозрачных ограждений приходится, как правило, всего около 20 %.

Иначе говоря, ни в одном из вариантов не удастся достичь 40%-ной экономии только за счет утепления несветопрозрачных ограждений. Это еще раз свидетельствует о необходимости комплексного подхода к энергосбережению. В то же время энергетическая эффективность теплоутилизации и установки автоматических терморегуляторов сравнима с дополнительной теплоизоляцией, однако эти мероприятия являются существенно менее затратными.

Остановимся теперь подробно на одном из энергосберегающих мероприятий, а именно на утилизации теплоты вытяжного воздуха в системах механической вентиляции для частичного подогрева притока в холодный период года, как требующей наиболее подробной технологической разработки в процессе проектирования систем В и КВ. Можно показать, что срок окупаемости дополнительных капитальных затрат по устройству простейшего и наиболее дешевого вида теплоутилизации – с промежуточным теплоносителем – не превышает 3-4 лет (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.). Это особенно существенно в условиях нестабильной рыночной экономики с заметно меняющимся уровнем цен на оборудование и тарифов на энергетические ресурсы, что не позволяет применять капиталоемкие инженерные решения.

Утилизаторы теплоты вытяжного воздуха

а) Пластинчатые рекуператоры

Такие теплообменники представляют собой пакет металлических (обычно алюминиевых) пластин в кубическом корпусе, между которыми образуются плоские каналы для воздуха (рис. 1.3, 1.3а, 1.3б) (см. О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит. – 2003. – 272 с., Е.М.Белова. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат. – 2006. – 640 с., В.Н.Богословский, М.Я.Поз.

Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат. – 1983.).

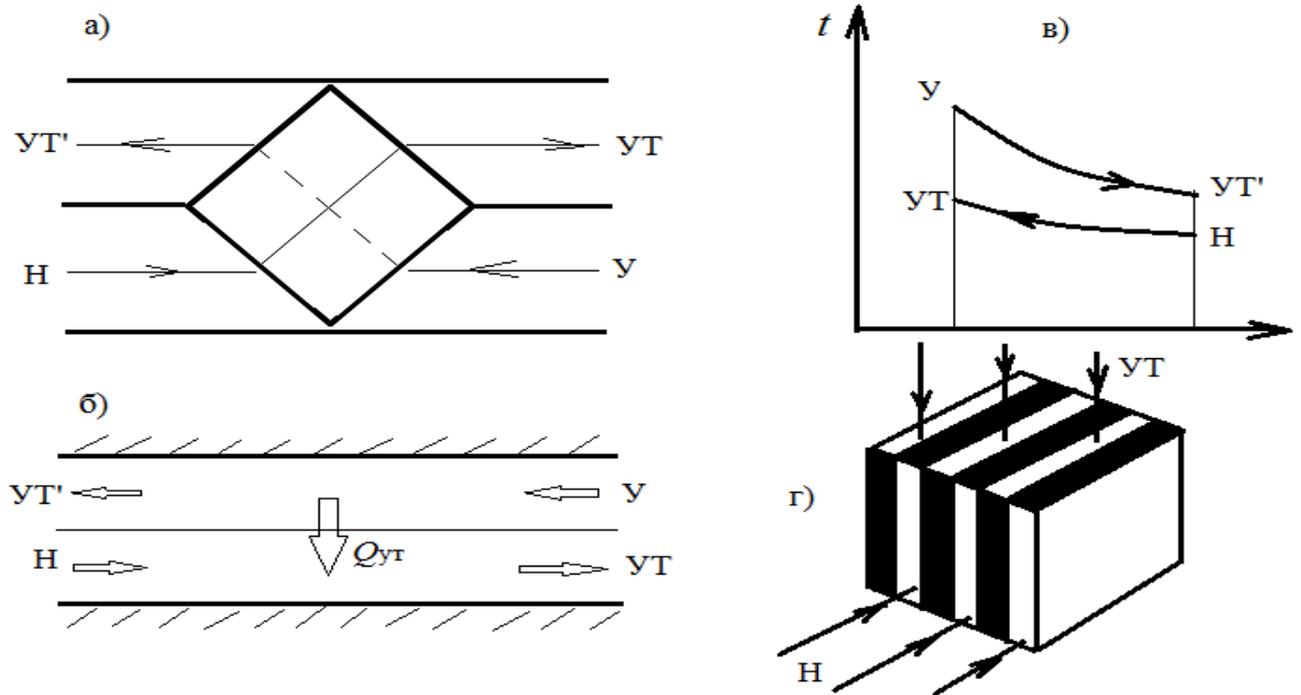


Рис. 1.3. Схема пластинчатого рекуператора и процессов в нем:

а) продольный разрез; б) направление потока теплоты в смежных каналах; в) характер изменения температуры потоков воздуха вдоль поверхности пластины; г) аксонометрическое изображение устройства теплообменника;

H – состояние наружного воздуха перед аппаратом; $YТ$ – то же, после аппарата; Y – состояние вытяжного воздуха перед аппаратом; $YТ'$ – то же, после аппарата



Рис.1.3а. Общій вид пластинчатого рекуператора (варіанти конструкції)



Рис.1.36. Общий вид пластинчатого рекуператора (вариант конструкции)

По четным каналам перемещается нагреваемый наружный воздух, по нечетным – греющий вытяжной, и утилизируемая теплота $Q_{ут}$, Вт, через стенки каналов, роль которых и играют пластины, передается притоку. Такая конструкция требует объединения приточной и вытяжной установки в единый агрегат, при этом направление потоков воздуха в теплообменнике оказываются перекрестным, поэтому часто данные теплоутилизаторы называют перекрестноточными.

Основным показателем теплотехнического совершенства теплоутилизатора является его коэффициент температурной эффективности $k_{эф} = \frac{t_{гр}-t_n}{t_y-t_n}$ (подробнее см. ниже). Достоинством пластинчатого рекуператора является достаточно высокое значение этого коэффициента – примерно 0,5 – 0,6.

В то же время недостаток теплообменника данного типа, помимо необходимости объединения установок, заключается еще в сложности борьбы с обмерзанием каналов вытяжного воздуха, когда выпадающий конденсат намораживается на пластину и закупоривает каналы. Схема соответствующей системы автоматизации показана на рис. 1.4.

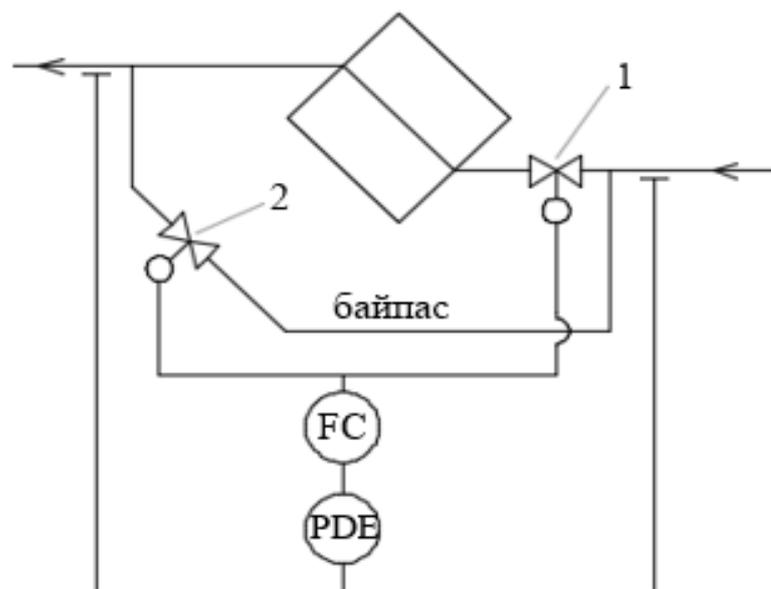


Рис. 1.4. Функциональная схема системы автоматизации размораживания пластинчатого рекуператора: 1 и 2 – клапаны; FC – регулятор расхода; PDE – датчик разности давления до и после утилизатора

В этом случае в конструкции аппарата предусматривается обводной канал (байпас), через который при необходимости пропускается вытяжной воздух, пока осуществляется оттаивание. Разумеется, в этот период теплоутилизация не осуществляется. Сигналом к началу оттаивания является достижение установленной разности давлений, измеряемой датчиком PDE, поскольку по мере закупорки каналов замерзшим конденсатом аэродинамическое сопротивление аппарата по ходу вытяжного воздуха увеличивается. После этого перекрывается клапан 1 и открывается клапан 2 на байпасе.

б) Роторные регенераторы

Такое устройство представляет собой барабан, заполненный насадкой из алюминиевой фольги (рис. 1.5, рис. 1.5а, рис. 1.5б) (см. О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит. – 2003. – 272 с., Е.М.Белова. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат. – 2006. – 640 с., В.Н.Богословский, М.Я.Поз. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат. – 1983.). Ось барабана совпадает с направлением потока воздуха. Барабан медленно проворачивается, делая один оборот примерно за 6 – 12 секунд. При этом, пока пластины насадки находятся в потоке вытяжного воздуха, они нагреваются, воспринимая от него теплоту $Q_{ут}$, а затем, при их перемещении в приточную часть установки, отдают эту теплоту притоку. Скорость вращения выбирается таким образом, чтобы с одной стороны, пластины практически полностью успевали нагреться и затем охладиться, а с другой, чтобы как можно меньше было перетекание вытяжного воздуха в приток. Тем не менее, полностью избежать этого эффекта не удастся,

поэтому такие теплообменники нельзя применять при повышенных требованиях к качеству воздуха в помещениях, например, в лечебных учреждениях.

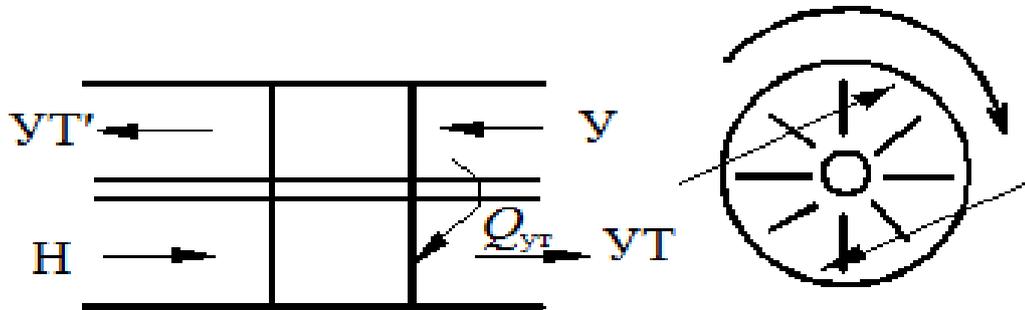


Рис. 1.5. Схема роторного регенератора

Достоинством роторного утилизатора является высокое значение $k_{эф}$ – порядка 0.7 – 0.8, а также защищенность от обмерзания, поскольку конденсат за время нахождения пластин в потоке вытяжного воздуха успеваает оттаять.

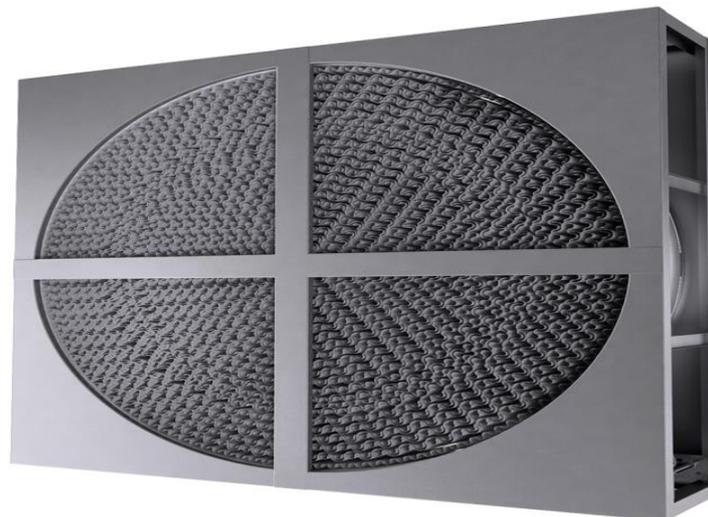




Рис.1.5а. Общій вид роторного регенератора (варіанти конструкції)



Рис.1.5б. Общій вид роторного регенератора (варіант конструкції)

Если используется насадка из картона, то она может быть пропитана раствором хлористого или бромистого лития. Такая насадка называется сорбирующей. Она способна передавать потоку приточного воздуха не только теплоту, но и влагу. В этом случае перетекание вытяжного воздуха в приточный уже не имеет значения, поскольку соли лития обладают бактерицидным действием. Однако такие конструкции в настоящее время не являются серийными.

в) Утилизаторы с промежуточным теплоносителем

Теплообменники-утилизаторы в такой схеме представляют собой обычные воздухонагреватели и воздухоохладители (рис. 1.6, рис. 1.6а, 1.6б) (см. О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит. – 2003. – 272 с., Е.М.Белова. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат. – 2006. – 640 с., В.Н.Богословский, М.Я.Поз. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат. – 1983.).

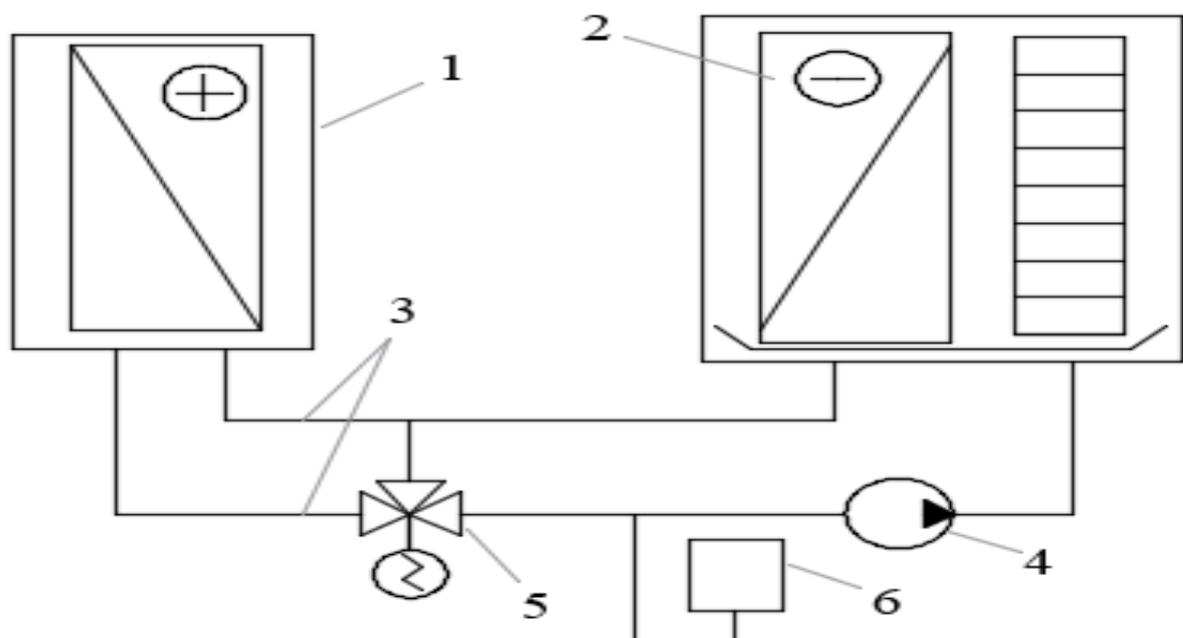


Рис. 1.6. Схема теплоутилизации с промежуточным теплоносителем:

1 – калорифер-утилизатор для подогрева притока в приточной установке; 2 – воздухоохладитель-утилизатор для отбора теплоты от вытяжного воздуха в вытяжной установке; 3 – циркуляционный контур с промежуточным теплоносителем (антифриз); 4 – циркуляционный насос; 5 – трехходовой клапан; 6 – расширительный бачок





Рис.1.6а. Общий вид теплообменников для схемы с промежуточным теплоносителем



Рис.1.6б. Общий вид теплообменников для схемы с промежуточным теплоносителем (вариант)

Достоинством такой установки является то, что она собирается из стандартных элементов и не требует объединения приточной и вытяжной установки в один агрегат, а недостаток – невысокий коэффициент

эффективности (0.4 – 0.5). Это связано с ограничением глубины процесса теплоутилизации для предотвращения обмерзания охладителя-утилизатора.

г) Утилизаторы с тепловыми трубами

Такие аппараты (рис. 1.7) (см. О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит. – 2003. – 272 с., Е.М.Белова. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат. – 2006. – 640 с., В.Н.Богословский, М.Я.Поз. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат. – 1983.) представляют собой разновидность утилизатора с промежуточным теплоносителем, использующего фазовые превращения. В такой конструкции поток вытяжного воздуха должен быть внизу. Тогда жидкость в трубках воспринимает его теплоту и испаряется, при этом пары поднимаются внутри трубок в их верхнюю часть и там конденсируются на стенках, а теплота конденсации передается притоку. Таким образом, циркуляция теплоносителя осуществляется именно внутри каждой трубки.

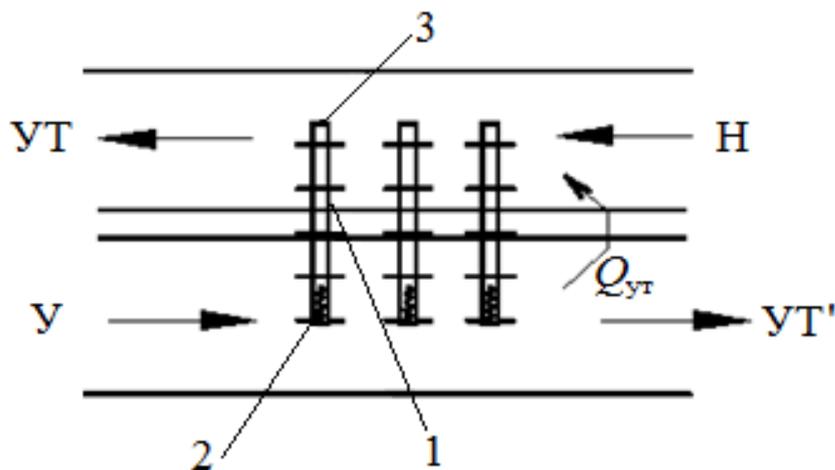


Рис. 1.7. Конструкция теплоутилизатора с тепловыми трубами: 1 – оребренные трубки; 2 – легкокипящая жидкость; 3 – пары жидкости

Рассмотрим подробнее утилизацию теплоты с промежуточным теплоносителем. Схема процессов обработки воздуха на $I-d$ -диаграмме в теплоотдающем и теплоизвлекающем теплообменниках при использовании схемы с промежуточным теплоносителем приведена на рис.1.8.

Наносим на диаграмму точку H наружного воздуха по значениям t_H и I_H , а также точку $У$ удаляемого воздуха по результатам построения процесса изменения состояния воздуха в помещении и определяем энтальпию в этой точке I_y и влагосодержание d_y . С учетом существующих рекомендаций (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с. и О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит. – 2003. – 272 с.) наносим на линию $\phi = 100\%$ точку F при предельной температуре поверхности теплоизвлекающего теплообменника t_F , равной $+2^\circ\text{C}$, из условия необмерзания его поверхности.

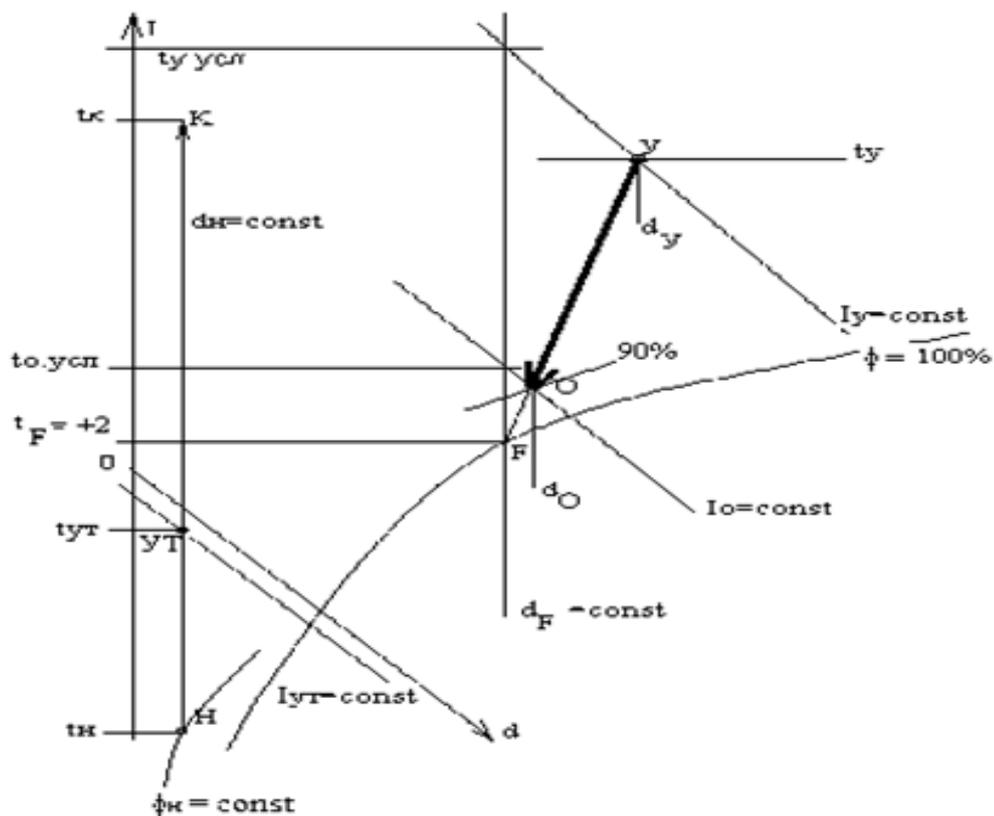


Рис.1.8. Схема процессов обработки воздуха в системе теплоутилизации с промежуточным теплоносителем

Соединяем точку У с точкой F и отмечаем на построенном отрезке точку О при $\phi = 90\%$, отвечающую состоянию воздуха после охлаждения в воздухоохладителе. Определяем энтальпию в этой точке I_o и влагосодержание d_o . Проводим линию $d_F = const$, а также линии $I_y = const$ и $I_o = const$, и определяем температуры $t_{y,усл}$ и $t_{o,усл}$ в точках их пересечения с $d_F = const$ – условные температуры воздуха до и после охладителя в пересчете на условный «сухой» процесс охлаждения (см. рис. 1.8). Они будут нужны при расчете теплоизвлекающей секции.

При малом влагосодержании уходящего воздуха может оказаться, что $d_y < d_F$, т.е. точка У лежит левее линии $d_F = const$. Это означает, что процесс охлаждения в теплоизвлекающем теплообменнике будет «сухим» (по линии $d_y = const$), и нужно считать $t_{y,усл} = t_y$ и $t_{o,усл} = t_F = +2$.

Находим среднюю температуру антифриза: $T_{cp} = t_F - 1 = 1^\circ\text{C}$. Задаемся разностью температур антифриза на входе и на выходе из теплообменников: $\Delta T = T_1 - T_2 = 6^\circ\text{C}$. Тогда температура антифриза на выходе из теплоизвлекающего теплообменника (и на входе в теплоотдающий) $T_1 = T_{cp} + \Delta T/2 = 4^\circ\text{C}$, а на входе в теплоизвлекающий теплообменник (и на выходе из теплоотдающего) $T_2 = T_{cp} - \Delta T/2 = -2^\circ\text{C}$.

Определяем массовый расход уходящего воздуха: $G_y = L_y \rho_y$, кг/ч. Находим количество утилизируемой теплоты: $Q_{yt} = G_y(I_y - I_o)/$

3,6, Вт. Определяем массовый расход нагреваемого воздуха: $G_{п} = L_{п} \rho_{п}$, кг/ч.

Проверяем температуру воздуха за теплоотдающим теплообменником: $t_{yt} = \frac{3,6 \cdot Q_{yt}}{G_{п} c_B} + t_{н}$, $^\circ\text{C}$.

В приведенных формулах $L_{\text{п}}$ и $L_{\text{у}}$ – это значения расхода воздуха соответственно для приточной и вытяжной установок, м³/ч; $c = 1,005$ кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость воздуха; $\rho_{\text{п}}$ и $\rho_{\text{у}}$ – плотность соответственно приточного и уходящего воздуха, кг/м³: $\rho_{\text{п}} = \frac{353}{273+t_{\text{п}}}$; $\rho_{\text{у}} = \frac{353}{273+t_{\text{у}}}$. Здесь $t_{\text{п}}$ – температура приточного воздуха, °С, принимаемая по расчету процесса изменения состояния воздуха в помещении.

Если оказывается, что $t_{\text{ут}} > +2^{\circ}\text{C}$, нужно принять более высокую температуру t_{F} (выше, чем +2), и повторить построения и расчеты. Значение $t_{\text{ут}}$ будет необходимо при расчете теплоотдающей секции. Вычисляем коэффициент температурной эффективности теплоутилизатора: $k_{\text{эф}} = \frac{t_{\text{ут}}-t_{\text{н}}}{t_{\text{у}}-t_{\text{н}}}$. Нормальное значение коэффициента эффективности должно составлять 0,4 – 0,5. Величина $k_{\text{эф}}$ используется в технико-экономическом расчете (см. п.1.4). После вычисления основных параметров процесса теплоутилизации рассчитываются сами теплообменники, т.е. определяется их поверхность теплообмена, число рядов трубок, шаг пластин и число ходов теплоносителя. В качестве исходных данных при этом используются значения $Q_{\text{ут}}$, $t_{\text{н}}$, $t_{\text{ут}}$, $t_{\text{у.усл}}$, $t_{\text{о.усл}}$, T_1 , T_2 , а также $L_{\text{п}}$ и $L_{\text{у}}$. Методика такого расчета изложена, например, в Методических указаниях к выполнению курсового проекта (Часть 4) и других источниках.

Однако по сравнению с другими способами теплоутилизации, и, прежде всего, с помощью роторных аппаратов и в меньшей степени в пластинчатых рекуператорах, устройства с промежуточным теплоносителем все-таки дают более низкое значение температурной эффективности. Кроме того, они не позволяют передавать приточному воздуху влагу. Поэтому при необходимости увеличения влагосодержания притока используются те же приемы, что и в отсутствие утилизации, а это сохраняет значительные габариты приточной

установки и к тому же требует дополнительных затрат энергии на испарение влаги или на перегрев воздуха перед адиабатным увлажнением.

Решить данную проблему можно путем комбинации нескольких способов снижения энергопотребления. Но если говорить о малозатратных мероприятиях, среди них остается лишь применение рециркуляции, т.е. подмешивание части вытяжного воздуха к притоку. Здесь тоже происходит увеличение, как температуры, так и влагосодержания приточного воздуха, а температурная и энтальпийная эффективность процесса ограничена только долей рециркуляционного воздуха в суммарном объеме притока. Основное достоинство рециркуляции заключается в практическом отсутствии дополнительных капитальных затрат, поскольку в конструкцию приточной и вытяжной установки добавляется соответственно лишь смесительная и разделительная секция и соединительный воздуховод, если установки непосредственно не контактируют друг с другом. Поэтому если рециркуляция допустима по санитарно-гигиеническим соображениям, ее целесообразно использовать как дополнение к теплоутилизации с промежуточным теплоносителем.

Рассмотрим наиболее характерный пример такой комбинации. Так, **О.Я.Кокориным** (см. О.Я.Кокорин. Современные системы кондиционирования воздуха. – М.: Физматлит. – 2003. – 272 с.) приводится энергоэффективная схема обработки приточного воздуха для помещения бассейна. Особенностью бассейнов являются значительные влаговыведения и, как следствие, необходимость расчета требуемого количества наружного воздуха, исходя именно из условия ассимиляции поступающей влаги. Вместе с тем, в бассейнах допустима рециркуляция. Исходя из этого, О.Я.Кокориным в этой же работе предлагается первичный подогрев наружного воздуха в теплоутилизаторе, затем его догрев в калорифере от внешнего источника и потом подмешивание рециркуляционного воздуха. При этом в смеси достигаются требуемые

температура и влагосодержание притока. После отбора на рециркуляцию оставшаяся часть вытяжки пропускается через теплоизвлекающий теплообменник для первичного подогрева наружного воздуха. В этом случае удается за счет совместного использования утилизации и рециркуляции получить 80 – 85% полной теплоты, требуемой на обработку притока. Необходимость нагрева наружного воздуха именно до подмешивания рециркуляции связана здесь с высоким влагосодержанием вытяжки – примерно 14 – 14,5 г/кг, в результате чего при попытке непосредственного смешения такого воздуха с неподогретым наружным мы попадаем в область тумана.

Однако недостатком такой схемы является то обстоятельство, что через теплообменники и в приточной, и в вытяжной установке проходит только количество воздуха, равное наружному, а через вентиляторы – полный расход с учетом рециркуляции. Это вынуждает для обеспечения рациональной массовой скорости воздуха около 3 – 4 кг/(м²·с) выполнять установки с переменным поперечным сечением, что при использовании современных каркасно-панельных агрегатов не технологично. Если же сохранять постоянное сечение, тогда теплообменники будут работать с пониженной скоростью воздуха, что приведет к уменьшению коэффициента теплопередачи и завышению поверхности теплообмена. Поэтому О.Д.Самариным (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.) была предложена несколько иная схема, при которой вся вытяжка пропускается через теплоизвлекающий теплообменник и после охлаждения в нем частично направляется на рециркуляцию, а частично выбрасывается в атмосферу.

Изображение процессов на *I-d*-диаграмме приведено на рис. 1.9. При этом подмешивание рециркуляции происходит сразу после подогрева наружного воздуха в утилизаторе, и только потом опять-таки суммарный расход пропускается через догревающий калорифер. Таким образом, из трех

теплообменников только теплоотдающая секция утилизатора работает с пониженным расходом воздуха. С энергетической точки зрения данная схема эквивалентна рассмотренной в книге О.Я.Кокорина, но удобнее для компоновки. Кроме того, поскольку через теплоизвлекающую секцию проходит весь расход, удается подогреть наружный воздух в утилизаторе до температуры $t_{ут}$, более высокой, чем для схемы О.Я.Кокорина, т.е. около $+10^{\circ}\text{C}$, и тем самым сократить возможность туманообразования при отключении теплоснабжения.

При анализе рис. 1.9 следует иметь в виду, что расчетные теплоизбытки в помещении бассейна в холодный период приняты равными нулю, поскольку теплоступления компенсируются снижением теплоотдачи от системы отопления, оборудованной автоматическими терморегуляторами. Поэтому процесс изменения состояния воздуха в помещении является изотермическим. Следовательно, температура притока $t_{п}$ должна равняться температуре $t_{в}$, принятой в обслуживаемой зоне помещения. Кроме того, воздух в помещении достаточно хорошо перемешивается. Поэтому, особенно с учетом изотермического характера процесса, можно считать точку «У», характеризующую состояние удаляемого воздуха, совпадающей с точкой «В», относящейся к воздуху обслуживаемой зоны. Другие обозначения на рис.1.9: «Н» и «УТ» – состояние наружного воздуха до и после подогрева в утилизаторе; «О» – состояние вытяжного воздуха за теплоизвлекающим теплообменником, $Q_{ут}$ – количество теплоты, Вт, передаваемое в утилизаторе. Для соблюдения баланса влаги в помещении и вентиляционных установках необходимо, чтобы охлаждение вытяжки проходило без выпадения конденсата, т.е. при условии постоянства влагосодержания: $d_{о} = d_{у}$. Точка «С» – состояние смеси рециркуляционного и подогретого в утилизаторе наружного воздуха, выбираемое таким образом, чтобы ее влагосодержание $d_{с}$ равнялось требуемому влагосодержанию притока $d_{п}$, вычисляемому, исходя из имеющихся влаговыделений и расхода наружного воздуха для их ассимиляции.

Определение расходов воздуха и параметров характерных точек производится по следующей схеме. Принимаем с учетом $I-d$ -диаграммы параметры точки «В» по рекомендациям О.Я.Кокорина для помещений бассейнов: $t_B = 28^\circ\text{C}$; $\phi_B = 60\%$; $d_B = 14,2$ г/кг; $I_B = 64,2$ кДж/кг, и «Н» по данным СНиП 23-01-99* (редакция 2004 года): $t_H = -28^\circ\text{C}$; $I_H = -27,3$ кДж/кг; $d_H = 0,3$ г/кг (для условий Москвы). Находим расход наружного воздуха G_H , кг/ч, для компенсации влаговывделений в бассейне $G_H =$

$$\frac{W \cdot 10^3}{d_B - d_H}, \text{ где } W - \text{ влаговывделения, кг/}$$

ч; сравниваем его с расходом, вычисленным, исходя из санитарной нормы в объеме ч на человека, и используем для дальнейшего расчета бóльший из них. Принимаем

$$1 - \overline{G}_H = 0,78 \text{ (78\%)}. \text{ Вычисляем расход приточного воздуха } G\Pi =$$

$$G_H / \overline{G}_H, \text{ и рециркуляционного } GР = G\Pi - G_H. \text{ Принимаем } t_{ут} =$$

10оС. Определяем влагосодержание приточного воздуха двумя способами: по бала

$$d_B -$$

$$\frac{W \cdot 10^3}{G_H} \text{ и по формулам для процесса смешения наружного и рециркуляционного воз,}$$

$$\overline{G}_H d_H +$$

$$\overline{G}_P d_B - \text{ и убеждаемся в равенстве результатов. Если такого совпадения нет, необхо}$$

$$I_B - \frac{3,6Q_{ут}}{G_H}, \text{ где } Q_{ут} = G_H c_B (t_{ут} - t_H) /$$

3,6, Вт – количество утилизируемой теплоты; находим точку «О» и убеждаемся, что ϕ_0

$$t_c = \overline{G}_H t_{ут} +$$

$$\overline{G}_P t_0 \text{ и затем находим суммарный коэффициент температурной эффективности пр}$$

$$\frac{t_c - t_H}{t_0 - t_H}.$$

построение процесса на $I-d$ -диаграмме, при простом смешении наружного и рециркуляционного воздуха без какой-либо дальнейшей обработки можно получить воздух с параметрами, достаточными для непосредственной подачи в помещение – с влагосодержанием, равным $d_{\text{п}}$, и температурой на $0,5 - 1$ градус ниже величины $t_{\text{п}}$ с учетом последующего подогрева смеси в вентиляторе. Требуемая доля рециркуляционного воздуха здесь получается по расчету процесса смешения и будет значительно ниже, чем в холодный период – примерно 20%. Суммарный расход притока по условиям эксплуатации вентиляционного оборудования и организации воздухообмена в помещении при этом должен оставаться таким же, как и в холодный период, поэтому абсолютное значение $G_{\text{н}}$ в теплый период будет существенно выше, чем в холодный.

Для помещений со значительными теплоизбытками и малыми влаговыделениями совместное применение теплоутилизации и рециркуляции позволяет при определенных условиях вообще обойтись без вторичного подогрева от внешнего источника и тем самым достичь максимально возможного энергосбережения. В этом случае необходима только электрическая энергия на привод вентиляторов и насосов. В работе О.Я.Кокорина подобная схема не приводится, поэтому ниже будут рассмотрены предложенные автором процессы обработки воздуха для помещения машинного зала ЭВМ, где удастся получить указанный результат. Изображение процессов на $I-d$ -диаграмме показано на рис. 1.10. В отличие от бассейна, здесь влагосодержание вытяжки $d_{\text{в}}$ более низкое. Поэтому возможно непосредственное смешение рециркуляционного воздуха, прошедшего через теплоизвлекающий теплообменник (точка «О»), с наружным до его подогрева (точка «С») без риска образования тумана. Затем смесь подогревается в утилизаторе. В этом случае через все теплообменники проходит полный

расход, и установки при постоянном сечении работают в условиях целесообразной скорости воздуха.

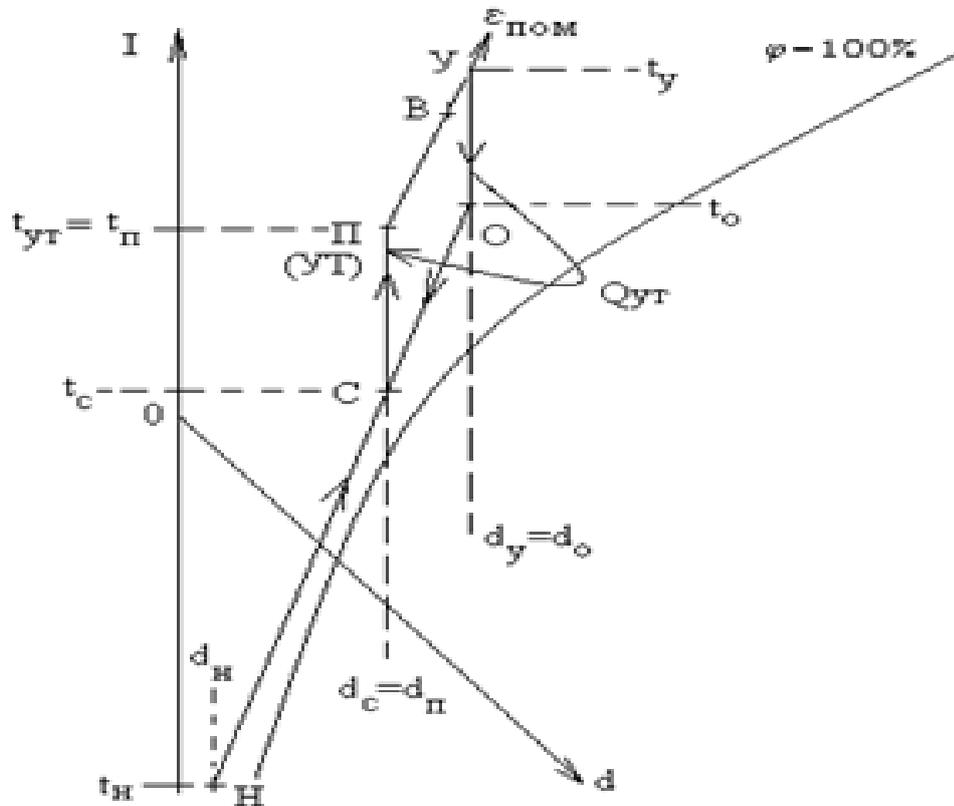


Рис. 1.10. Схема процесса обработки воздуха с рециркуляцией и теплоутилизацией для машинного зала ЭВМ

Параметры схемы: температура притока $t_{\text{п}} = 14^{\circ}\text{C}$ и удаляемого воздуха $t_{\text{у}} = 22^{\circ}\text{C}$. Принимаем величину $t_{\text{п}} = t_{\text{уr}}$ на 1°C ниже значения $t_{\text{о}}$. Значения $t_{\text{н}} = -28^{\circ}\text{C}$ и $d_{\text{н}} = 0,3$ г/кг принимаем, как в первом примере. Залы для ЭВМ относятся к помещениям «точного кондиционирования», в которых требуется поддержание температуры $t_{\text{в}} = 20 \pm 1^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности $\phi_{\text{в}} = 60 \pm 15\%$. Назначая для холодного периода $\phi_{\text{в}}$ на минимально допустимом уровне 45%, по построению получаем $d_{\text{у}} = d_{\text{о}} = 6.6$ г/кг.

Решая систему уравнений для остальных параметров, получим: $t_{\text{о}} = t_{\text{п}} + 1 = 15^{\circ}\text{C}$, $t_{\text{с}} = t_{\text{уr}} - (t_{\text{у}} - t_{\text{о}}) = 7^{\circ}\text{C}$, доля рециркуляционного воздуха $\overline{G_{\text{р}}} = \frac{t_{\text{с}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{о}} - t_{\text{н}}}$

0,81, $d_c = \overline{G}_n d_n + \overline{G}_p d_p = 5,4$ г/кг. По первоначальному построению $d_n = 6,4$ г/кг, поэтому в помещении требуется местное доувлажнение. Общий коэффициент температурной эффективности составляет примерно 0,82, т.е. лежит на том же уровне, что и в первом примере.

Таким образом, совместное применение рециркуляции и теплоутилизации с промежуточным теплоносителем на самом деле позволяет добиться очень существенной экономии энергии на нагрев и увлажнение притока в холодный период года. В ряде случаев такая схема дает возможность полностью отказаться от внешнего источника теплоты и специального оборудования для увлажнения, а также от специальной обработки воздуха в теплый период года. Необходимо только тщательное построение оптимального процесса обработки воздуха на $I-d$ -диаграмме, учитывающее особенности взаимного расположения точек «Н», «П» и «У», а также детальный расчет параметров остальных характерных точек и расходов воздуха. Только в этом случае удастся добиться максимального снижения энергопотребления и предельного упрощения конструкции приточных и вытяжных установок.

Использование теплонасосных установок для утилизации теплоты вытяжного воздуха

При наличии холодильной машины (ХМ) с водяным охлаждением конденсатора ее можно использовать и в холодный период года для утилизации теплоты вытяжного воздуха в режиме теплового насоса. Тогда в ряде случаев можно обойтись без внешнего источника теплоты и получить компактную multifunctionalную установку, обеспечивающую в холодный период подогрев притока, а в теплый его охлаждение с использованием одного и того же оборудования – теплообменников и ХМ. Необходимо только обеспечить

переключение потоков воды, чтобы в ХП вода поступала в теплообменник приточной установки, играющий здесь роль нагревателя, от конденсатора ХМ, а в теплообменник вытяжной – от испарителя ХМ, где и будет извлекаться теплота из удаляемого воздуха. При этом в ТП направление водяных потоком будет обратным – от конденсатора в вытяжной теплообменник, который тогда становится «сухой градирней», где сбрасывается теплота конденсации, а от испарителя – в приточный, исполняющий функции воздухоохладителя. Для переключения потоков используются четырехходовые краны (см. рис. 1.11, расширительные бачки условно не показаны).

В приточной установке

В вытяжной установке

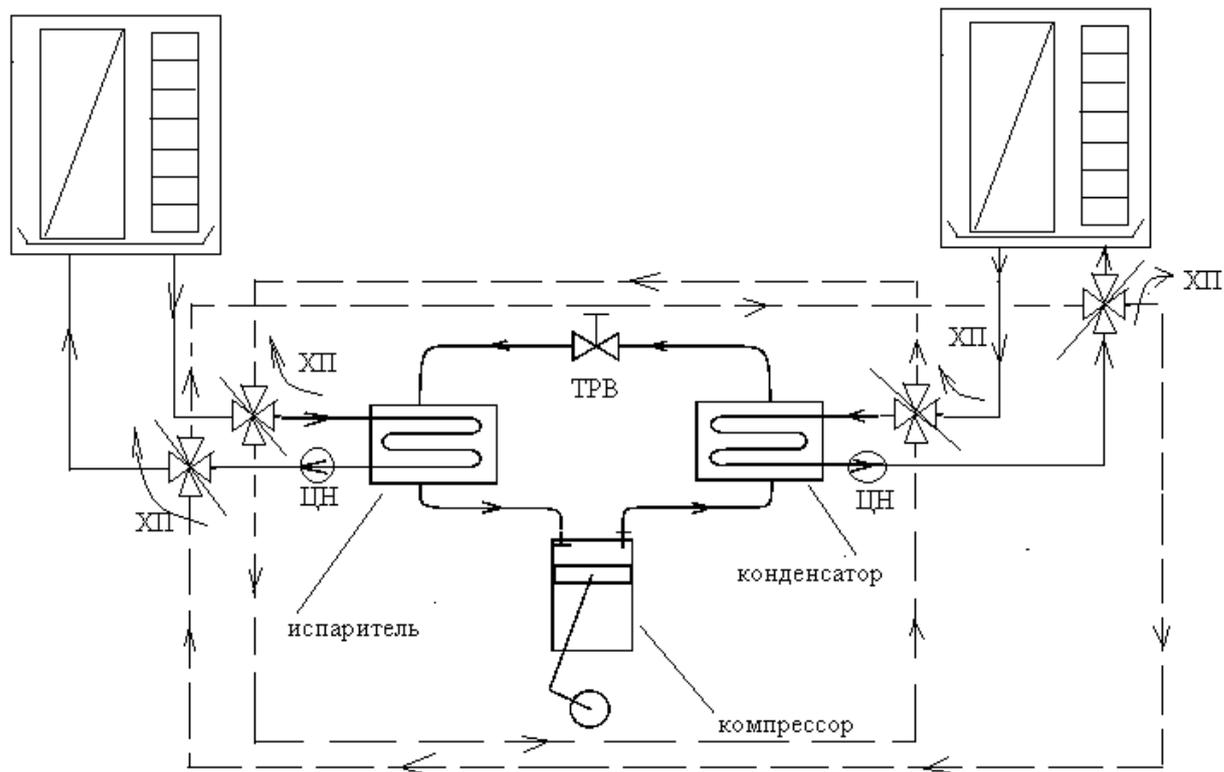


Рис. 1.11. Схема использования ХМ для охлаждения притока в ТП и нагрева в ХП в режиме теплового насоса.

ТРВ – терморегулирующий вентиль; ЦН – циркуляционный насос.



Рис.1.11а. Общий вид холодильной машины с водяным охлаждением конденсатора, способной использоваться в рассматриваемой схеме в качестве теплового насоса

Направление переключения показано стрелками. Подобная схема была предложена проф. **О.Я. Кокориным**. Нужно только отметить, что, поскольку в данной схеме каждый теплообменник попеременно может выступать и как нагреватель, и как охладитель, а процесс охлаждения обычно сопровождается выпадением конденсата, то оба теплообменника должны снабжаться каплеуловителем и поддоном для сбора конденсата. Разумеется, при использовании этой схемы мощность ХМ должна подбираться, исходя из

требований обоих периодов года – как по холодильной нагрузке в ТП, так и по тепловой в ХП. Заметим, однако, что перепад температур для нагрева притока в ХП обычно значительно выше, чем для охлаждения в ТП. Поэтому, несмотря на то, что теплопроизводительность ХМ в режиме теплового насоса также выше, чем холодопроизводительность, на величину мощности компрессора за вычетом потерь тепловой мощности, она может оказаться недостаточной. Тогда в дополнение к ХМ в качестве первой ступени может быть использована обычная схема теплоутилизации с промежуточным теплоносителем.



Рис.1.11б. Общий вид холодильной машины с водяным охлаждением конденсатора, способной использоваться в рассматриваемой схеме в качестве теплового насоса (вариант)

Автоматические терморегуляторы (термоклапаны) в системах водяного отопления

В современных системах водяного отопления на подводках к отопительным приборам обычно устанавливаются автоматические терморегуляторы (термоклапаны) для индивидуального регулирования теплоотдачи приборов в зависимости от колебаний температуры воздуха в помещении под действием теплопоступлений. Принципиальная схема конструкции клапана показана на рисунке 1.12 (см. О.Д.Самарин. Гидравлические расчеты инженерных систем. Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2016. – 132 с.), а возможный общий вид – на рисунке 1.12а, в разрезе – на рис.1.12б.

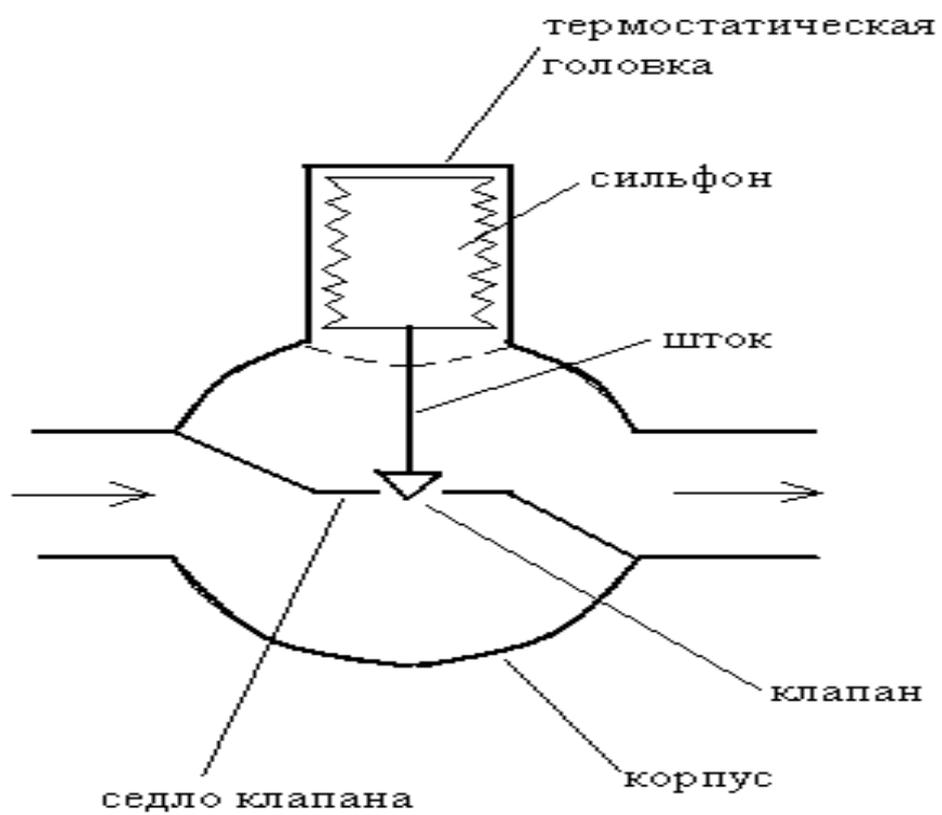


Рис.1.12. Принципиальная схема конструкции автоматического терморегулятора для систем водяного отопления



Рис.1.12а. Автоматический терморегулятор (термоклапан) – вид снаружи (вариант конструкции)

Большинство терموклапанов имеют предварительную настройку на несколько позиций, что позволяет использовать их для первичной наладки и гидравлической увязки системы. Конечно, при этом в процессе функционирования системы и работы терморегуляторов расход воды через прибор непрерывно будет меняться, а вместе с этим будет колебаться и сопротивление регуляторов. Но расчет системы ведется для наиболее

неблагоприятного режима, т.е. на наибольший расход при максимально открытом клапане, насколько это позволяет принятая настройка.

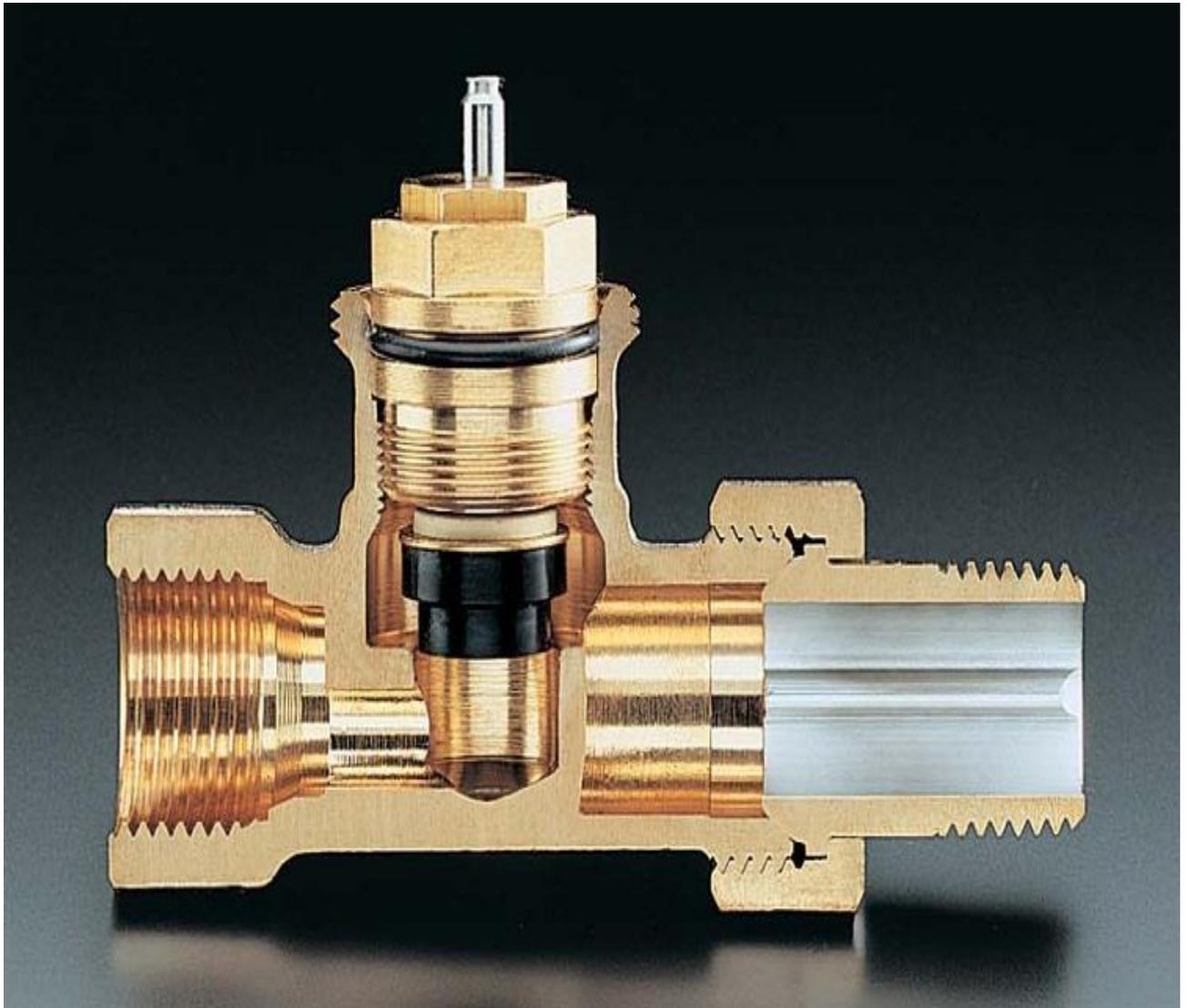


Рис.1.12б. Автоматический терморегулятор (термоклапан) – вид в разрезе (вариант конструкции)

Такой регулятор является пропорциональным, прямого действия, устанавливается на подающей подводке. В сильфоне находится вещество, значительно расширяющееся при небольшом нагревании, как правило, это легкокипящая жидкость. Если температура воздуха в помещении повышается, жидкость закипает, объем сильфона увеличивается, и его дно вместе со штоком

перемещается вниз. Это приводит к прикрытию клапана и уменьшению расхода воды через отопительный прибор, что снижает его теплоотдачу до тех пор, пока температура воздуха не снизится до исходного уровня. При охлаждении помещения пары в сильфоне конденсируются, он сжимается, шток поднимается и клапан приоткрывается. Расход теплоносителя через прибор возрастает, его теплоотдача увеличивается, и помещение вновь нагревается.

Чтобы конвективная струя нагретого воздуха, возникающая над подводкой, не искажала работу регулятора, его устанавливают так, чтобы термостатическая головка была направлена не вверх, а вперед – в сторону помещения. Существуют и регуляторы непрямого действия с выносным датчиком температуры, который в данном случае можно располагать в любом нужном месте помещения, с электронным контроллером и механическим приводом клапана. Наличие клапанов учитывается в таблице гидравлического расчета следующим образом. На основном циркуляционном кольце после участка, соответствующего расчетному отопительному прибору, в следующей строке указываются потери в клапане $\Delta P_{\text{кл}}$, Па. Они определяются по его гидравлической характеристике, исходя из расчетного расхода воды через прибор G , кг/ч, при некоторой промежуточной настройке (обычно 3 – 5) так, чтобы величина $\Delta P_{\text{кл}}$ лежала в пределах 4 – 10 кПа (рисунок 1.13, слева), и учитываются в общей сумме потерь по кольцу (см. О.Д.Самарин. Гидравлические расчеты инженерных систем. Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2016. – 132 с.). При увязке второстепенных колец номер настройки определяется по характеристике, исходя из требуемых для полной увязки потерь на клапане и расхода G . Принимается настройка, соответствующая линии на характеристике, ближайшей к получаемой рабочей точке (рисунок 1.13, справа). Расстояние по вертикали от рабочей точки до принятой линии составит остаточную невязку, которая должна лежать в допустимых для данного типа системы пределах ($\pm 5\%$ для попутных систем и $\pm 15\%$ для тупиковых).

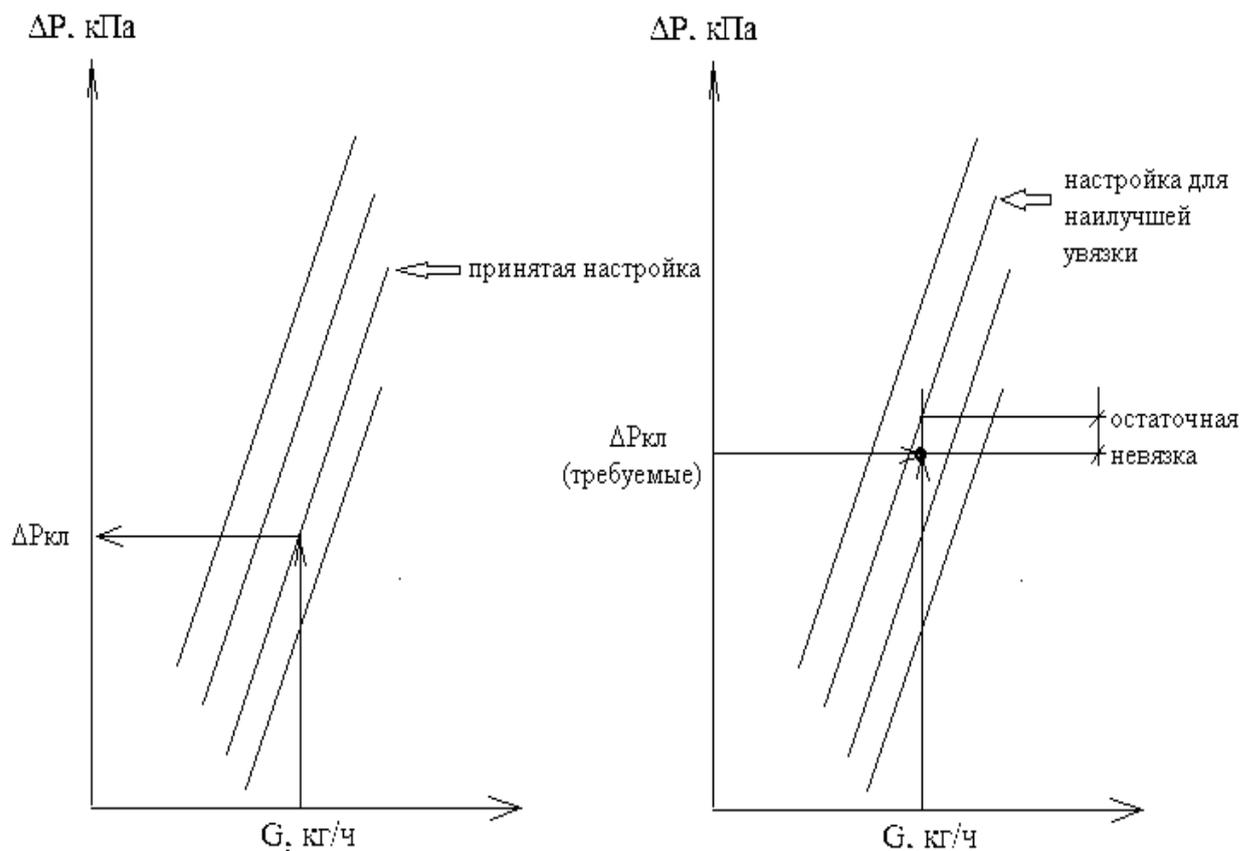


Рис.1.13. Правила пользования гидравлической характеристикой термоклапана

Использование термоклапанов повышает гидравлическую устойчивость системы отопления, поскольку при этом увеличивается доля потерь давления в стояках по сравнению с потерями в магистралях. В двухтрубных системах это приводит еще и к устранению опасности возникновения обратной циркуляции в промежуточных стояках. Графически это отражается повышением расстояния между линиями, изображающими давления в подающей и обратной магистрали на соответствующей эпюре. В однотрубных системах такой опасности нет, но относительный рост потерь в стояках облегчает гидравлическую увязку и позволяет не ограничивать максимальное число стояков в одной ветви числом 5 – 7, как это рекомендуется в системах без термоклапанов. Тем не менее, в некоторых случаях подбором настройки термоклапанов увязку полностью

осуществить все же не удастся. Тогда окончательная увязка производится уточнением диаметров трубопроводов, как и в обычных системах отопления.

В многоэтажных зданиях (более 4-х этажей) для максимальной стабилизации гидравлического режима и выравнивания потерь во всех стояках на них могут устанавливаться дополнительно балансировочные клапаны. Это тоже пропорциональные регуляторы прямого действия. Роль чувствительного элемента (датчика) играет сам стояк, поскольку между перепадом давлений на стояке (без учета потерь в самом регуляторе) $\Delta P_{ст} = P_1 - P_2$ и расходом воды через него (а значит, и через весь регулятор) $G_{ст}$ существует однозначная связь: $\Delta P_{ст} = S G_{ст}^2$, где S – характеристика сопротивления стояка, Па/(кг/ч)², являющаяся известной постоянной величиной. Давление P_1 передается в верхнюю часть камеры, в которой находится поршень, через импульсную трубку, присоединяющуюся к подающему стояку (см. рисунок 1.14, 1.14а, 1.14б), а давление P_2 действует на поршень снизу непосредственно через пространство вокруг штока клапана (см. О.Д.Самарин. Гидравлические расчеты инженерных систем. Справочное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2016. – 132 с.).

Таким образом, на поршень действует перестановочная сила $F_{пер} = (P_1 - P_2)A_p = \Delta P_d \cdot A_p$, Н, где A_p – площадь поршня. Поскольку $P_1 > P_2$, эта сила направлена сверху вниз. В стационарных условиях она уравновешивается силой пружины $-kx$, где k – жесткость пружины, Н/м; x – смещение поршня относительно начального положения, м.

Если по какой-либо причине расход воды через стояк, а значит, и через регулятор увеличивается по сравнению с заданным, сразу повышается и величина $\Delta P_{ст}$, поскольку она равна $S G_{ст}^2$. Следовательно, растет и перестановочная сила, которая больше не уравновешивается реакцией пружины. Поэтому под влиянием их равнодействующей поршень со штоком

перемещается вниз, и клапан прикрывается, уменьшая величину $G_{ст}$. В конце концов, устанавливается новое положение равновесия, потому что при смещении поршня вниз происходит сжатие пружины, и ее реакция возрастает до тех пор, пока не уравнивает перестановочную силу.

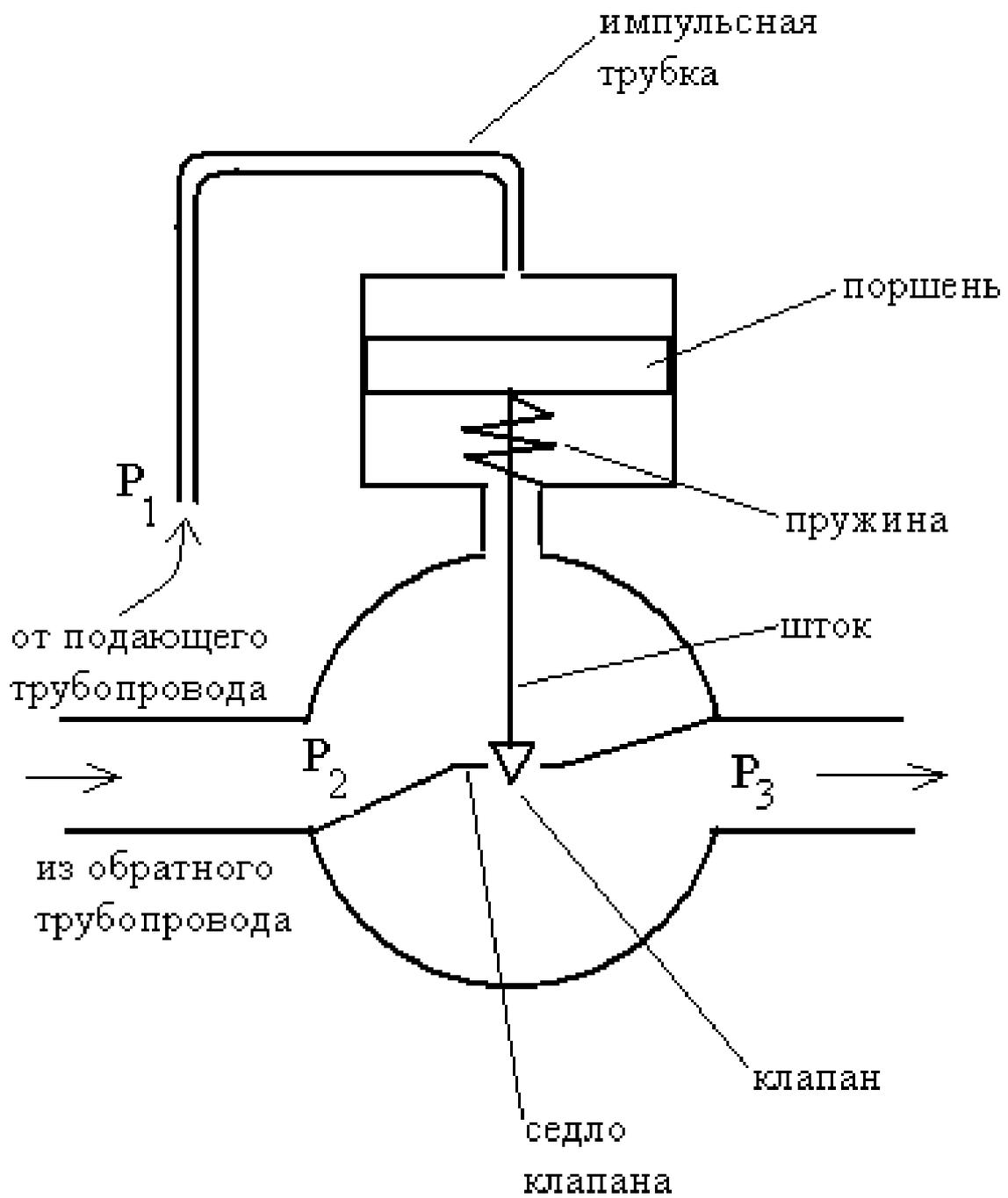


Рис.1.14. Принципиальная схема конструкции балансировочного клапана для системы водяного отопления



Рис.1.14а. Балансировочный клапан (вид снаружи, вариант конструкции)



Рис.1.14б. Балансировочный клапан (вид снаружи, вариант конструкции)

Подбор регулятора осуществляется по его собственной расходной характеристике k_v , связывающей величину G с перепадом давления на регуляторе в целом (т.е. на стояке с учетом потерь в регуляторе) $\Delta P_{\text{рег}} = P_1 - P_3$: $k_v = G / \sqrt{\Delta P_{\text{рег}}}$. Настройка регулятора на конкретное значение G осуществляется начальным сжатием пружины.

Термоклапаны и их настройку тоже можно подбирать по их расходным характеристикам, если известна величина G и требуемый уровень $\Delta P_{\text{кл}}$: $k_v = 10^{-3} G / \sqrt{\Delta P_{\text{кл}}}$. Здесь $\Delta P_{\text{кл}}$ необходимо подставлять в барах (1 бар = 10^5 Па = 100 кПа). Коэффициент 10^{-3} в данном выражении появляется из-за того, что непосредственно в каталогах приводятся не массовые, а объемные расходы воды в м³/ч. Соответственно при известной k_v действительный перепад давлений на клапане можно вычислить как $\Delta P_{\text{кл}} = 0,1(G/k_v)^2$, Па. Здесь коэффициент $0,1 = 10^5 \cdot (10^{-3})^2$.

Оценка эффективности устройств регенерации теплоты и снижения энергопотребления

Нужно отметить, что коэффициент температурной эффективности удобнее всего использовать при поверочном расчете аппаратов теплоутилизации, когда определяется фактическая температура приточного воздуха после подогрева, особенно в переменных режимах в течение отопительного сезона:

$$t'_{yt} = t'_n + k_{\text{эф}}(t_y - t'_n) \quad (1.19)$$

Удобство данного показателя заключается в том, что величина $k_{\text{эф}}$ является практически постоянной в течение отопительного периода, так как не зависит от температуры воздуха. Максимально возможная эффективность теплоутилизации при прочих равных условиях достигается при одинаковых расходах притока и вытяжки. Если известны конструктивные характеристики теплоутилизационного оборудования, величину $k_{\text{эф}}$ можно определить по выражениям (1.20) – (1.22), получающимся из записанных в безразмерном виде уравнений теплового баланса и теплопередачи в рассматриваемых аппаратах (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с., Е.М.Белова. Центральные системы кондиционирования воздуха в зданиях. – М.: Евроклимат. – 2006. – 640 с., В.Н.Богословский, М.Я.Поз. Теплофизика аппаратов утилизации тепла систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. – М.: Стройиздат. – 1983.):

для утилизаторов с промежуточным теплоносителем:

$$k_{\text{эф}} = \frac{NTU}{NTU + 2} \quad (1.20)$$

для рекуперативных пластинчатых перекрестноточных утилизаторов:

$$k_{\text{эф}} = \frac{NTU}{1.137 \cdot NTU + 1} \quad (1.21)$$

для вращающихся роторных регенераторов:

$$k_{\text{эф}} = \frac{NTU_i}{0.6 \cdot NTU_p^2 + NTU + 2} \quad (1.22)$$

Здесь $NTU = \frac{3600 \cdot KF}{L_{\text{п}} c_p} = \frac{3 \cdot KF}{L_{\text{п}}}$ – безразмерное *число единиц переноса теплоты* для теплоутилизационного оборудования рассматриваемой системы приточной вентиляции или КВ, где K – коэффициент теплопередачи соответствующего теплообменника, Вт/(м²·К); F – его поверхность теплообмена, м², принимаемые по характеристикам соответствующего оборудования; $L_{\text{п}}$ – воздухопроизводительность приточной установки, где установлен рассматриваемый теплообменник, м³/ч;

$NTU_p = \frac{Kz}{\delta_p c_p \rho_p}$ – безразмерное *число единиц переноса теплоты для ротора* вращающегося регенератора, где z – время одного полного оборота ротора, с; δ_p – толщина пластин насадки ротора, м; c_p , Дж/(кг·К), и ρ_p , кг/м³ – соответственно удельная теплоемкость и плотность материала насадки, принимаемые по характеристикам соответствующего оборудования.

Формулы (1.20 – 1.22) справедливы при расходе вытяжного воздуха в теплоизвлекающей части теплоутилизатора, отличающемся от $L_{\text{п}}$ не более чем на 10%. Заметим, что, в отличие от схемы с промежуточным теплоносителем, где $k_{\text{эф}}$ можно определить по результатам построения процесса в $I-d$ -диаграмме для расчетных условий холодного периода, в случае пластинчатых рекуператоров и роторных регенераторов расчет $k_{\text{эф}}$ через величину NTU является единственно возможным, поскольку эти теплообменники представляют собой готовые изделия с конкретной заданной поверхностью теплообмена. Поэтому при их применении количество утилизируемой теплоты и фактическое состояние вытяжного воздуха за аппаратом определяются после вычисления $k_{\text{эф}}$:

$$Q_{yt} = G_{псв}(t_{yt} - t_{н})/3.6 \quad (1.23)$$

$$I_o = I_y - 3.6Q_{yt}/G_y \quad (1.24)$$

Заметим еще, что, помимо утилизации теплоты вытяжного воздуха существуют и другие малозатратные энергосберегающие мероприятия. В частности, таковым является снижение воздухообмена в помещении, если это удастся обосновать соответствующим расчетом. В этом случае уменьшается средняя кратность воздухообмена и соответственно характеристика $k_{вент}$ (см. п.1.2). Данный прием вообще не требует дополнительных капиталовложений. Наоборот, в этом случае капитальные затраты даже уменьшаются. Рассмотрим характерный случай, когда это возможно, а именно при проектировании автоматизированных систем вентиляции и кондиционирования воздуха (В и КВ).

Основной особенностью здесь является необходимость расчета нестационарного теплового режима обслуживаемого помещения с учетом автоматического регулирования систем В и КВ. В этих условиях, за счет совместного использования собственной теплоустойчивости помещения и регулирующего воздействия систем автоматического управления (САУ) удастся сократить установочную тепло- (холодо) производительность вентиляционного оборудования по сравнению с максимальным в течение суток значением теплоизбытков (или теплопотерь) Q_{max} и уменьшить в том же соотношении и воздухообмен (см. О.Д.Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.,).

Указанное сокращение можно произвести, если имеются переменные в течение рабочего дня (или суток, если системы В и КВ (СКВ) работают

круглосуточно) составляющие теплового баланса. К ним относятся: в теплый и переходный периоды года (ТП и ПП) – теплопоступления от солнечной радиации; в холодный период (ХП) – теплопоступления от освещения (кроме помещений с постоянно работающим освещением в течение всего рабочего дня). Кроме того, для любого расчетного периода года сюда входят теплопоступления от людей и технологического оборудования, если есть данные об их неравномерном характере в течение дня.

Основой предлагаемой методики является предположение, что общая теплоустойчивость системы «помещение-СКВ-САР» складывается из показателя теплопоглощения помещения и управляющего воздействия САР

Можно показать, что в рассматриваемых условиях поддержание $t_b = \text{const}$ физически невозможно, хотя бы из-за наличия существенной зоны нечувствительности у датчиков температуры, входящих в САР.

Поэтому нужно задаться максимальной амплитудой колебаний t_b (A_{t_b}).

При этом сама СКВ и ее САР образуют для помещения отрицательную обратную связь по каналу «телопоступления $Q_{\text{возм}} - t_b$ », поскольку входной информацией для их работы является величина отклонения t_b от заданного среднего уровня, а результатом их действия – тепловой поток $Q_{\text{рег}}$, который добавляется к $Q_{\text{возм}}$, полностью или частично компенсируя его и внося, таким образом, дополнительное стабилизирующее воздействие в систему «помещение-СКВ-САР».

Оптимальное значение A_{t_b} можно задать, например, из соображений предотвращения чрезмерного теплового дискомфорта. Получаемая амплитуда будет непосредственно влиять на требуемую установочную мощность СКВ и воздухообмен в помещении. При этом стремление значения A_{t_b} к нулю равносильно применению автоматического регулятора с бесконечным коэффициентом передачи и на практике нереализуемо.

Для ориентировочных расчетов можно принимать, что максимум всех переменных теплопоступлений приходится на середину рабочего дня, кроме теплопоступлений от освещения, которые в этот момент, наоборот, имеют минимум. Это особенно верно для ХП. Что касается ТП и ПП, то, учитывая, что основной вклад в тепловую нагрузку на помещение вносят теплопоступления от солнечной радиации, можно считать, что максимум общих теплопоступлений совпадает по времени с максимумом теплопоступлений от солнечной радиации, определенным в процессе соответствующего расчета.

В этом случае средняя за рабочее время нагрузка на системы В и КВ, Вт, должна определяться следующим образом:

$$Q_{\text{ср}} = Q_{\text{пост}} + Q_{\text{пер}}/2, \quad (1.25)$$

где $Q_{\text{пост}}$ – сумма постоянных составляющих теплового баланса помещения;
 $Q_{\text{пер}}$ – то же для переменных составляющих.

Амплитуда колебаний тепловыделений при этом определится по формуле (1.26):

$$A_q = Q_{\text{пер}}/2 (\text{для ТП и ПП}); A_q = |Q_{\text{пер}}/2 - Q_{\text{осв}}| (\text{для ХП}); \quad (1.26)$$

где $Q_{\text{осв}}$ – теплопоступления от освещения. Во всех случаях предполагается, что определяемые обычным расчетом максимальные значения каждой составляющей теплового баланса примерно в 2 раза больше средних за рабочее время (если есть более точные данные, расчет должен их учитывать). Формула (1.26), кроме того, учитывает, что, в отличие от остальных составляющих, тепловыделения от освещения в середине рабочего дня минимальны.

Определяем нормируемую амплитуду колебаний температуры внутреннего воздуха в соответствии с назначением помещения и технологическими требованиями. При отсутствии специальных требований в ХП и ПП $A_{тв} = 1^\circ\text{C}$, а в ТП – 1 .. 2 $^\circ\text{C}$ (меньшее значение – при расчете КВ). Более точно эту амплитуду можно определять из условий комфортности.

Вычисляем показатель собственной теплоустойчивости помещения, Вт/К:

$$P_{\text{пом}} = P_{\text{огр}} + P_{\text{вент}}, P_{\text{вент}} = Lc\rho \quad (1.27)$$

Однако при автоматическом регулировании систем В и КВ под расходом воздуха L в формуле (1.27) понимается только неорганизованный воздухообмен (инфильтрация, эксфильтрация и т.д.). При этом L следует подставлять в м³/с; $c = 1,005$ кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость воздуха, а $\rho = 1,2$ кг/м³ – его плотность в условиях расчета.

$$P_{\text{огр}} = \frac{1,1 + (0,25 - 0,1D_{\text{ср}})q_{\text{к}}}{1/\Sigma YA + q_{\text{к}}/\Sigma \alpha A} \quad (1.28)$$

где $D_{\text{ср}} = \Sigma DA/\Sigma A$ – осредненная тепловая инерция ограждений помещения; ΣYA – суммарный показатель теплоусвоения внутренних поверхностей ограждений; $\Sigma \alpha A$ – то же для конвективного теплообмена; $\Sigma \alpha A = \alpha_{\text{ср}}\Sigma A$, где $\alpha_{\text{ср}}$ можно принимать равным около 2 Вт/(м²К); $q_{\text{к}}$ – доля конвективной составляющей в переменной части тепловыделений. Следует только заметить, что при $D_{\text{ср}} < 1$ в формулу (1.28) следует подставлять $D_{\text{ср}} = 1$, а при $D_{\text{ср}} > 2,5$ следует подставлять $D_{\text{ср}} = 2,5$.

Значения $q_{\text{к}}$ определяются для различных видов тепlopоступлений по выражению:

$$q_{\text{к}} = \Sigma q_{\text{к},i} Q_i / \Sigma Q_{\text{пер}}, \quad (1.29)$$

где Q_i – i -я составляющая переменных тепловыделений; $q_{\text{к}i}$ – доля конвективной части в Q_i . Для тепловыделений от солнечной радиации $q_{\text{к}} = 0,15 \dots 0,2$; от людей – около 0,4 .. 0,6 (по явной теплоте); от освещения люминесцентными лампами – порядка 0,4 .. 0,5; от технологического оборудования – в пределах от 0,2 до 0,8 (определяется индивидуально). Ориентировочно в ТП и ПП $q_{\text{к}} = 0,25 \dots 0,3$; в ХП – 0,4 .. 0,5.

Значения $D_{\text{ср}}$ и ΣYA определяются расчетом соответствующих показателей для каждого ограждения по обычным формулам. При этом в большинстве случаев величину ΣYF и $P_{\text{огр}}$ можно определить таким же способом, как и $\Sigma \alpha A$,

т.е. через ΣA и средние удельные коэффициенты теплоусвоения $Y_{уд}$ и теплопоглощения $P_{уд}$ внутренних поверхностей ограждающих конструкций, Вт/м²·К, которые зависят главным образом от материала слоев ограждений, обращенных в помещение, и для наиболее типичных сочетаний материалов и характерных соотношений размеров поверхностей могут быть приняты по таблице 1.10.

Таблица 1.10.

Характеристики различных вариантов ограждений

Материал со стороны помещения :				$Y_{уд}$, Вт/м ² ·К	$\Sigma YA / \Sigma \alpha A$	$P_{уд}$, Вт/м ² ·К
Наружная стена	Пол	Потолок	Внутренние стены			
Шлакобетон	Линолеум	Ж/бетон	Гипсобетон	12,2	6,1	1,72
Кирпич	То же	То же	Кирпич	10,6	5,3	1,68
То же	То же	То же	Сухая штукатурка	7,8	3,9	1,59
Легкий бетон	Паркет	Фибролит	То же	4,6	2,3	1,39
То же	Ж/бетон	Ж/бетон	Гипсобетон	11,4	5,7	1,70
Кирпич	Линолеум	То же	То же	10,0	5,0	1,67
Шлакобетон	Паркет	То же	Сух.штукат.	8,8	4,4	1,60
Легкий	Линолеум	То же	То же	8,2	4,1	1,61

бетон						
Дерево	Дерево	Дерево	Дерево	6,2	3,1	1,51

Соответствующее уравнение общего теплового баланса помещения из-за допущения некоторой амплитуды колебаний внутренней температуры получается в следующем виде:

$$(1 - q_k)Q_{\text{возм}} - Q_{\text{рег}} - P_{\text{огр}}[(1 - q_k)Q_{\text{возм}}/\Sigma\alpha A + t_{\text{в}}] = 0, \quad (1.30)$$

Вычисляем динамический коэффициент регулирования систем В и КВ:

$$R_{\text{дин}} = \frac{A_{t_{\text{в}}}P_{\text{пом}}}{A_q} \text{ (безразмерный)}. \quad (1.31)$$

Если $R_{\text{дин}} > 1$, то собственной теплоустойчивости помещения хватает для поддержания температуры внутреннего воздуха в требуемых пределах. Тогда автоматическое регулирование по отклонению внутренней температуры не требуется, а расчетное значение тепловыделений (для расчета воздухообмена) $Q_{\text{расч}} = Q_{\text{ср}}$. Если же $R_{\text{дин}} < 1$, то необходимо автоматическое регулирование систем В и КВ. Тогда расчетное значение тепловыделений, равное амплитуде $Q_{\text{рег}}$, Вт, вычисляется по формуле (1.32):

$$Q_{\text{расч}} = Q_{\text{ср}} + K_{\text{асс}}A_q, \quad (1.32)$$

где $K_{\text{асс}}$ – коэффициент ассимиляции переменных тепловыделений, по смыслу равный отношению требуемой амплитуды колебаний $Q_{\text{рег}}$ к амплитуде колебаний $Q_{\text{возм}}$ и определяемый по формуле (1.33):

$$K_{\text{асс}} = A(1 - B \cdot R_{\text{дин}})B_o, \quad (1.33)$$

Данное соотношение получается после замены текущих значений переменных их амплитудами и некоторых преобразований из уравнения (1.30). Физическая сущность множителя в выражении (1.33), стоящего в скобках, заключается в снижении необходимой установочной мощности

автоматизированных систем В и КВ за счет частичного использования теплоинерционности помещения при поддержании внутренней температуры в заданном диапазоне, так что на долю САР в этом случае возлагается задача по компенсации только той части теплового возмущения, которая не может быть погашена самим помещением.

По определению коэффициент ассимиляции всегда меньше 1, т.к. собственная теплоустойчивость помещения никогда не равна нулю. При этом предполагается, что доля лучистой составляющей в теплоотдаче (теплоассимиляции) СКВ не превышает соответствующую долю в тепловом возмущении, что отвечает известному положению (В.Н.Богословский, Е.Г.Малявина) о предпочтительности конвективного способа компенсации лучистых тепловыделений. В частном случае, когда собственных ресурсов помещения достаточно для поддержания расчетных внутренних условий в требуемых пределах, коэффициент ассимиляции равен нулю, а автоматическое регулирование по отклонению от среднего не требуется. В противном случае определяется коэффициент передачи управляющего устройства, связанный с коэффициентом ассимиляции и обеспечивающий требуемое управляющее воздействие САР.

Параметр B_o – показатель ассимиляции лучистых тепловыделений конвективными системами В и КВ;

$$B_o = \frac{1 + 0,7q_k \Sigma YA / \Sigma \alpha A}{1 + 0,7 \Sigma YA / \Sigma \alpha A} \quad (\text{безразмерный}). \quad (1.34)$$

Ясно, что B_o всегда меньше единицы, поскольку $q_k < 1$. Параметры A и B зависят в общем случае от $R_{\text{дин}}$, q_k и используемого закона регулирования. При пропорциональном регулировании (когда тепло(холодо) производительность систем В и КВ меняется прямо пропорционально отклонению температуры внутреннего воздуха от заданного среднего значения) для A и B в среднем имеем: при $R_{\text{дин}} > 0,75$ $A = 1,15$, $B = 1$; при $R_{\text{дин}} < 0,75$ $A = 1$, $B = 0,9$.

В общем случае сложного лучисто-конвективного характера тепlopоступлений и теплоотдачи(теплоассимиляции) систем В и КВ, а также при сложных законах регулирования, в формуле (1.33) появляются числовые коэффициенты, учитывающие свойства регулятора и СКВ, но структура приведенной зависимости, состоящей из двух множителей, описывающих управляющее воздействие и теплоинерционность помещения, остается неизменной.

Полученное значение $Q_{\text{расч}}$ используется в дальнейшем для расчета воздухообмена по явной теплоте. Поскольку по смыслу приведенных зависимостей $K_{\text{асс}}$ всегда меньше единицы, а значит, и $Q_{\text{расч}} < Q_{\text{max}}$, учет автоматического регулирования действительно приводит к сокращению максимальной тепловой или холодильной нагрузки установок В и КВ и к уменьшению в той же пропорции их воздухопроизводительности. При этом получаемая экономия носит комплексный характер, поскольку помимо сокращения установочной мощности и габаритов вентагрегатов, при этом уменьшаются размеры трубопроводов, воздухопроводов и воздухо-распределительных устройств, а также затраты электроэнергии на привод вентиляторов и насосов.

Более того, повышается коэффициент использования установленной мощности оборудования, т.к. сокращается разрыв между максимальной и средней нагрузкой на СКВ. По сути дела, предлагаемый способ сокращения воздухообмена представляет собой возможно более полное использование пассивных (конструктивных и объемно-планировочных) элементов систем обеспечения микроклимата для поддержания требуемых параметров воздушной среды и сокращение за счет этого роли активных компонентов, а значит, и возможность энергосбережения (по сравнению с традиционными решениями).

О масштабах достигаемой в данном случае экономии можно судить на основании следующего характерного примера. Расчеты проведены для

помещения площадью 16 м^2 с максимальными тепловыделениями $Q_{max} = 1500$ Вт и средними за рабочее время продолжительностью 9 часов $Q_{cp} = 750$ Вт. Предполагалось, что поступления избыточного тепла связаны преимущественно с солнечной радиацией, так что доля лучистой составляющей в них равна 0,8. Остальные 20% проникают за счет конвекции на поверхностях остекления, т.е. $q_k = 0,2$. В качестве СКВ принята воздушная конвективная система охлаждения. Характеристики ограждений соответствуют рядовому помещению в здании со стенами из силикатного кирпича, перегородками из гипсобетона и перекрытиями из железобетонных пустотных панелей. В этом случае при высоте этажа 2,7 м собственная теплоустойчивость помещения $P_{пом} = 460$ Вт/К, а показатель B_o равен 0,57.

Тогда при пропорциональном законе регулирования СКВ и довольно жестких требованиях к амплитуде внутренней температуры (в 1 градус) коэффициент ассимиляции переменных тепловыделений получается равным всего 0,25, и в этих условиях достаточная установочная мощность оборудования $Q_{расч} = 940$ Вт. Это на 37% ниже максимальной нагрузки на помещение и на 16% ниже значения, получаемого по существующей методике расчета нестационарного теплового режима помещения, не учитывающей влияние автоматического регулирования на мощность СКВ.

При применении оптимального регулирования по пропорционально-дифференциальному закону, когда предварение регулирующего воздействия компенсирует запаздывание колебаний теплового возмущения за счет теплоинерционности помещения, требуемая мощность еще более уменьшается. При этом разница между ней и максимальной нагрузкой увеличивается соответственно до 39% и 19%, а при расширении допустимого диапазона колебаний внутренней температуры до $1,65 \text{ }^\circ\text{C}$ в обе стороны от средней установочная мощность принимает минимально возможное значение, равное $Q_{cp} = 750$ Вт. В такой же пропорции снижается и годовой расход теплоты на подогрев приточного воздуха, что следует признать очень значительным

результатом, тем более что он достигается вообще без дополнительных капиталовложений.

Предлагаемую методику сокращения воздухообмена целесообразно использовать для помещений, в которых требуется подробный его расчет по тепловыделениям. Дело в том, что часто в таких помещениях фактическая кратность воздухообмена бывает существенно выше, чем там, где она определяется по нормативам. В то же время нормативную кратность снижать нецелесообразно, поскольку она определяется главным образом по требованиям безопасности, а значит, в соответствии с действующими в РФ документами эти нормативы должны иметь обязательный характер. Поэтому при необходимости уменьшить в процессе подробного расчета суммарный расход приточного воздуха на здание в целом такая методика может оказаться единственным способом обеспечения такого соответствия.

1.4. Технико-экономическое обоснование применения энергосберегающих мероприятий

Если считать, что для приобретения дополнительного оборудования и материалов привлекаются собственные средства инвестора, тогда *совокупные дисконтированные затраты СДЗ*, руб., приведенные к концу расчетного срока, для каждого варианта определяются по следующей формуле (см. В.Г.Гагарин. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 1. // Журнал АВОК. – 2009. – № 1. – с. 10 – 16, О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.):

$$\text{СДЗ} = K(1 + p/100)^T + \sum_{i=1}^T \text{Э}_i (1 + p/100)^i \quad (1.35)$$

где K – *капитальные единовременные затраты*, руб., и Э_i – *суммарные годовые эксплуатационные затраты за i -й год*, руб./год, для рассматриваемого варианта; p – *норма дисконта*, %. Она учитывает упущенную выгоду от того, что эти средства вложены в энергосбережение вместо размещения под проценты в банке. В расчетах ее можно принимать равной среднерыночной банковской ставке по кредитам или, по крайней мере, не ниже ключевой ставки ЦБ РФ. По состоянию на конец 2019 года эта ставка составляет 6,25% годовых. Величина p связана с текущей величиной данной ставки, а также с коммерческими рисками капиталовложений. В существующих рекомендациях (см. А.Н.Дмитриев, Ю.А.Табунщиков, И.Н.Ковалев, Н.В.Шилкин. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК-ПРЕСС. – 2005. – 120 с.) предлагается принимать $p = 10\%$.

Если Э_i за каждый год одинаковы, формулу можно привести к более простому виду (см. В.Г.Гагарин. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 1. // Журнал АВОК. – 2009. – № 1. – с. 10 – 16, О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.):

$$\text{СДЗ} = K\left(1 + \frac{p}{100}\right)^T + \text{Э}[(1 + p/100)^T - 1] \left(\frac{100}{p}\right), \text{руб.} \quad (1.36)$$

Обычно на стадии ТЭО сравниваются два варианта: один из них требует больших капитальных затрат K_1 , но отличается пониженными эксплуатационными расходами Э_1 (как правило, за счет реализации тех или иных энергосберегающих мероприятий), а второй – наоборот, требует более

низких капитальных затрат K_2 , но отличается более высокими эксплуатационными \mathcal{E}_2 . Таким образом, для сравниваемых вариантов выполняются неравенства $K_1 > K_2$, но $\mathcal{E}_1 < \mathcal{E}_2$.

Капитальные затраты включают в себя стоимость устанавливаемого оборудования и используемых материалов с учетом расходов на монтаж, наладку и автоматизацию. Эти затраты определяются по смете или для предварительных расчетов – по укрупненным показателям, например, через удельную стоимость на единицу мощности или воздухопроизводительности установки (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.). Стоимость теплоизоляционного материала в конструкциях наружных ограждений может быть вычислена по формулам в зависимости от сопротивления теплопередаче ограждения. Подробнее данный вопрос будет рассмотрен в конце данной главы.

Эксплуатационные затраты включают расходы на тепловую и электрическую энергию, заработную плату обслуживающего персонала и амортизационные отчисления. Их можно оценить с использованием следующей методики (см. Л.Д. Богуславский, А.А. Симонова, М.Ф. Митин. Экономика теплогазоснабжения и вентиляции. – М.: Стройиздат. – 1988. – 351 с.), адаптированной для применения на стадии ТЭО.

А. Затраты, связанные с потреблением электроэнергии системой отопления, вентиляции или кондиционирования воздуха (В и КВ), определяются по формуле (1.37):

$$\mathcal{E}_{\text{эл}} = Z_p N_{\text{раб}} N_{\text{уст}} C_{\text{эл}}, \text{ руб./г.} \quad (1.37)$$

где Z_p – число часов в сутки, когда отопительное или вентиляционное оборудование работает; $N_{\text{раб}}$ – число рабочих дней в году, определяемое исходя из режима работы объекта; $N_{\text{уст}}$ – установочная мощность оборудования (электродвигателей насосов и вентиляторов), кВт; $C_{\text{эл}}$ – стоимость электроэнергии, руб/кВт·ч, принимаемая в зависимости от типа потребителя по

таблице 1.12. Для систем В и КВ установочную мощность по укрупненным показателям можно оценить по данным таблицы 1.11.

Таблица 1.11.

Удельная мощность вентиляционных агрегатов систем В и КВ.

Тип системы	Мощность, кВт на 1 тыс. м ³ /ч	Увеличение мощности при использовании теплоутилизации
Приточная	0.3 – 0.4	0.05
Приточная КВ	0.45 – 0.55	0.05
Вытяжная	0.25 – 0.3	0.1

Б. Затраты, связанные с потреблением тепловой энергии системой В или КВ за отопительный период, вычисляются по формуле (1.38):

$$\mathcal{E}_{\text{т.вент}} = 10^{-6} Z_p G_{\text{п}} c_{\text{в}} \text{ГСОП} (1 - k_{\text{эф}}) C_{\text{т}} / 4,19, \text{ руб./г.} \quad (1.38)$$

где Z_p – то же, что и в п. А (среднее за неделю); ГСОП – градусо-сутки отопительного периода. $G_{\text{п}}$ – массовый расход нагреваемого воздуха, кг/ч, $G_{\text{п}} = L \cdot \rho_{\text{в}}$, где плотность воздуха $\rho_{\text{в}}$ можно принимать равной 1,2 кг/м³; $c_{\text{в}} = 1,005$ кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость воздуха; параметр $k_{\text{эф}}$ представляет собой коэффициент температурной эффективности теплоутилизатора (при наличии в рассматриваемом варианте утилизации теплоты), определяемый по расчету теплоутилизационного оборудования (см. п.1.3). На стадии предварительных вычислений можно принимать $k_{\text{эф}} = 0,4 - 0,5$ для систем с промежуточным теплоносителем, $0,5 - 0,55$ – для пластинчатых перекрестно-точных теплообменников и $0,7 - 0,8$ – для вращающихся (роторных) регенераторов (см.

п.1.3). C_T – стоимость единицы тепловой энергии, руб./Гкал, принимаемая в зависимости от типа потребителя по таблице 1.12.

Если известно годовое энергопотребление системой В и КВ $Q_{\text{вент}}^Г$, МДж/г. (см. курс «Строительная теплофизика и микроклимат зданий»), величину $\mathcal{E}_{\text{т.вент}}$ можно вычислить как $Q_{\text{вент}}^2 C_T / 4190$.

В. Затраты, связанные с потреблением тепловой энергии за отопительный период системой отопления, на стадии ТЭО определяются так:

а) если мощность системы отопления $\Sigma Q_{\text{от}}$, кВт, известна, например, из подробного расчета теплопотерь здания, используем выражение (1.39):

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}} = 0,0864 \frac{\Sigma Q_{\text{от}}}{4,19(t_{\text{в}} - t_{\text{н5}})} \text{ГСОП} \cdot C_T, \text{ руб./г.} \quad (1.39)$$

б) если $\Sigma Q_{\text{от}}$ неизвестна, предварительно определяют ее ориентировочное значение.

Если известно годовое энергопотребление системой отопления $Q_{\text{от}}^Г$, МДж/г. (см. курс «Строительная теплофизика и микроклимат зданий»), величину $\mathcal{E}_{\text{т.от}}$ можно вычислить как $Q_{\text{от}}^2 C_T / 4190$.

При оборудовании приборов системы отопления автоматическими терморегуляторами (термоклапанами) из величины $\mathcal{E}_{\text{т.от}}$ необходимо вычесть экономию $\mathcal{E}_{\text{пост}}$ за счет полезного использования теплопоступлений в помещения здания. На стадии предварительных расчетов это можно сделать по выражению (1.40):

$$\mathcal{E}_{\text{пост}} = 0,0864 q_{\text{пост}} A_{\text{от}} z_{\text{от}} C_T \cdot 10^{-3} / 4,19, \text{ руб./г.} \quad (1.40)$$

где $A_{\text{от}}$ – отапливаемая площадь здания, м^2 , принимаемая по архитектурно-строительным чертежам; $q_{\text{пост}}$ – удельные теплопоступления на 1 м^2

отапливаемой площади, Вт/м², от людей, освещения и электроприборов, приводов инженерных систем и солнечной радиации. Величину $q_{\text{пост}}$ в общественных зданиях можно принимать в размере 10 – 15 Вт/м².

Если известны годовые тепlopоступления $Q_{\text{пост}}^{\Gamma}$, МДж/г. (см. курс «Строительная теплофизика и микроклимат зданий»), величину $\mathcal{E}_{\text{пост}}$ можно вычислить как $Q_{\text{пост}}^2 C_{\Gamma} / 4190$.

Г. Годовые амортизационные отчисления на оборудование систем отопления, вентиляции или кондиционирования воздуха определяются по формуле (1.41):

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = \frac{1,5 \cdot K}{T_{\text{ам}}}, \text{ руб./г.} \quad (1.41)$$

где K – капитальные затраты, руб., для соответствующего варианта; $T_{\text{ам}}$ – расчетный срок службы оборудования, лет, принимаемый в зависимости от его назначения и технических характеристик. На стадии ТЭО можно считать $T_{\text{ам}} = 30 - 40$ лет для систем отопления и 10 – 15 лет для систем вентиляции и кондиционирования воздуха. При технико-экономическом обосновании применения дополнительной теплоизоляции ограждающих конструкций величина $T_{\text{ам}}$ выбирается равной расчетному сроку службы здания. Формула (1.41) учитывает расходы на полное возмещение стоимости, а также капитальный и текущий ремонт оборудования.

Д. Годовые расходы на оплату труда рабочих, обслуживающих оборудование систем отопления, В и КВ:

$$\mathcal{E}_{\text{зп}} = 12C_{\text{ср}}N_{\text{чел}}n_{\text{см}}, \text{ руб./г.} \quad (1.42)$$

где $C_{\text{ср}}$ – средняя ставка заработной платы рабочих, руб./мес; $N_{\text{чел}}$ – численность рабочих в бригаде; n – количество смен (бригад) обслуживания в

сутки. Данные параметры принимаются на основании раздела проекта «Технология строительного производства».

Суммарные годовые эксплуатационные затраты по вариантам:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{эл}} + \mathcal{E}_{\text{т}} + \mathcal{E}_{\text{ам}} + \mathcal{E}_{\text{зп}}, \text{ руб./год} \quad (1.43)$$

Таблица 1.12.

Тарифы на электрическую и тепловую энергию в Москве (с 01.07.2019).

Вид энергии	Потребитель	Ед. изм.	Тариф, руб./ед.изм.	Источник
Электрическая	Прочие	кВт·ч	4 – 5 (мощность до 670 кВт)	ОАО «Мосэнергосбыт»
	Население (эл. плиты)		4,65	
	Население (газ. плиты)		5,03	
Тепловая	Без преобразования в ТП*	Гкал	1904,28	ОАО «МОЭК»
	С преобразованием в ТП		2389,72	

*) ТП – тепловой пункт

Для оценки эффективности дополнительных капитальных вложений и определения срока их окупаемости необходимо построить графики зависимости $СДЗ_1$ и $СДЗ_2$ от T и найти их точку пересечения (рис.1.15). Если

графики не пересекаются или пересекаются при $T > T_{ам}$, дополнительные капитальные вложения в осуществление энергосберегающих мероприятий экономически нецелесообразны.

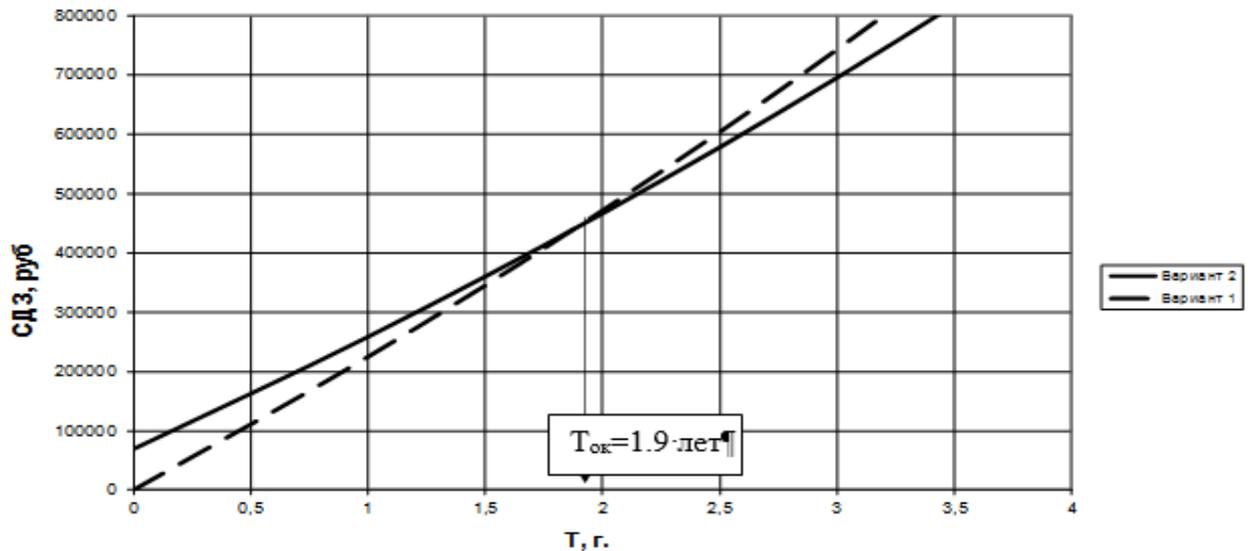


Рис. 1.15. Пример графика зависимости СДЗ по вариантам от времени и определения расчетного срока окупаемости

Более точно дисконтированный срок окупаемости можно вычислить по формуле (см. А.Н. Дмитриев, Ю.А. Табунщиков, И.Н. Ковалев, Н.В. Шилкин. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК-ПРЕСС. – 2005. – 120 с.):

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{pT_0}{100}\right)}{\ln\left(1 + \frac{p}{100}\right)}, \text{ лет;} \quad (1.44)$$

где $T_0 = \frac{K_1 - K_2}{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1}$

– бездисконтный срок окупаемости, г.

Формула для $T_{ок}$ будет корректной, когда аргумент логарифма в числителе оказывается положительным. Таким образом, критерием окупаемости дополнительных капитальных затрат при учете дисконтирования служит

неравенство $(\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1) > (K_1 - K_2) \cdot \frac{p}{100}$, смысл которого состоит в том, что годовая экономия эксплуатационных затрат по выбранному варианту должна быть больше, чем упущенная выгода.

Проведем технико-экономическое сравнение двух вариантов устройства утилизации теплоты вытяжного воздуха в системе механической вентиляции для здания средней школы в г. Москве по типовому проекту 221-1-25-387 (см. таблицу 1.4). Расчеты ведем в ценах 2010 года (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.). Отапливаемый объем здания $V_{зд} = 10,1$ тыс. м³ – определяем по архитектурно-строительным чертежам. Принимаем среднюю кратность воздухообмена $n_a = 1,5$, тогда ориентировочная воздухопроизводительность системы $L = 1,5 \cdot 10,1 = 15,2$ тыс. м³/ч. Удельную стоимость приточной установки в базовой комплектации при такой величине L можно взять в размере 27 тыс. руб. на 1 тыс. м³/ч, тогда общая стоимость этой установки будет равна $K_{пу} = 15,2 \cdot 27 = 410,4$ тыс. руб. Массовый расход воздуха составит $G_{п} = 15,2 \cdot 10^3 \cdot 1,2 = 18240$ кг/ч, где 1,2 – плотность воздуха, кг/м³.

В 1-м варианте предусматриваем теплоутилизацию с роторными регенераторами, во 2-м – с промежуточным теплоносителем. Поскольку варианты отличаются только способом теплоутилизации, будем рассматривать капитальные затраты только на теплоутилизационное оборудование. Для 1-го варианта они составят примерно 65% от $K_{пу}$, а с учетом автоматики (30% от стоимости дополнительного оборудования) и добавки в 60% на монтаж и наладку (к общей сумме с учетом автоматики) будут равны:

$$K_1 = 1,6 \cdot (410400 \cdot 0,65 \cdot (1 + 0,3)) = 554861 \text{ руб.}$$

Для 2-го варианта затраты на теплоутилизационное оборудование равны около 33% от $K_{пу}$, а с учетом всех добавок получаем:

$$K_2 = 1,6 \cdot (410400 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,3)) = 281699 \text{ руб.}$$

Определим годовые эксплуатационные расходы. В данном случае теплоутилизация используется в обоих вариантах, поэтому в первом приближении затраты на электроэнергию можно также считать одинаковыми и не рассматривать, как и затраты на заработную плату. Затраты на тепловую энергию будут различаться, поскольку коэффициент температурной эффективности утилизатора в 1-м варианте будет выше. Принимаем $k_{\text{эф.1}} = 0,75$ (среднее значение для роторного регенератора) и $k_{\text{эф.2}} = 0,45$ (среднее для схемы с промежуточным теплоносителем). Время работы системы вентиляции в течение недели считаем равным $Z_p = 12$ час/сут. Тогда получим:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{т.вент1}} &= \frac{12 \cdot 18240 \cdot 1,005 \cdot 4515 \cdot (1 - 0,75) \cdot 1290,81 \cdot 10^{-6}}{4,19} \\ &= 76493 \text{ руб./г.;} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{т.вент2}} &= \frac{12 \cdot 18240 \cdot 1,005 \cdot 4515 \cdot (1 - 0,45) \cdot 1290,81 \cdot 10^{-6}}{4,19} \\ &= 168284 \text{ руб./г.} \end{aligned}$$

Амортизационные отчисления при расчетном сроке службы системы $T_{\text{ам}} = 15$ лет: $\mathcal{E}_{\text{ам.1}} = 1,5 \cdot K_1 / T_{\text{ам}} = 1,5 \cdot 554861 / 15 = 55486$ руб./г.; $\mathcal{E}_{\text{ам.2}} = 1,5 \cdot K_1 / T_{\text{ам}} = 1,5 \cdot 281699 / 15 = 28170$ руб./г. Суммарные годовые эксплуатационные затраты: $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{\text{т.вент1}} + \mathcal{E}_{\text{ам1}} = 76493 + 55486 = 131979$ руб./г.; $\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_{\text{т.вент2}} + \mathcal{E}_{\text{ам2}} = 168284 + 28170 = 196454$ руб./г.

Вычисляем совокупные дисконтированные затраты при $p = 10\%$ и строим графики их зависимости от времени T по вариантам (рис. 1.16).

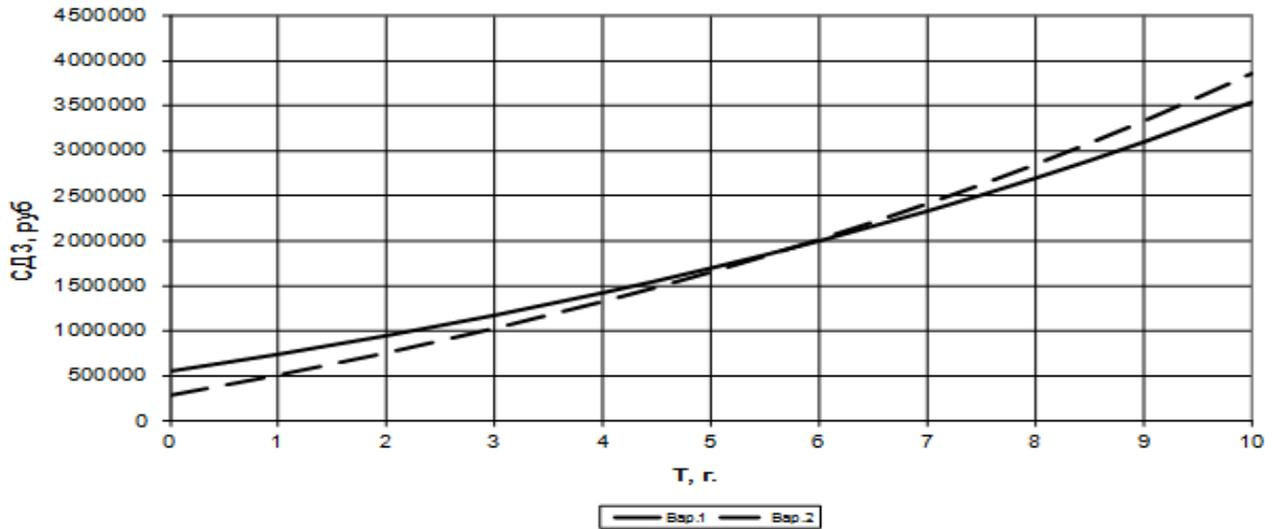


Рис. 1.16. Зависимость СДЗ от T по вариантам для рассмотренного примера

Из графика видно, что расчетный срок окупаемости $T_{ок}$ установки роторного регенератора по сравнению со схемой с промежуточным теплоносителем составляет примерно 6 лет, что существенно меньше, чем $T_{ам} = 15$ лет. Поэтому к дальнейшей разработке принимаем 1-й вариант – с применением роторных регенераторов.

Уточняем $T_{ок}$ по формуле:

$$T_0 = \frac{554861 - 281699}{196454 - 131979} = \frac{273162}{64475} = 4,24 \text{ г.};$$

$$T_{ок} = \frac{-\ln\left(1 - \frac{10 \cdot 4,24}{100}\right)}{\ln\left(1 + \frac{10}{100}\right)} = 5,79 \text{ г.}$$

Для этого же здания можно рассмотреть технико-экономическое обоснование всего комплекса энергосберегающих мероприятий (второй вариант в таблице 1.4). В данном случае удобно рассматривать только дополнительные затраты по сравнению с другим вариантом, поэтому получается, что $K_1 = 0$ и $\mathcal{E}_2 = 0$. Тогда получаем (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.):

$Q_{\text{co2}} = Q_{1.(\text{Вар.2})} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н5}}) \cdot 10^3 / M = 273,9 \cdot (18+28) \cdot 10^3 / 118,6 = 110850 \text{ Вт}$ – мощность системы отопления по Вар.2;

$N_{\text{ТК}} = Q_{\text{co2}} / 1000 = 110850 / 1000 = 111 \text{ шт}$ – количество термодатчиков, исходя из средней мощности отопительного прибора 1000 Вт;

$K_{\text{co1}} = C_{\text{ТК}} \cdot N_{\text{ТК}} = 111 \cdot 430 = 47730 \text{ руб}$ – затраты на термодатчики (исходя из стоимости одного термодатчика 430 руб.);

$K_{\text{ТУ}} = 281699 \text{ руб}$ (см. выше) – затраты на теплоутилизационное оборудование;

$K_{\text{ок}} = \Delta C_{\text{ок}} \cdot A_{\text{ок}} = 400 \cdot 464 = 185600 \text{ руб}$ – затраты на замену остекления, где $\Delta C_{\text{ок}} = 400 \text{ руб/м}^2$ – разность стоимости 1 м² остекления для сравниваемых вариантов (принимается минимальное значение по среднерыночным ценам 2010 года);

$V_{\text{ти}} = \Sigma(A_i \cdot \Delta R_i) \cdot \lambda_{\text{ти}} / r = (1,85 \cdot 1014 + 2,04 \cdot 1397 + 1,87 \cdot 1397) \cdot 0,045 / 0,8 = 413 \text{ м}^3$ – объем утеплителя. Здесь в качестве теплоизоляционного материала принимаем плиты минераловатные производства ЗАО «Минеральная вата» с плотностью 125 кг/м³ и стоимостью $C_{\text{ти}} = 1800 \text{ руб./м}^3$ (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015. – 134 с., таблица 1) и теплопроводностью $\lambda_{\text{ти}} = 0,045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ для условий эксплуатации «Б» по прил.Т СП 50. Величину коэффициента теплотехнической однородности r принимаем средней для всех нестепрозрачных ограждений и равной 0,8. Параметр ΔR_i представляет собой разность сопротивлений теплопередаче i -й нестепрозрачной ограждающей конструкции для сравниваемых вариантов (см. таблицу 1.4).

$K_{\text{ти}} = C_{\text{ти}} \cdot V_{\text{ти}} + C_{\text{р}} \cdot \Sigma A_i = 1800 \cdot 413 + 180 \cdot (4272 - 464) = 743400 + 685440 = 1428840 \text{ руб.}$ – затраты на теплоизоляцию, но в данном случае, поскольку в Вар.1 теплоизоляция эффективным утеплителем вообще не предусмотрена,

необходимо к стоимости материала добавить еще стоимость работ по утеплению. Величина ΣA_i в данном случае показывает суммарную площадь нестенопрозрачных ограждений, подвергающихся утеплению в Вар.2, $C_p = 180$ руб/м² – стоимость работ по утеплению 1 м² конструкции.

$K_2 = \Sigma K_i = 1943869$ руб. – суммарные дополнительные капитальные затраты по Вар.2.

$\mathcal{E}_{1.т} = (q_1 - q_2) \cdot A_{от} \cdot 10^{-3} \cdot 0,86 \cdot C_T = (378,9 - 130,4) \cdot 2794 \cdot 10^{-3} \cdot 0,86 \cdot 1290,81 = 770750$ руб./год – тепловая энергия;

$\mathcal{E}_{1.ам} = -1,5 \cdot K_2 / T_{ам} = -1,5 \cdot 1943869 / 45 = -64796$ руб./г. – амортизационные отчисления. Величину $T_{ам}$ принимаем равной 45 годам, как для здания в целом. Знак минус говорит о том, что данная составляющая затрат в Вар.1 меньше.

Разностью затрат на электроэнергию и на зарплату персонала между сравниваемыми вариантами в данном примере можно пренебречь, поэтому величина \mathcal{E}_1 складывается только из разницы в расходе электроэнергии и амортизационных отчислений:

$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{1.т} + \mathcal{E}_{1.ам} = 770750 - 64796 = 705954$ руб./г.

Легко видеть, что $\mathcal{E}_{1.ам}$ составляет всего примерно 8% от \mathcal{E}_1 , поэтому при ориентировочных вычислениях эту величину тоже можно не учитывать.

Вычисляем совокупные дисконтированные затраты при $p = 10\%$ и строим графики их зависимости от времени T по вариантам (рис.1.17).

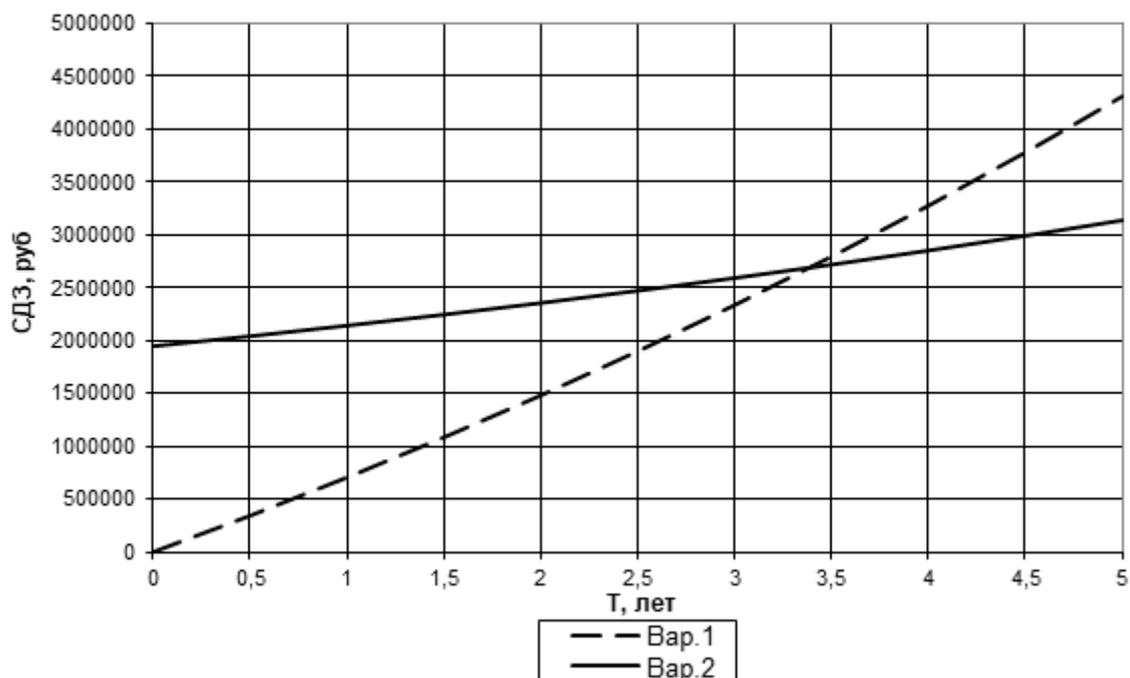


Рис. 1.17. Зависимость СДЗ от T по вариантам для рассмотренного примера

Из графика видно, что расчетный срок окупаемости $T_{ок}$ составляет примерно 3,4 года.

Уточняем $T_{ок}$ по формуле:

$$T_0 = \frac{1943869-0}{705954-0} = 2,75г.; T_{ок} = \frac{-\ln(1-10 \cdot 2,75/100)}{\ln(1+10/100)} = 3,38г.$$

Рассматриваемый комплекс мероприятий является весьма быстроокупаемым. Следует, однако, заметить, что сроки окупаемости каждого отдельно взятого мероприятия могут существенно отличаться от приведенных цифр как в меньшую, так и в большую сторону. Можно показать, что наименее затратным является устройство утилизации теплоты в системах вентиляции и автоматизация системы отопления.

Срок окупаемости будет зависеть и от конструктивных характеристик здания. На рис.1.18 представлена корреляционная зависимость дисконтированного срока окупаемости рассматриваемого комплекса

энергосберегающих мероприятий $T_{ок}$ от коэффициента компактности $K_{комп}$ по результатам расчетов (см. О.Д. Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.) с использованием приведенной в данном примере методики для 23 общественных зданий различного назначения, размеров и площади. Видно, что с ростом $K_{комп}$ окупаемость постепенно замедляется. Это можно объяснить, если учесть, что по определению коэффициент компактности является отношением суммарной поверхности наружных ограждений здания к его отапливаемому объему (см. далее таблицу 1.13). В то же время объем теплоизоляции, а, значит, и затраты на повышение теплозащиты, т.е., как уже было отмечено, на наиболее дорогостоящее инженерное решение, при прочих равных условиях пропорциональны именно площади нестепрозрачных ограждающих конструкций. При сравнительно мало меняющемся коэффициенте остекления эта площадь достаточно близка к общей поверхности наружных ограждений и аналогично ей ведет себя при изменении конструктивных параметров здания.

Для рассматриваемой совокупности объектов имеет место некоторая отрицательная корреляция между $K_{комп}$ и коэффициентом остекления k_o , т.е. у зданий с относительно более высоким остеклением коэффициент компактности оказывается в среднем более низким. Дело в том, что площадь остекления, выбираемая по необходимому значению коэффициента естественной освещенности (КЕО), в целом пропорциональна отапливаемой площади и, следовательно, при одной и той же высоте этажа – отапливаемому объему. Поэтому возрастание отношения площади наружных ограждений к этому объему ведет к снижению относительной площади светопроемов, т.е. к снижению k_o .

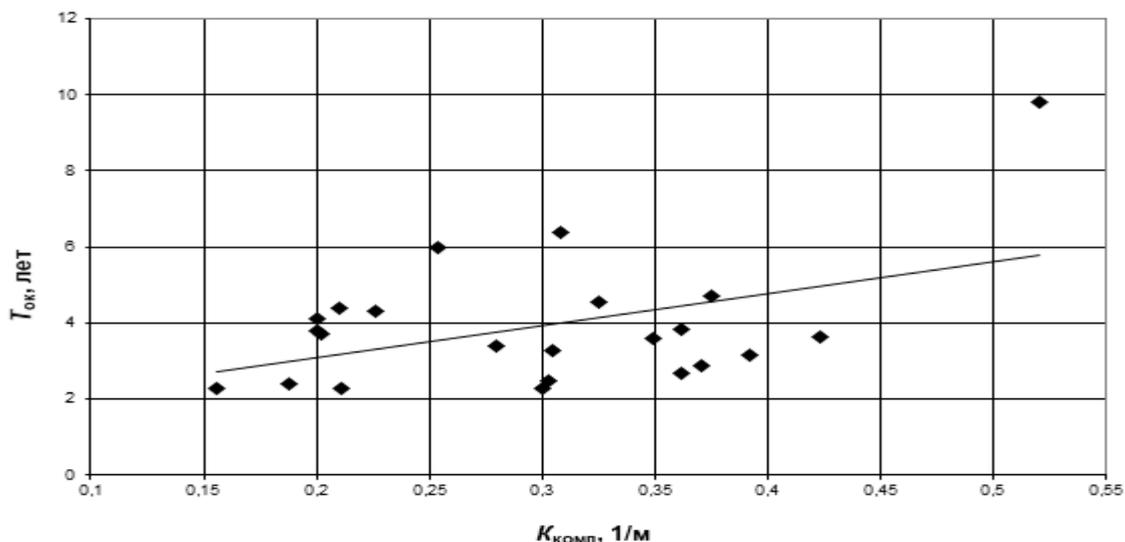


Рис.1.18. Корреляционная зависимость между коэффициентом компактности $K_{\text{комп}}$ и величиной $T_{\text{ок}}$ энергосберегающих мероприятий для группы общественных зданий

Поэтому с ростом $K_{\text{комп}}$ относительная площадь нестепрозрачных ограждений для совокупности рассматриваемых зданий повышается даже быстрее, чем суммарная, поскольку коэффициент остекления k_0 при этом в среднем уменьшается. В то же время затраты на другие мероприятия (теплоутилизация, установка терморегуляторов, замена смесителей для ГВС и т.д.) связаны в основном с объемом здания. Следовательно, при увеличении $K_{\text{комп}}$ возрастает относительная доля теплоизоляции в общих расходах на энергосбережение, что и приводит к замедлению окупаемости всего комплекса мероприятий.

На рис.1.19 (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.) показана связь срока окупаемости с коэффициентом остекления для той же группы зданий. Легко видеть, что с увеличением k_0 окупаемость несколько ускоряется.

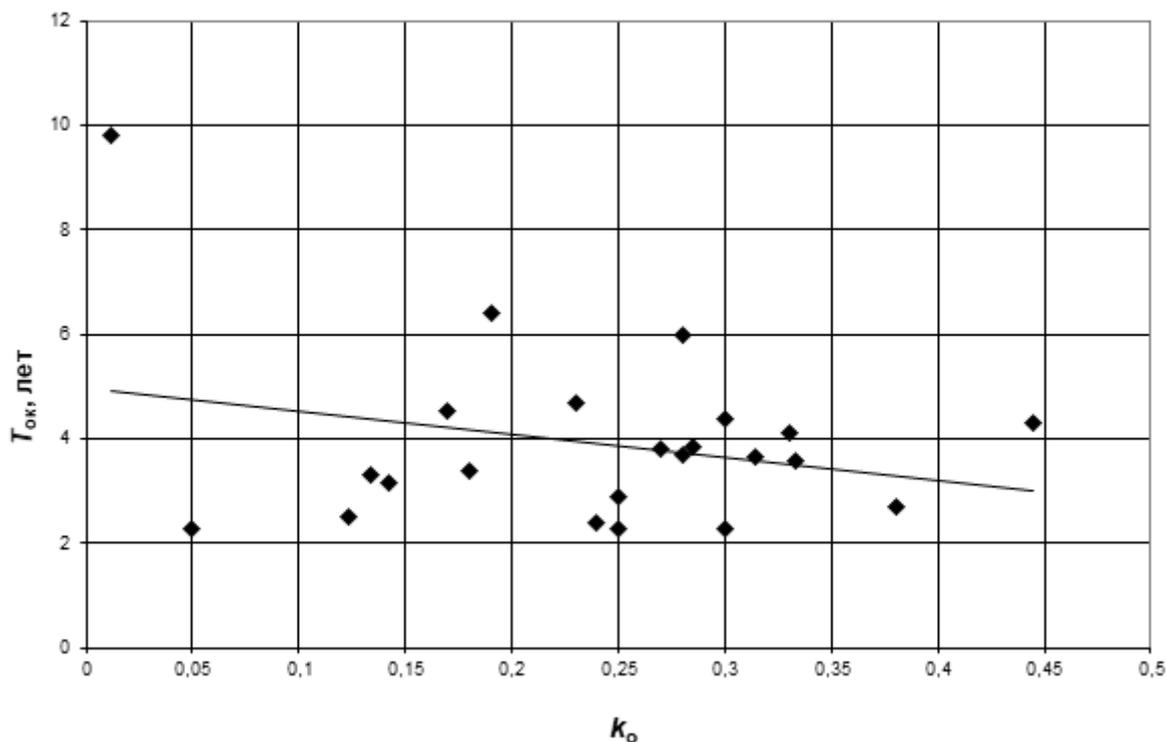


Рис. 1.19. Корреляционная зависимость между коэффициентом остекления k_o и величиной $T_{ок}$ энергосберегающих мероприятий для группы общественных зданий

Однако можно показать (см. О.Д. Самарин. Теплофизика. Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.), что энергопотребление здания в условиях применения рассматриваемого комплекса энергосберегающих мероприятий от k_o практически не зависит. Это связано с компенсацией дополнительных теплотерь через увеличивающуюся площадь остекления дополнительными теплопоступлениями от солнечной радиации, которые в данном случае могут быть полезно использованы путем соответствующего снижения теплоотдачи от системы отопления с помощью автоматических терморегуляторов. Следовательно, корреляция $T_{ок}$ и k_o имеет косвенный характер и наблюдается именно в силу уменьшения коэффициента компактности с ростом k_o и всеми вытекающими из этого последствиями, рассмотренными выше.

Необходимо только иметь в виду, что до сих пор мы рассматривали расчеты энергетических и технико-экономических показателей исследуемых объектов, исходя из детерминированных значений наружных метеорологических параметров. Однако на самом деле при рассмотрении вопроса о прогнозе энергопотребления здания и оценке сроков окупаемости комплекса энергосберегающих мероприятий необходимо иметь в виду следующее (см. О.Д. Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.). Расчетные климатические условия, на основании которых осуществляется выбор теплозащиты светопрозрачных и нестепрозрачных ограждений, практически фиксированы, поскольку пересмотр соответствующих нормативных документов осуществляется раз в несколько лет (см. раздел 1.1). Поэтому объем теплоизоляционного материала в конструкциях, увеличение стоимости заполнений светопроемов и соответственно дополнительные капитальные затраты на осуществление мероприятий по утеплению также оказываются заданными. Расчетный воздухообмен в здании вообще мало зависит от климатических параметров в районе строительства, а определяется в основном функциональным назначением помещений, их строительным объемом и характером тепло- и влагопоступлений. Следовательно, расходы на устройство утилизации теплоты в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, пропорциональные воздухообмену, тоже являются заранее определенными.

В то же время фактическое потребление теплоты системами обеспечения микроклимата в течение отопительного периода, а, следовательно, и основная составляющая годовых эксплуатационных издержек, связанная с величиной такого потребления, зависят непосредственно от текущих погодных условий. Таким образом, в условиях постепенного изменения климата, которое стало особенно заметным в последние 20 лет (см. О.Д. Самарин. Теплофизика.

Энергосбережение. Энергоэффективность. – М.: Изд-во АСВ. – 2014. – 296 с.), прогнозирование окупаемости энергосберегающих мероприятий на достаточно длительную перспективу становится весьма затруднительным. Дело здесь главным образом в том, что фактическая наружная температура и продолжительность ее стояния все более отклоняются от нормативных значений, рассчитанных по данным метеорологических наблюдений за предыдущие периоды. Причем это отклонение носит систематический характер в сторону сокращения продолжительности отопительного периода и повышения его средней температуры.

Поэтому, как показывают расчеты (см. О.Д. Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.), фактический срок окупаемости всех энергосберегающих мероприятий будет на самом деле несколько (а в ряде случаев даже заметно) выше, чем это получается при расчете по рассмотренной выше методике с фиксированными значениями климатических параметров, поскольку действительная экономия по наиболее значительной составляющей затрат – затратам на тепловую энергию – окажется меньше.

В этих условиях особое значение приобретает технико-экономическое обоснование принимаемых решений с учетом среднесрочных и долгосрочных прогнозов изменения климатических и стоимостных факторов. Помимо этого, представляется целесообразной более оперативная корректировка нормативных и справочных документов типа СП 131.13330.2012 с использованием рядов метеорологических наблюдений за последние годы. В этом случае рассмотренная проблема, вызванная рассогласованием расчетных и фактических параметров наружного климата, будет в значительной мере ликвидирована, что приведет к значительной экономии материальных и энергетических ресурсов, как при строительстве, так и при эксплуатации зданий. В определенной степени данная задача была решена введением в 2013 и

2018 году в действие новых редакций СП 131.13330.2012, где для наиболее крупных населенных пунктов климатические параметры были скорректированы.

Дальнейшее развитие рассматриваемой методики приводит к понятию *технико-экономической оптимизации*. Основная идея технико-экономической оптимизации какого-либо инженерного решения и, в частности, энергосберегающих мероприятий при использовании метода СДЗ заключается в нахождении значения некоторого параметра, характеризующего степень реализации данного мероприятия, при котором величина СДЗ принимает минимальное значение для заданного расчетного срока T СП 50.

В качестве параметра может быть, например, сопротивление теплопередаче ограждения, диаметр трубопровода или воздухопровода, скорость теплоносителя, габариты вентиляционной установки, температурная эффективность теплоутилизатора и т.д. Оптимизация возможна, если при одном и том же изменении параметра капитальные затраты K увеличиваются, а эксплуатационные \mathcal{E} – уменьшаются или наоборот, т.е. меняются в разных направлениях. Например, при повышении теплозащиты ограждающих конструкций, с одной стороны, снижаются расходы на тепловую энергию (в данном случае $\mathcal{E}_{\text{от}}$) за счет уменьшения трансмиссионных теплопотерь, а с другой – возрастают затраты на теплоизоляционный материал ($K_{\text{ти}}$). Аналогично при уменьшении диаметров трубопроводов или воздухопроводов сокращается их стоимость ($K_{\text{тр}}$) из-за уменьшения массы металла, но увеличиваются затраты на электроэнергию ($\mathcal{E}_{\text{эл}}$) для привода насосов или вентиляторов вследствие возрастания потерь давления при движении теплоносителя. Таким образом, технико-экономическая оптимизация представляет собой обобщение рассмотренных ранее примеров, когда сравнивались только два варианта, для которых выполняется соотношение $K_1 > K_2$, но $\mathcal{E}_1 < \mathcal{E}_2$, потому что теперь речь идет о бесконечном множестве

непрерывно переходящих друг в друга сочетаний параметров, среди которых и нужно выбрать наилучший в смысле минимальной величины СДЗ.

Если при оптимизации изменяется только один параметр, а все остальные предполагаются постоянными, такая оптимизация называется однофакторной. В этом случае получаются наиболее простые и наглядные решения, позволяющие четко выявить влияние основного исследуемого фактора на результат, отвлекаясь от второстепенных воздействий. При этом, однако, приходится делать ряд допущений – например, учитывается связь изменения K и только основной составляющей \mathcal{E} , как правило, это расходы на тепловую или электрическую энергию, а сопутствующим увеличением или уменьшением амортизационных отчислений, расходов на обслуживающий персонал и т.п. пренебрегают. Однако, как показывают результаты расчетов в предыдущих примерах, обычно относительная доля этих статей затрат невелика, так что значительной погрешности такие допущения не вносят. Если варьируются сразу несколько разных параметров, такая оптимизация будет многофакторной, но она значительно сложнее и здесь не рассматривается.

Чтобы найти оптимальное значение интересующего нас параметра, необходимо выразить через него величину СДЗ, т.е., в конечном счете, найти функциональную связь ее основных составляющих – K и \mathcal{E} – с этим параметром, и найти минимум этой функции. Если функция непрерывна, для этого достаточно найти производную СДЗ по параметру и приравнять ее нулю:

$$\frac{d(\text{СДЗ})}{dx} = 0. \text{ Заметим при этом, что в выражение для СДЗ (1.24) входят}$$

значения расчетного срока T и нормы дисконта p , поэтому при их изменении результаты расчетов также будут другими. Подробнее это обстоятельство будет рассмотрено в дальнейшем, при анализе различных примеров оптимизации.

Получаемое в результате решения оптимизационной задачи наилучшее значение не всегда может быть точно реализовано в конкретном проекте.

Например, вычисленный диаметр трубопровода или воздуховода либо толщина утеплителя могут не совпадать со стандартными. Кроме того, возможны конструктивные ограничения, когда применение оптимального результата технически невозможно или крайне затруднительно – скажем, при отсутствии достаточного места для прокладки трубопроводов или воздухопроводов необходимого размера. Наконец, в отдельных случаях результат технико-экономической оптимизации может не удовлетворять даже минимальным требованиям безопасности, устанавливаемым техническими регламентами. Тогда приходится принимать значение параметра, которое хотя и является по возможности ближайшим к оптимальному, но лежит в пределах, допускаемых другими ограничениями, накладываемыми на данный параметр.

Пример оформления теплотехнического и технико-экономического расчета вариантов конструкции наружных ограждений

Геометрические параметры здания и результаты расчетов основных теплотехнических показателей сводятся в таблицу по следующей форме.

Таблица 1.13.

Теплотехнические показатели здания (вариант 1)

Ограждение	$A_i,$ м ²	$R_i,$ м ² ·К/Вт	n_i	$A_i n_i / R_i,$ Вт/К	$K_{\text{комп}} =$ $= \frac{A_{\text{н}}^{\text{сум}}}{V_{\text{от}}},$ м ⁻¹	$K_{\text{общ}} =$ $\frac{\sum n_i A_i / R_i}{A_{\text{н}}^{\text{сум}}},$ Вт/(м ² ·К)	$k_{\text{об}} =$ $= K_{\text{комп}} K_{\text{общ}},$ Вт/(м ³ ·К)
Наружная стена							
Бесчердачное							

покрытие							
Пол над подвалом							
Окна							
Сумма	$A_H^{сум}$ =	–	–	$\Sigma n_i A_i / R_i =$			

Если сравниваются два варианта устройства ограждений, аналогичная таблица составляется и для второго варианта. Затем определяется удельная теплозащитная характеристика и проверяется ее соответствие требуемому значению по формуле (1.2). После этого для наружной стены рассчитывается толщина утеплителя и коэффициент теплотехнической однородности r с учетом точечных и линейных теплотехнических неоднородностей в ее конструкции. Принимая требуемое приведенное сопротивление теплопередаче $R_o^{пр}$ по таблице 1.13 (если сравниваются разные варианты конструкции стены – для каждого варианта), а количество неоднородностей по строительным чертежам здания, расчет в целом оформляем в виде таблицы 1.14:

Таблица 1.14.

Сводная таблица тепловых потоков через теплопроводные включения и узлы

Вид неоднородности	Ед. изм.	Суммарная протяженность линейных элементов, м	Удельная длина l_j , м/м ² , или количество точечных элементов в n_k , шт/м ²	Значение величины дополнительно теплового потока ψ_j , Вт/(м·К), или χ_k , Вт/К, по СП 230.1325800.20	Дополнительные потери теплоты через узлы (произведение значений, указанных в кол. 4 и 5), Вт/(м ² ·К)
1	2	3	4	5	6
Тарельчатые дюбели	шт				
Оконные откосы	м				
Углы вогнутые	м				
Углы выпуклые	м				
Примыкание к фундаменту	м				
Примыкание к кровле	м				
1	Суммарные дополнительные удельные теплотери через теплотехнические неоднородности $\Delta K = \sum \psi_j l_j + \sum \chi_k n_k$,				

Вт/(м ² ·К) – итого по кол.6			
Теплотехнические показатели стены		Вар.1	Вар.2
2	Коэффициент теплопередачи K , Вт/(м ² ·К), соответствующий требуемому приведенному сопротивлению теплопередаче R_o^{np} : $K = \frac{1}{R_o^{np}}$		
3	$U_{тр} = K - \Delta K$		
4	$R_{ут}$, м ² ·К/Вт – по формуле (1.45)		
5	Требуемая толщина слоя утеплителя $\delta_{ут}$, м, где $\lambda_{ут}$ – теплопроводность материала утеплителя, Вт/(м·К): $\delta_{ут} = R_{ут}\lambda_{ут}$		
6	Коэффициент теплотехнической однородности (для оценки эффективности использования утеплителя) $r = U_{тр}/K$		

При этом требуемое сопротивление теплопередаче слоя утеплителя можно вычислить по выражению:

$$R_{ут} = \frac{1}{U_{тр}} - \left(\frac{1}{\alpha_{в}} + \sum R_{к.і} + \frac{1}{\alpha_{н}} \right) \quad (1.45)$$

Здесь $\alpha_{в}$ и $\alpha_{н}$ – соответственно коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/(м²·К). Для наружной стены по СП 50.13330.2012 можно принимать $\alpha_{в} = 8,7$ Вт/(м²·К); $\alpha_{н} = 23$ Вт/(м²·К). Величина $\sum R_{к.і}$ – это суммарное термическое сопротивление всех

слоев однородной части фрагмента конструкции, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, кроме теплоизоляционного. При этом для каждого слоя $R_i = \delta_i / \lambda_i$, где δ_i , м, и λ_i , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – соответственно толщина и теплопроводность материала i -го слоя.

С использованием полученного значения r для наружной стены заполняем таблицы по форме 1.15 для технико-экономического сравнения вариантов:

Таблица 1.15.

Технико-экономические показатели здания (вар. 1)

Ограждение	A_i , м^2	R_i , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	r_i	n_i	$V_{\text{ти},i}$, м^3 *	$n_i A_i / R_i$, $\text{Вт}/\text{К}$	
Наружная стена							
Бесчердачное покрытие							
Пол над техподпольем							
Окна							
*) $V_{\text{ти},i} = 0.8 \lambda_{\text{ут}} R_i A_i / r_i$ – объем теплоизоляции. Для наружных стен более точно $V_{\text{ти}} = \delta_{\text{ти}} A_{\text{нс}}$, где $\delta_{\text{ти}}$ принимается по таблице 1.14. 0,8 – средняя доля термического сопротивления слоя утеплителя в общей величине R_i ; **) $\Sigma Q_{\text{от}} = \beta_1 \beta_2 (\Sigma n_i A_i / R_i) (t_{\text{в.от}} - t_{\text{н5}})$ – суммарная мощность системы отопления здания, Вт.					$\Sigma V_{\text{ти}} =$	$\Sigma n_i A_i / R_i =$	
						$^{**} \Sigma Q_{\text{от}} =$	
					$K_{\text{ти}} =$	$\mathcal{E}_{\text{т.от}} =$	
		$\mathcal{E}_{\text{ам}} =$	$\mathcal{E} =$				

При этом для бесчердачного покрытия и перекрытия над техподпольем можно принимать $r = 0,9 - 0,95$. В то же время, если предусматриваются различные варианты конструкции наружной стены, по результатам заполнения таблицы 1.13 значения r в общем случае будут различными для каждого варианта. Обычно r уменьшается с ростом $R_o^{пр}$. После заполнения таблиц по форме 1.14 вычисляются СДЗ, строятся графики их зависимости от T и определяется срок окупаемости, как было описано в начале п.1.5.

Таким образом, в настоящее время существует достаточно широкий набор энергосберегающих мероприятий и технологий, как уже сложившихся и хорошо разработанных, так и относительно новых (см. О.Д.Самарин. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ. – 2015.– 134 с.). Исследования характеристик и эффективности энергосберегающего оборудования и конструкций и определение области их целесообразного применения составляют значительную область современных исследований в области строительной теплофизики и смежных отраслей науки. К сожалению, практическая реализация ряда таких мероприятий в современных условиях России ограничена, а фактически используемые относятся к довольно узкой группе. Поэтому технико-экономическое обоснование необходимости использования решений по снижению энергопотребления и, в особенности, комплексного подхода к энергосбережению является одной из основных задач, возникающих в работе специалиста по созданию систем обеспечения микроклимата зданий и будет подробно рассмотрено в дальнейшем.

Предлагаемые инженерные решения должны выполнять поставленные перед ними задачи без ущерба для безопасности людей и снижения уровня комфорта их среды обитания. Такая постановка вопроса особенно актуальна в настоящее время, в условиях действия ЗТР. Иначе говоря, при выборе способов экономии энергетических и других ресурсов сравниваемые в процессе технико-экономического обоснования проекта варианты должны обеспечивать

одинаковый уровень безопасности и комфорта, и только тогда эти варианты будут сопоставимыми.

Следовательно, основное направление энергоресурсосбережения действительно лежит на пути применения соответствующих технологий, которые позволяли бы получать снижение потребления материальных и энергетических ресурсов «автоматически», без непосредственного участия потребителя. Повышенный уровень комфорта достигается благодаря использованию усовершенствованных инженерных решений при более низком уровне эксплуатационных затрат, а у потребителя не будет ощущения, что он сознательно чем-то жертвует ради их уменьшения. Тогда можно получить безоговорочную заинтересованность в энергоресурсосбережении и избавиться от психологического барьера, который часто возникает при внедрении нового из-за необходимости менять при этом те или иные привычки и существующий уклад жизни.

ГЛАВА 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОТОПЛЕНИЕ

2.1. Общие сведения

При электрическом отоплении получение теплоты связано с преобразованием электрической энергии. По способу получения теплоты электрическое отопление может быть с прямым преобразованием электрической энергии в тепловую и с трансформацией электричества в теплоту в тепловых насосах.

Системы электрического отопления подразделяются на местные, когда электроэнергия преобразуется в тепловую в обогреваемых помещениях или в непосредственной близости от них, и центральные, например, с электродкотлами.

По степени использования электроэнергии для отопления различают системы с полным покрытием отопительной нагрузки и с частичным ее покрытием (комбинированное отопление — см. п.2.5) в качестве как фоновой (базисной), так и догревающей частей системы.

Системы электрического отопления могут работать по свободному и вынужденному (например, только ночью) графикам.

Достоинствами систем электрического отопления являются высокие гигиенические показатели, малый расход металла, простота монтажа при сравнительно небольших капитальных вложениях, транспортабельность, управляемость в широких пределах с автоматизацией регулирования. Возможность гибкого управления процессом получения теплоты позволяет создавать системы отопления, быстро реагирующие на изменение теплотребности помещений.

К недостаткам электрического отопления относят в первую очередь неэкономичное использование топлива, высокую температуру греющих элементов, повышенную пожарную опасность, хотя в последние годы у применяемых отопительных приборов и греющих кабелей значительно снижена опасность возгорания. Распространение электрического отопления в стране сдерживается также ограниченным уровнем выработки электроэнергии. Отпускная стоимость энергии высокая из-за значительных капитальных вложений в электростанции и линии передач, потерь при транспортировании.

Полное электроотопление зданий требует значительного расхода электроэнергии. Годовой расход электроэнергии для отопления 100 м² площади гражданского здания постройки до 90-х годов колеблется от 35 на юге страны до 125 ГДж на севере.

Для уменьшения расхода топлива целесообразно применять отопительные установки с использованием тепловых насосов. Так, коэффициент использования топлива при отпуске тепла потребителю у различных источников теплоснабжения меняется в следующих пределах: от ТЭЦ 68 – 75%, от котельных мощностью более 60 МВт 66 – 73 %, от котельных мощностью менее 60 МВт 58 – 70 %, от автономных котлов отечественных 65 – 75 %, от автономных котлов импортных 85 – 99 %, при электрическом отоплении с приборами прямого преобразования в теплоту 25 – 45 %, при электрическом отоплении с тепловыми насосами 65 – 75%. То есть тепловые насосы имеют приблизительно такой же коэффициент использования топлива как отопление от ТЭЦ или отечественных автономных котельных.

Целесообразность применения электрического отопления в конкретном случае определяют путем сравнения технико-экономических показателей различных вариантов отопления здания. При сравнении исходят из стоимости топлива или электроэнергии с учетом их транспортирования и потерь при этом, коэффициента использования топлива, стоимости сооружения и эксплуатации

систем отопления и теплоснабжения. Принимают также во внимание возможность регулирования теплоотдачи приборов и понижения температуры помещения в нерабочее время. Оценивают улучшение социально-гигиенических условий при применении электроотопления.

Высокая транспортабельность создает условия для использования электрической энергии в системах отопления зданий и сооружений в труднодоступных районах, не имеющих других источников теплоты, а отсутствие продуктов сгорания — в экологически чистых зонах. В современных условиях применение электрического отопления экономически целесообразно в районах расположения крупных гидростанций, а также при отсутствии местного топлива (отдаленные районы Восточной Сибири, Крайнего Севера). Используется электроэнергия для отопления рассредоточенных потребителей сельских районов страны.

В современных условиях сниженного потребления электроэнергии промышленностью электроотопление довольно часто применяется в городских зданиях для дополнительного отопления в межсезонье, и при отсутствии газовых сетей в загородных коттеджах в качестве единственного источника теплоты.

Большое распространение получили электрические воздушно-тепловые завесы в общественных зданиях.

2.2. Электрические отопительные приборы

Электрические приборы с прямым преобразованием электрической энергии в тепловую, как и обычные отопительные приборы, подразделяют по преобладающему способу теплоотдачи на радиационные, конвективные и

радиационно-конвективные. При температуре греющей поверхности ниже 70 °С их относят к низкотемпературным, выше 100 °С — к высокотемпературным.

Электроотопительные приборы могут быть стационарными и переносными (напольными), настольными, настенными, потолочными); безынерционными и с аккумуляцией теплоты; нерегулируемыми и со ступенчатым, бесступенчатым и автоматическим регулированием. В зависимости от конструкции электрические отопительные приборы называют электроконвекторами, электрокалориферами, электротепловентиляторами. Выпускают также электрические печи, электрические воздушно-тепловые завесы, подвесные панели, греющие обои, панели с греющим кабелем.

Панели электрического отопления с греющим кабелем делают совмещенными со строительными конструкциями и приставными к ним.

Резистивные кабели имеют линейную мощность от 15 до 25 Вт/м. Рекомендуется устройство шага раскладки кабеля с таким расчетом, чтобы поверхностная мощность системы не превышала 150 Вт/м² у малоинерционных панелей и 200 Вт/м² у аккумулирующих теплоту. Шаг раскладки кабеля должен лежать в пределах 10 – 20 см. При этом, как правило, допускается минимальный радиус изгиба кабеля 150 мм. Нагревательные секции при изменении длины от 5 до 125 м увеличивают свою мощность приблизительно от 100 до 2500 Вт. Появились секции греющего кабеля, закрепленные на пластиковой сетке. Плоскостные секции на сетке выполняются различной длины, шириной 0,5 м.

Сейчас наибольшее распространение получили напольные системы электроотопления, при которых кабель или провод закладывается в междуэтажное перекрытие.

На рис. 2.1 показаны варианты заложения греющих кабелей в междуэтажные перекрытия.

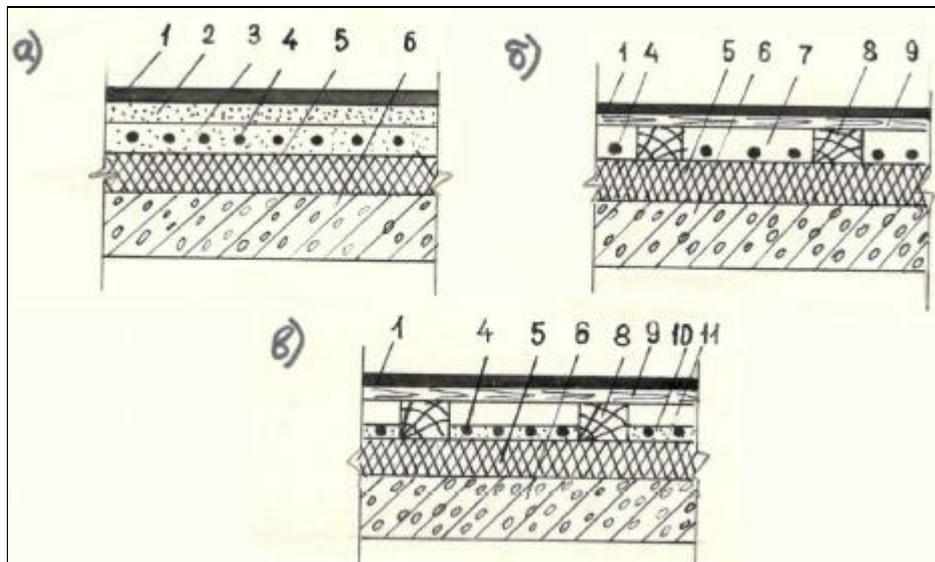


Рисунок 2.1 – Греющий кабель в перекрытиях зданий: а – замоноличенный; б – в воздушной прослойке; в – замоноличенный под воздушной прослойкой; 1 – покрытие пола; 2 – стяжка толщиной 20 – 30 мм; 3 – монолитный слой толщиной 40 – 50 мм; 4 – греющий кабель; 5 – звуко-теплоизоляция; 6 – несущая железобетонная плита; 7 – воздушная прослойка толщиной 40 – 50 мм; 8 – лага 50x50 мм; 9 – настил пола; 10 – замоноличивающий слой 20 мм; 11 – воздушная прослойка толщиной 30 мм

В зданиях с бетонными перекрытиями применяют замоноличивание греющего кабеля в конструкцию пола (рис. 2.1, а). Термическое сопротивление слоев, расположенных между кабелем и покрытием пола, принимают в пределах $0,045—0,2^{\circ}\text{C}\cdot\text{м}^2/\text{Вт}$.

В зданиях с полами на лагах греющий кабель располагают в воздушной прослойке (рис. 2.1, б) для выравнивания температуры поверхности пола при этом менее вероятно местное перегревание кабеля. Его укладывают на металлическую сетку, таким образом, чтобы он не касался утеплителя, так как в противном случае может произойти перегрев кабеля или изоляции.

Для интенсификации конвективного теплообмена в воздушной прослойке в углах помещения оставляют вентиляционные отверстия, перекрытые решетками. Недостатком конструкции является перерасход кабеля из-за уменьшения его теплоотдачи.

В зданиях с полами на лагах применяют также замоноличивание кабеля и устройство воздушной прослойки над замоноличивающим слоем (рис. 2.1, в). Такая конструкция совмещает в себе преимущества первых двух: увеличенную теплоотдачу и предотвращение местного перегревания кабеля.

Регулирование теплоотдачи панели электрического отопления выполняют двухпозиционно.

Для отопления производственных помещений большого объема применяют подвесные электропанели. Тепловую мощность подвесных панелей рассчитывают по балансам теплоты в верхней (над панелью) и нижней (под панелью) частях помещения. При этом считают, что теплотери верхней зоны компенсируются теплоотдачей панели вверх, а теплотери нижней зоны — теплоотдачей вниз. На рис. 2.2 дана схема конструкции подвесной панели. При изолированном кабеле плотность теплового потока в них составляет около 460 Вт/м^2 (теплоотдача вниз 85%), при неизолированном кабеле — около 840 Вт/м^2 (теплоотдача вниз около 88%).

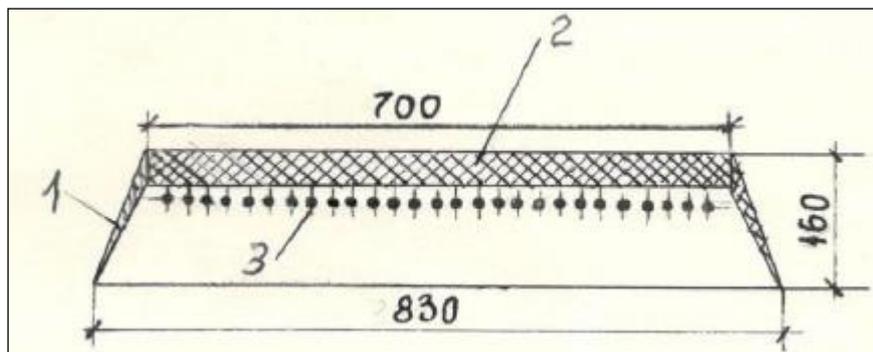


Рисунок 2.2 – Подвесная панель с греющим кабелем: 1 – стальной кожух; 2 – теплоизоляция; 3 – нагреватель в виде изолированного кабеля

Для отопления отдельных производственных и технических помещений используют электронагревательные печи ПЭТ (рис. 2.3). В печи под перфорированным кожухом помещены на фарфоровых колодках трубчатые электронагревательные элементы (ТЭН) мощностью 0,5—1 кВт. Температура поверхности ТЭН на 130—150 °С выше температуры окружающего воздуха. При монтаже печи, как в горизонтальном, так и вертикальном положении (с электропитанием снизу) к болту заземления присоединяют заземляющий провод.

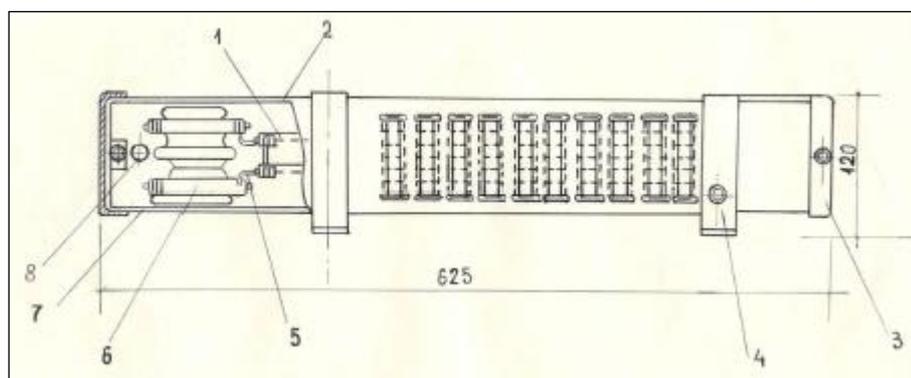


Рисунок 2.3 – Электроотопительная печь (боковой вид): 1 – трубчатые электронагреватели; 2 – стальной кожух; 3 – крышки; 4 – контакт заземления; 5 – перемычки; 6 – токоведущие шпильки; 7 – дно; 8 – отверстие для ввода электропитания

В основе расчетов тепловой мощности Q , Вт, отопительных приборов с прямым преобразованием электрической энергии в тепловую лежит закон Джоуля — Ленца, применительно к переменному току имеющий следующее выражение:

$$Q = I^2 r = UIk = U^2 k^2 / r \quad (2.1)$$

где I — сила тока, проходящего по проводнику. А; r — активное сопротивление проводника, Ом; U — напряжение, подаваемое на проводник, В; k — коэффициент мощности проводника (при частоте тока 50 Гц k изменяется от 0,96 до 0,98 и его приравнивают к единице, но вводят некоторый запас мощности).

В расчетах количества теплоты, выделяемой греющим кабелем, учитывают зависимость активного сопротивления проводника от его температуры. Для металлических (из стали, алюминия, меди) токопроводящих жил греющих кабелей сопротивление r_t , Ом, при температуре до 100 °С составляет:

$$r_t = \frac{\rho_0 l_k}{f} (1 + \alpha_0 t_{\text{гр}}) \quad (2.2)$$

где ρ_0 — удельное электрическое сопротивление провода или кабеля, Ом · м, при температуре 0 °С; l_k — длина греющего элемента, м; f — площадь поперечного сечения провода или кабеля, м²; $t_{\text{гр}}$ — температура греющего элемента, °С; α_0 — температурный коэффициент сопротивления при 0°С, 1/°С.

Расчет теплоотдачи панели при шаге раскладки кабелей 0,04—0,2 м выполняют в предположении равномерности температурного поля на поверхности. При этом для панели площадью $A_{\text{пан}}$, м², с шагом раскладки кабеля s , м, длину греющего l_k , м, определяют по формуле:

$$l_k = A_{пан} / s \quad (2.3)$$

После подстановки (2.2) и (2.3) и (2.1) получим уравнение с двумя неизвестными s и $t_{пр}$. Поэтому в расчетах используют уравнение, в котором на основе экспериментальных данных температура на поверхности изоляции кабеля t_k связывается с шагом раскладки кабеля s и теплоотдачей 1 м² греющей панели q_k .

Теплоотдачу q_k , Вт/м², складывают из теплоотдачи лицевой $q_{лиц}$ и тыльной $q_{тыл}$ сторон:

$$q_k = q_{лиц} + q_{тыл} \quad (2.4)$$

При проектировании греющей панели электрического лучистого отопления может быть принят следующий порядок расчета.

1. Назначают площадь отопительной панели $A_{пан}$, м², и по заданной тепловой нагрузке определяют требуемую плотность теплового потока $q_{лиц}$, Вт/м², панели в сторону расчетного помещения.

2. Вычисляют температуру лицевой поверхности панели $t_{п.лиц}$ с проверкой допустимости ее как для панели водяного отопления и коэффициенты лучистого $\alpha_{л.лиц}$ и конвективного $\alpha_{к.лиц}$ теплообмена.

3. Находят требуемую среднюю температуру $t_{ср}$, °С, на оси заложения греющего провода или кабеля:

$$t_{ср} = t_{в.лиц} + R_{лиц} q_{лиц} \quad (2.5)$$

и плотность теплового потока $q_{\text{тыл}}$, Вт/м², с тыльной стороны панели:

$$q_{\text{тыл}} = (t_{\text{ср}} - t_{\text{в.тыл}}) / R_{\text{тыл}} \quad (2.6)$$

где $t_{\text{в.лиц}}$, $t_{\text{в.тыл}}$ — температура воздуха с лицевой и тыльной сторон панели, °С; $R_{\text{лиц}}$, $R_{\text{тыл}}$ — сопротивления теплопередаче от оси источников к воздуху с лицевой и тыльной сторон панели, °С·м²/Вт.

4. По вычисленному значению $q_{\text{тыл}}$ рассчитывают температуру поверхности панели с тыльной стороны $t_{\text{п.тыл}}$ и плотность теплового потока панели $q_{\text{к}}$, Вт/м².

5. Определяют шаг раскладки кабеля s и температуру на поверхности изоляции кабеля $t_{\text{к}}$, используя уравнение (2.1), а также некоторые эмпирические зависимости.

6. Если $t_{\text{к}}$ оказалась ниже предельно допустимой, а s — больше минимально возможного $[(10 \div 15)D_{\text{к}}]$, то по формуле (2.3) находят длину кабеля. В противном случае делают перерасчет.

2.3. Электрическое аккумуляционное отопление

Электротеплоаккумулирующие приборы потребляют электроэнергию только в периоды снижения других электрических нагрузок. Такие приборы, выравнивающие суточное потребление электроэнергии, повышают эффективность работы энергосистем. В настоящее время региональные энергетические

комиссии пытаются решить проблему выравнивания нагрузок на энергосистему введением дифференцированных по времени суток тарифов. Низкий тариф действует с 23.00 до 7.00 часов, а в остальное время – обычный. Разница в тарифах составляет от 2,5 до 8 раз в зависимости от группы потребителей и региона, в котором они находятся.

Общий суточный цикл работы электротеплоаккумулирующего прибора включает в себя период “зарядки” (обычно ночной), в течение которого нагревательные элементы подключены к электрической сети, и период “разрядки”, когда нагревательные элементы от сети отключены.

Наибольшее распространение получили теплоаккумулирующие печи. Для аккумуляции теплоты в печах имеется сердечник из теплоемкого, теплопроводного, взрывобезопасного дешевого материала без запаха (табл. 2.1). Эффективным материалом считается магнезит.

Таблица 2.1.

Технические показатели некоторых аккумуляционных материалов

Материал	Пределы рабочей температуры, °С	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·°С)	Накопленная теплота	
			кДж/кг	кДж/дм ³
Бетон	400 - 100	0,88	264	582
Шамот	600 - 100	0,92	461	921
Магнезит	600 – 70	1,13	603	1745
Чугун	500 -50	0,54	243	1748

В бытовых электротеплоаккумулирующих печах температура сердечника не превышает 600 °С. Для увеличения продолжительности разряда и ограничения температуры кожуха 100 °С применяют тепловую изоляцию сердечника.

Электротеплоаккумулирующие печи с твердым теплоаккумулирующим материалом подразделяют на три типа (рис. 2.4):

1) нерегулируемые (рис. 2.4, а) — наиболее простые и дешевые; при их применении возникают наибольшие колебания температуры помещения. Теплоту они отдают за счет излучения и конвекции примерно в равных долях;

2) аккумулирующие конвекторы (рис. 2.4, б); внутренний конвективный канал и регулирующий клапан позволяют поддерживать более ровную температуру помещения в течение суток;

3) динамические теплоаккумуляторы (рис. 2.4, в) — наиболее совершенные, со встроенным двухскоростным вентилятором и регулирующим клапаном. Основной способ теплоотдачи — вынужденная конвекция. Высокотемпературный воздух, прошедший через П-образный канал, смешивается с воздухом помещения, что обеспечивает допустимую (обычно 40—50 °С) температуру на выходе из решетки. Сигнал на включение и выключение вентилятора поступает от датчика температуры, устанавливаемого в помещении.

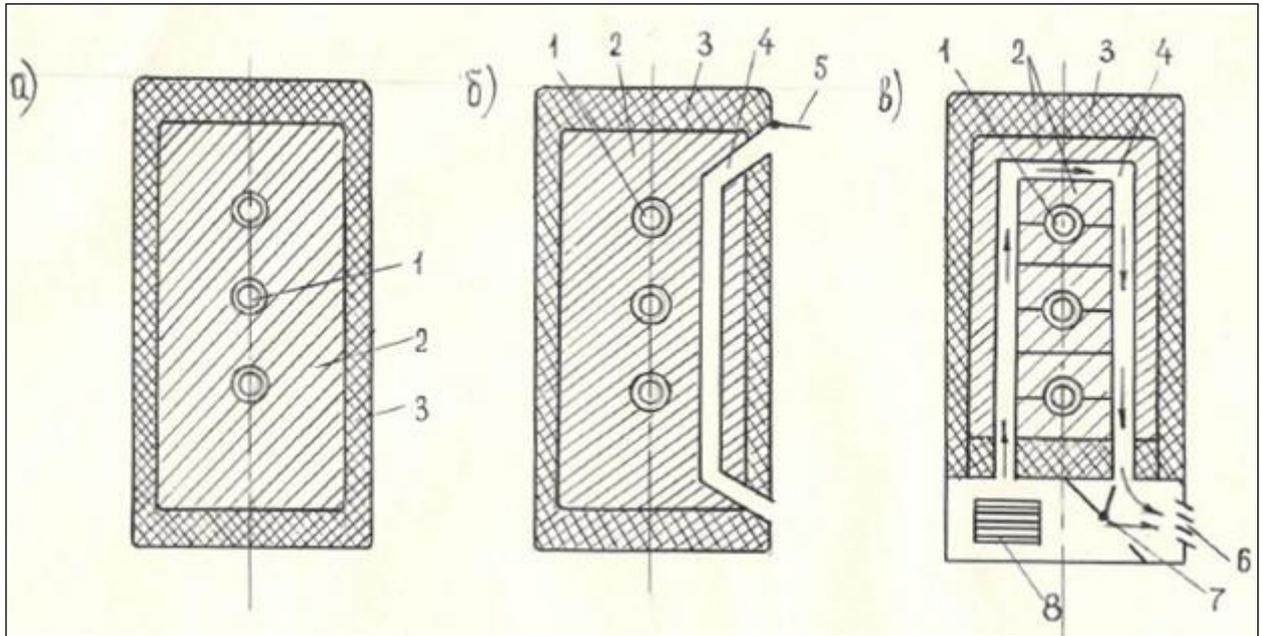


Рисунок 2.4 – Электрические теплоаккумуляционные печи: а - нерегулируемая печь; б – аккумулярующий конвектор; в – динамический теплоаккумулятор; 1 – нагревательные элементы; 2 – теплоаккумулярующий слой; 3 – теплоизоляция; 4 – воздушный канал; 5 – клапан; 6 – решетка; 7 – байпасные воздушные клапаны; 8 – вентилятор

В настоящее время в Нижнем Тагиле выпускаются печи третьего типа мощностью от 2 до 7,5 кВт, рассчитанные на 8 ч зарядки.

На рис. 2.5 показана схема управления системой электроаккумуляционного отопления многоквартирного дома с зарядкой приборов в ночное время, продолжительность которой регулируется в зависимости от температуры наружного воздуха и остаточной теплоты в приборах.

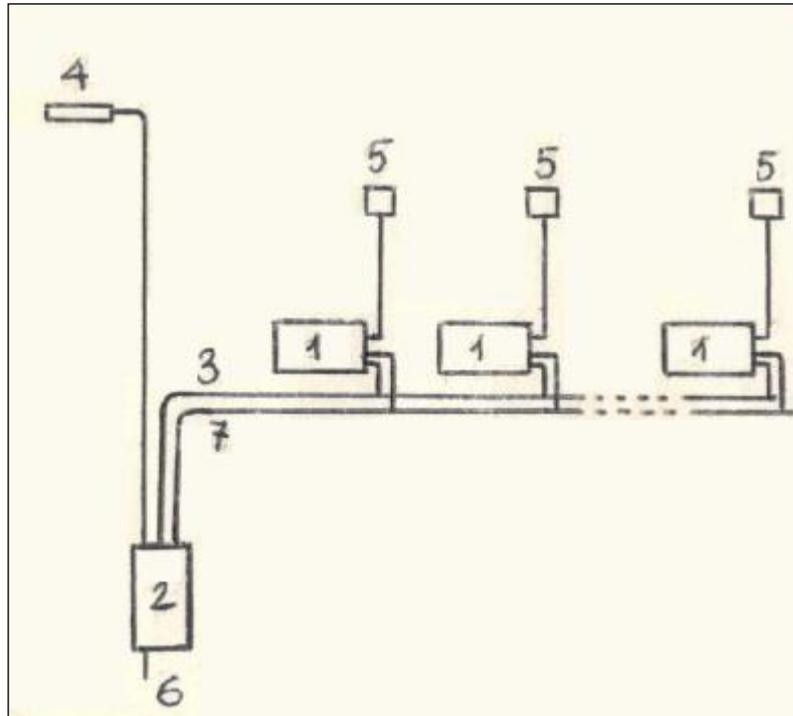


Рисунок 2.5 – Схема электротеплоаккумуляционного отопления одноквартирного дома: 1 – электротеплоаккумуляционный отопительный прибор; 2 – блок автоматического регулирования; 3 – силовой кабель; 4 – датчик температуры наружного воздуха; 5 – датчик – регулятор температуры внутреннего воздуха; 6 – трехфазный ввод; 7 – кабель управления

В южных районах страны электротеплоаккумуляционное отопление может быть обеспечено применением не только печей, но и панелей с греющим электрическим кабелем.

Так как при зарядке создается запас тепловой энергии, то установленная мощность аккумулирующего прибора $Q_{н.э}$ должна быть больше мощности $Q_{пом}$ постоянно работающего прибора. Мощность $Q_{н.э}$ увеличивают во столько раз, во сколько продолжительность периода зарядки t меньше продолжительности полного цикла T :

$$Q_{н.э} = Q_{пом} \frac{T}{m} \quad (2.7)$$

При повышении мощности электроаккумулирующих приборов соответственно увеличивают площадь поперечного сечения проводов ввода и внутридомовой электрической сети.

Теплоотдача от встроенных нагревательных элементов в толще прибора имеет прерывистый характер.

Теплоотдача нагревательных элементов $Q_{н.э}$ постоянна в течение периода зарядки m . Тепловой поток от нагревательных элементов к наружной поверхности печи проходит через аккумулирующий и изоляционный слои, которые являются своеобразным гармоническим тепловым фильтром. При этом тепловой поток из прерывистого трансформируется в неправильный периодический.

В качестве сравнительного показателя теплоинерционных свойств электротеплоаккумулирующих приборов принято затухание $v_э$, тепловой волны в приборе при суточном периоде эксплуатации. Чем больше значение $v_э$, тем равномернее передается теплота в помещение.

При известной мощности электроаккумулирующей печи $Q_{н.э}$ и продолжительности периода зарядки m тепловой поток $Q_э$ на поверхности прибора в каждый момент времени определяют по формуле:

$$Q_э = Q_{н.э} \left(\frac{m}{T} \right) + Q_{н.э} \Omega_э \quad (2.8)$$

где Ω_3 — коэффициент прерывистости теплового потока на поверхности прибора для каждого часа суток в зависимости от m/T и коэффициента затухания температурной волны при прохождении от сердечника до внутренней поверхности прибора.

Зная показатели теплоусвоения помещения $Y_{\text{пом}}$, интенсивности конвективного теплообмена на поверхностях помещения $\Lambda_{\text{пом}}$, а также мощность прибора $Q_{\text{н.э}}$, подбирают прибор, который в помещении обеспечит необходимую температуру, причем колебания ее не превысят допустимых. Каждый электротеплоаккумулирующий прибор характеризуется показателем затухания тепловой волны ν_3 .

Следует отметить, что современные теплоаккумулирующие печи, сердечник которых покрыт теплоизолирующим материалом с малым коэффициентом теплопроводности имеют $\nu_3 \geq 10$.

2.4. Электрическое отопление с помощью теплового насоса

Тепловым насосом называют установку, предназначенную для передачи теплоты от низкотемпературного источника к среде с более высокой температурой. Применительно к электрическому отоплению тепловой насос “перекачивает” энергию от среды с более низким тепловым потенциалом к среде с более высоким потенциалом, направляя ее для отопления зданий. Теоретически тепловым насосом является всякая холодильная машина, потому что наряду с холодом она неизменно вырабатывает и теплоту. Но тепловым насосом холодильную машину называют лишь в том случае, когда она специально предназначена для получения теплоты. При этом тепловой насос,

как правило, действует при более высоких нижнем и верхнем уровнях температуры, чем холодильная машина.

К настоящему времени создано и эксплуатируется большое число установок с тепловыми насосами, отличающимися по тепловым схемам, рабочим телам и используемому оборудованию. По циклам работы можно выделить несколько основных типов тепловых насосов:

- воздушно-компрессионные;
- пароконпрессионные (с механической компрессией пара);
- абсорбционные;
- использующие эффект Ранка;
- использующие двойной цикл Ренкина;
- работающие по циклу Стирлинга;
- работающие по циклу Брайтона;
- термоэлектрические;
- обращенный топливный элемент;
- использующие теплоту плавления;
- использующие механо-химический эффект;
- использующие магнето-калорический эффект.

Все тепловые насосы по принципу взаимодействия рабочих тел можно объединить в две основные группы: 1) открытого цикла, в котором рабочее тело забирается и отдается во внешнюю среду; 2) замкнутого цикла, в котором рабочее тело движется по замкнутому контуру, взаимодействуя с источником и потребителем теплоты лишь посредством теплообмена в аппаратах поверхностного типа.

Различают теплонасосные установки (ТНУ) одно- и двухступенчатые, а также каскадные. Кроме того ТНУ могут быть с последовательным соединением по нагреваемому и охлаждаемому теплоносителям с противоточным их движением.

По производительности ТНУ делят на крупные, средние и мелкие, по температурному режиму – на высокотемпературные, среднетемпературные, низкотемпературные; по режиму работы – с непрерывным действием и с циклическим действием; по виду холодильного агента – воздушные, аммиачные, фреоновые, на смесях холодильных агентов; по виду потребляемой энергии – с приводом от электродвигателя или газовой турбины, работающих на вторичных или природных энергоресурсах и др.

В системах отопления в основном применяются тепловые насосы парокомпрессионного типа. Принцип работы компрессионного теплового насоса установлен **Кельвином** в 1852 г.

На рис. 2.6 изображена принципиальная схема парокомпрессионной теплонасосной установки. В компрессоре 1 при подводе механической энергии сжимается пар хладагента, при этом повышается давление и, следовательно, соответствующая ему температура фазового перехода - конденсации. Проходя через конденсатор (теплообменник) 2, пар, превращается в жидкость, отдавая нагреваемой среде (воздуху помещения или промежуточному теплоносителю) теплоту перегрева и конденсации. Жидкий хладагент поступает к дроссельному вентилю 3, после которого он, преодолев гидравлическое сопротивление и находясь на всасывающей линии компрессора, понижает свое давление. Затем, в испарителе 4 хладагент переходит в парообразное состояние при соответствующей этому давлению более низкой температуре, отбирая теплоту на парообразование от низкотемпературной среды. Получившийся влажный пар вновь поступает в компрессор, и процесс повторяется.

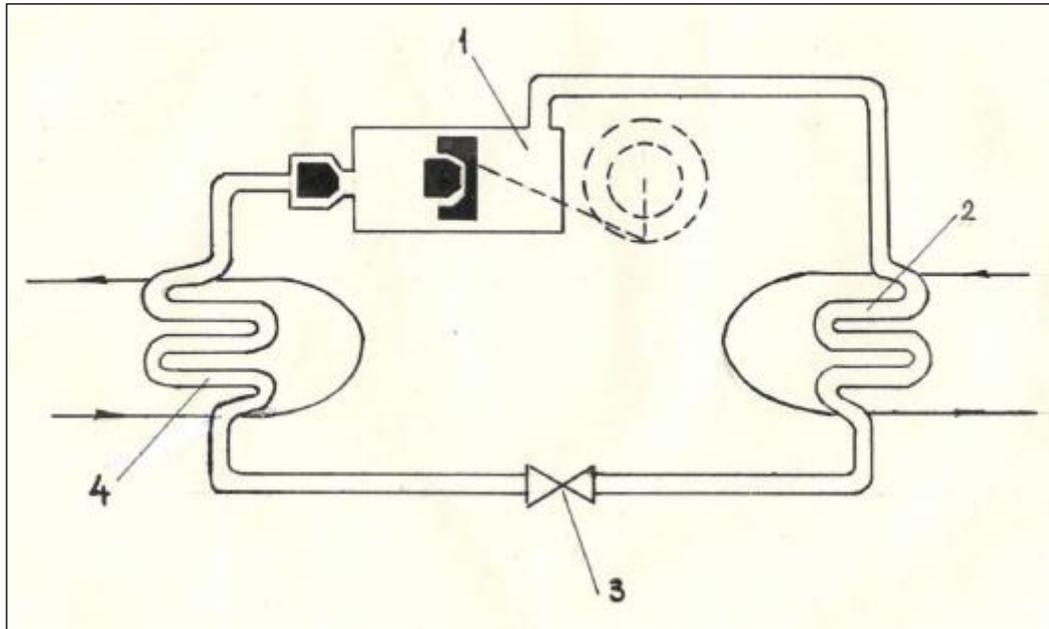


Рисунок 2.6 – Схема парокомпрессионного теплового насоса: 1 - компрессор; 2 – конденсатор; 3 – регулирующий вентиль; 4 – испаритель

Перспективным для отопления может стать тепловой насос, использующий термоэлектрический эффект Пельтье (1834 г.). Сущность эффекта заключается в выделении или поглощении теплоты при прохождении тока через контакт (спай) двух разных проводников, причем количество теплоты пропорционально силе тока. Академик **А. Ф. Иоффе** в 1949 г. предложил использовать цепь Пельтье для отопления помещений. В 1957 г. в МЭИ были разработаны полупроводниковые отопительно-охладительные агрегаты, в которых теплота выделялась в месте спая полупроводника с дырчатой (положительной) проводимостью и полупроводника с электронной (отрицательной) проводимостью при протекании через спай постоянного тока. Теплота выделяется при протекании электрического тока от положительного полупроводника к отрицательному и поглощается при движении тока в обратном направлении.

Термоэлектрическую батарею, состоящую из большого числа спаев, устраивают так, чтобы спаи, поглощающие и выделяющие теплоту, были разделены и находились в изолированных друг от друга каналах. В одном канале происходит охлаждение среды, в другом — нагревание (рис. 2.7, а). Нагретую среду используют для отопления помещений, применяя схему “воздух — воздух” (рис. 2.7, б) или “воздух—вода” (рис. 2.7, в). Достоинствами такого теплового насоса являются отсутствие компрессоров, компактность, бесшумность, долговечность, простота обслуживания и регулирования.

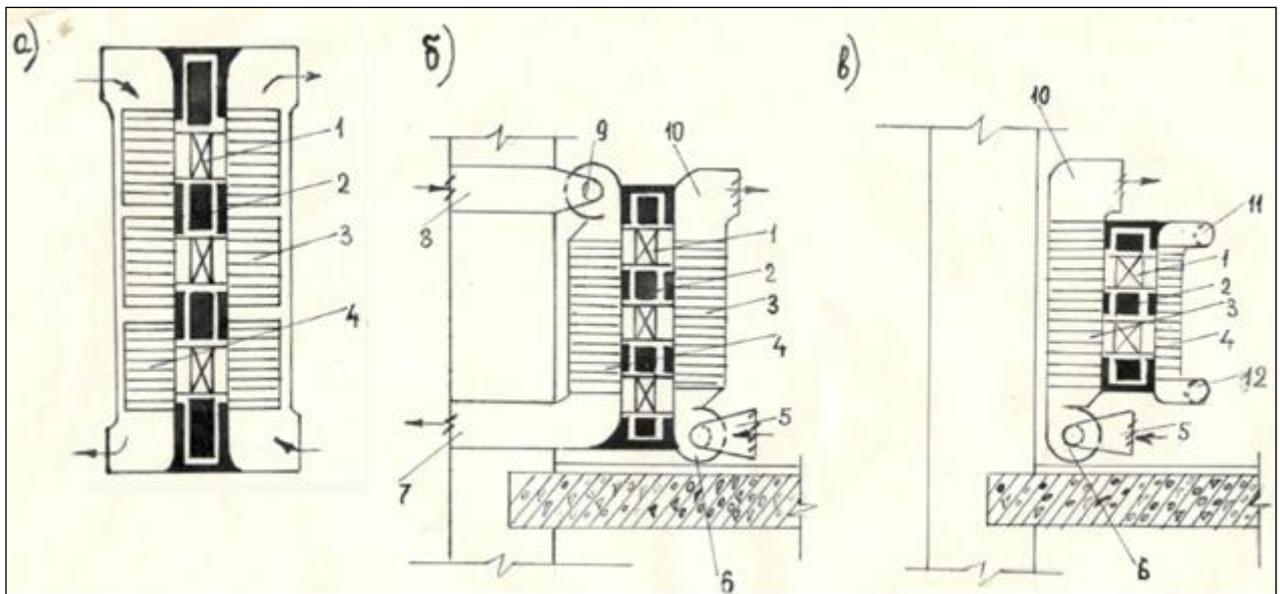


Рисунок 2.7 – Конструкции тепловых насосов с термоэлектрическими батареями: а – тепловой насос, работающий на полупроводниках; б – схема организации работы теплового насоса по принципу «воздух – воздух»; в – то же по принципу «воздух – вода»; 1 – полупроводник; 2 – тепловая изоляция; 3 – оребрение горячих спаев; 4 – оребрение холодных спаев; 5 – патрубок с решеткой для входа нагреваемого воздуха; б – вентилятор для перемещения нагреваемого внутреннего воздуха; 7, 8 – решетки для входа и выхода наружного воздуха; 9 – вентилятор для перемещения наружного воздуха; 10 – патрубок с решеткой для выхода нагретого воздуха; 11, 12 – патрубки для подачи и отвода низкотемпературной воды

Показателем эффективности работы ТНУ является коэффициент преобразования, называемый также отопительным коэффициентом.

Коэффициент преобразования равен отношению количества теплоты Q_T , получаемого для отопления, к количеству теплоты Q_3 , эквивалентному затратам энергии на приведение установки в действие:

$$\eta_{\text{п}} = Q_T / Q_3 \quad (2.9)$$

Теплота Q_3 в компрессионных установках эквивалентна количеству электроэнергии, затрачиваемой на работу компрессора; в термоэлектрических — количеству электроэнергии, подведенной к полупроводниковой батарее. Теплота Q_T помимо теплоты Q_3 включает теплоту Q_x , отбираемую тепловым насосом от низкотемпературной среды, но уменьшается за счет неизбежных теплопотерь $Q_{\text{пот}}$ в контуре установки, т. е. $Q_T = Q_3 + Q_x - Q_{\text{пот}}$. Таким образом, отопительный коэффициент равен:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{Q_3 + Q_x - Q_{\text{пот}}}{Q_3} = 1 + \frac{Q_x - Q_{\text{пот}}}{Q_3} \quad (2.10)$$

Отопительный коэффициент $\eta_{\text{п}}$ будет больше единицы в тех случаях, когда теплопотери $Q_{\text{пот}}$ меньше теплоты Q_x . Следовательно, в тепловом насосе может вырабатываться теплоты больше, чем затрачивается энергии на его привод.

Тепловые, энергетические и экономические характеристики тепловых насосов зависят от источников низкопотенциальной теплоты. Идеальный источник теплоты должен давать стабильную высокую температуру в течение отопительного периода, быть изобильным, не вызывать коррозии и загрязнения элементов теплового насоса, иметь благоприятные теплофизические

характеристики, не требовать существенных затрат на его использование и расходов по обслуживанию.

Наружный воздух, будучи совершенно бесплатным и общедоступным, является наиболее предпочтительным источником тепла. Тем не менее, тепловые насосы, применяющие воздух имеют характеристики хуже по сравнению с водяными тепловыми насосами. Это объясняется следующими обстоятельствами:

- быстрым снижением мощности и производительности с падением температуры наружного воздуха;

- относительно большой разностью температур конденсации и испарения в период минимальных зимних температур, что снижает эффективность процесса;

- энергозатратами на размораживание испарительной батареи и функционирование вентиляторов при испарителе и конденсаторе.

Речная и озерная вода с теоретической точки зрения представляется весьма привлекательным источником тепла, но имеет чрезвычайно низкую температуру в зимний период, опускаясь до 0 °С. По этой причине требуется особое внимание при проектировании, направленное на предотвращение замораживания испарителя. Морская вода на глубине от 25 до 50 м имеет постоянную температуру в диапазоне 4 – 8 °С, которая, как правило, не вызывает проблем с образованием льда. Важно только использовать теплообменники, насосные агрегаты и трубы, стойкие к воздействию коррозии, и предотвращать накопление отложений органического характера в водозаборном трубопроводе, теплообменниках, испарителях и пр.

Грунт как источник теплоты для тепловых насосов имеет преимущество – относительно стабильную температуру в течение года. Тепло отбирается по трубам, уложенным в землю горизонтально или вертикально (часто спиралеобразно). Тепловая емкость грунта варьируется в зависимости от его

влажности. Если содержание воды в почве велико, показатели повышаются благодаря увеличению теплопроводности и хорошему контакту с трубками. Большая концентрация гравия в земле вызывает ухудшение характеристик. В силу длительного отбора теплоты его температура понижается.

Поскольку тепловые насосы имеют тем больший отопительный коэффициент, чем меньше разность температур источника тепла и жидкоститеплоносителя в системе отопления, температура такого теплоносителя должна быть, возможно, ниже. Можно опираться на следующие значения отопительных коэффициентов $\eta_{п}$ для тепловых насосов класса «вода-вода», в случае, когда на испаритель приходит вода с температурой 5 °С: радиаторная или конвекторная система отопления с расчетным перепадом температур 60 – 50 °С – 2,5; такая же система отопления с расчетным перепадом температур 45 – 35 °С – 3,5; напольное отопление с расчетной разностью температур 35 – 30 °С – 4.

Отопительный коэффициент $\eta_{п}$ термоэлектрического теплового насоса при применяемых полупроводниковых материалах (висмут-теллур и висмут-селен) доходит до 2,5—3.

Эффективность тепловых насосов в последние годы значительно возросла за счет изменений, внесенных в конструкцию компрессоров, теплообменников и систем управления на базе микропроцессоров. Помимо этого тепловые насосы достигли такого уровня конструктивной прочности, который обеспечивает достаточно высокую долговечность и надежность. По результатам исследований, проведенных ASHRAE (Американским обществом инженеров по отоплению, охлаждению и кондиционированию воздуха), отмечена долговечность тепловых насосов от 15 (класса «воздух-воздух») до 19 (класса «воздух-вода») лет. Следует отметить, что данный вывод сделан для установок, имеющих в своем составе поршневой герметичный компрессор.

Современные установки, оснащенные спиральными компрессорами, еще более надежны и долговечны.

Тепловые насосы для отопления зданий нашли широкое применение за рубежом. В 1993 году общее количество работающих ТНУ в развитых странах превысило 12 млн, а ежегодный выпуск составляет более 1 млн. По прогнозу Мирового энергетического комитета к 2020 году в передовых странах доля отопления и горячего водоснабжения с помощью тепловых насосов составит 75%.

Несмотря на сравнительную дешевизну отечественных тепловых насосов по сравнению с зарубежными при современном слабом финансовом положении предприятий, внедрение тепловых насосов встречает определенные трудности. Не последнюю роль играет новизна и непривычность этой техники для наших потребителей. За рубежом эти проблемы преодолевались путем предоставления в течение нескольких лет льгот предприятиям и хозяевам жилых и общественных зданий, внедряющим теплонасосные установки для отопления зданий.

Приняв среднесезонное значение отопительного коэффициента $\eta_{\text{п}}=2,5$, получим, что расход электроэнергии на отопление с помощью теплового насоса составит 40—45% расхода в системе отопления с прямым преобразованием электричества в теплоту. Тем не менее широкое применение тепловых насосов для отопления зданий в средней полосе страны потребует значительного (пятикратного) повышения пропускной способности электросетей и существенного увеличения мощности генераторов электроэнергии для отопления зданий, построенных до 2000 года. С введением новых теплозащитных норм потребности в теплоте на отопление вновь строящихся и реконструируемых зданий сократились, что делает применение тепловых насосов для отопления более реальной задачей. Затраты на электрогенераторы могут быть сокращены при аккумуляции теплоты для отопления в часы провала

суточного графика электронагрузки. Однако в этом случае должны возрасти мощности тепловых насосов, которые будут вырабатывать суточное количество теплоты на отопление за 6—8 ч.

Экономичность теплонасосного отопления может быть повышена при использовании теплового насоса в системах комбинированного отопления.

2.5. Комбинированное отопление с использованием электрической энергии

Известны разнообразные комбинированные системы отопления с использованием электрической энергии: центральное водяное отопление с электродкотлами; электровоздушное отопление с электрокалориферами; базовое электроотопление панелями, теплоаккумулирующими печами при догревающем водяном или воздушном отоплении; догревающее отопление электрическими приборами при базовой системе воздушного или водяного отопления.

Электродкотлы применяют в системах отопления зданий различного назначения в ряде районов Сибири и северной зоны. В ряде случаев при отсутствии газовых сетей электродкотлы применяются для отопления индивидуальных домов, дач, некоторых общественных зданий, расположенных как в городах, так и в сельской местности. В электродкотельных, сооружаемых при наличии электроэнергии, уменьшается масса оборудования, снижается трудоемкость эксплуатации (электродкотельные работают без дежурного персонала). Однако остается основной недостаток электрического отопления — перерасход первичного топлива.

В отопительных системах применяют водогрейные электродные котлы, работа которых основана на прямом нагревании воды электрическим током.

Ток протекает через движущуюся в котле воду, представляющую собой активное сопротивление. Корпус котла (рис. 2.8), выполняемый из специальных сталей, имеет входной и выходной патрубки для воды. Вода движется между пластинчатыми или цилиндрическими электродами, связанными в один пакет. В корпусе помещено устройство для регулирования мощности котла в виде пакета диэлектрических пластин или цилиндров, входящих в зазоры между электродами и перемещающихся вдоль них. Если электроды и корпус котла изготовлены из нержавеющей стали, в систему отопления может быть залита как вода, так и антифриз. Корпус котла имеет тепловую изоляцию.

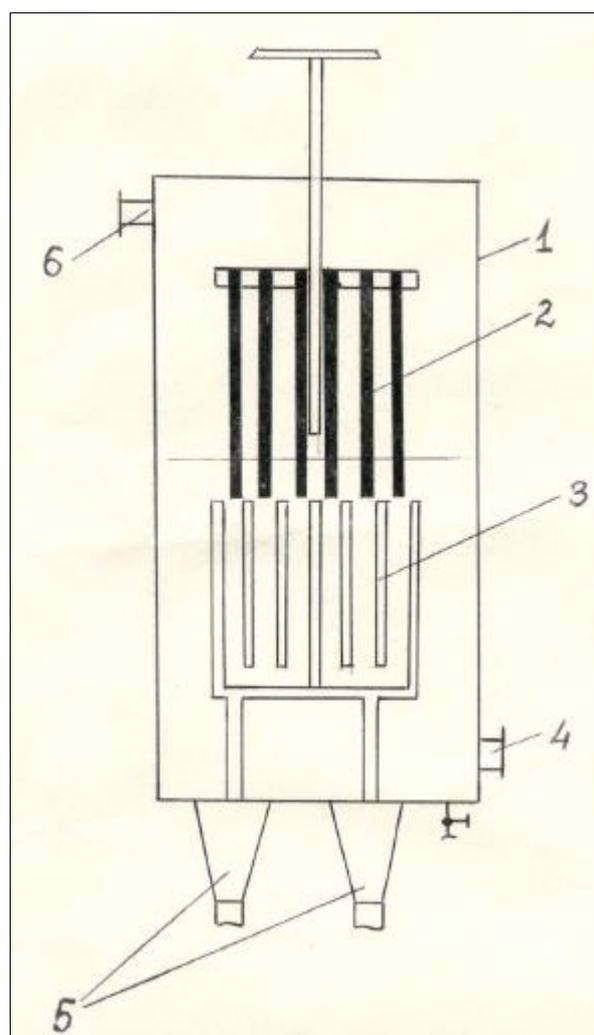


Рисунок 2.8 – Схема электрокотла: 1 – корпус; 2 – пакет диэлектрических пластинок; 3 – патрубок для входа нагреваемой воды; 5 – вводы электропитания; 6 – патрубок для выхода нагретой воды

Котлы изготавливают номинальной мощностью от 3 кВт до 1 МВт (низкого напряжения) и от 1 до 10 МВт (высокого напряжения) для работы на переменном токе. При высоком напряжении (6—10 кВ) их устанавливают в специальном помещении, а при низком напряжении (0,4 кВ) — непосредственно в обогреваемом здании. Выпускаемые в России и за рубежом электрокотлы могут осуществлять ступенчатое регулирование мощности, имея от трех до семи ступеней регулирования.

Мощность электрокотлов зависит от удельного электрического сопротивления нагреваемой воды. Поэтому в паспорте котла указывают расчетное электросопротивление воды $R_{\text{расч}}$ при 20 °С, которому соответствует номинальная мощность $N_{\text{ном}}$ котла. При работе на воде с другим удельным электросопротивлением при 20 °С R_{20} мощность котла $N_{\text{к}}$, кВт, изменится:

$$N_{\text{к}} = N_{\text{ном}} \frac{R_{\text{расч}}}{R_{20}} \quad (2.11)$$

Удельное электросопротивление природных вод изменяется от 5000—2000 в озерах и реках Севера страны до 500—3000 Ом · см в артезианских скважинах.

Расход воды $G_{\text{к}}$, кг/ч, в электрокотле мощностью $N_{\text{к}}$, кВт, рассчитывают по формуле:

$$G_k = \frac{3600N_k}{c(t_r - t_0)} \quad (2.12)$$

где c — удельная теплоемкость воды [4,187 кДж/(кг · °С)]; t_0 , t_r — расчетная температура воды, входящей и выходящей из котла, °С.

Выпускаемые водогрейные электродные котлы рассчитаны на нагревание воды до 85, 95, 130 °С.

Для надежности отопления многоквартирных домов и других крупных объектов устанавливают не менее двух котлов (один резервный). Каждый котел заблокирован с циркуляционным насосом — котел отключается при остановке насоса. Обеспечивается также автоматическое включение резервного насоса при остановке работающего.

Работа современных электродных котлов автоматизирована: от датчика уровня теплоносителя передается сигнал, исключающий включение котла с незаполненной системой отопления; по датчику температуры теплоносителя исключается возможность превышения максимально допустимой (заданной) температуры; по датчику температуры в помещении осуществляется включение и отключение котла, позволяющее поддерживать заданную температуру помещения с точностью 0,5 °С в диапазоне от 5 до 30 °С; осуществляется диагностика работы котла, результаты которой показываются на внешних индикаторах.

Современные электродные котлы могут быть укомплектованы циркуляционными насосами, расширительными баками, шаровыми кранами, предохранительными клапанами.

В системах воздушного отопления сельскохозяйственных и промышленных зданий применяют электрокалориферы. Выпускаются электрокалориферы марки СФО мощностью 33—99 кВт для нагревания не менее 3000—7000 м³/ч воздуха на 30 - 100 °С, марки ВЭ мощностью 15 – 90 кВт, с минимальной производительностью по воздуху от 1700 до 6000 м³/ч при перепаде температур нагреваемого и нагретого воздуха от 35 до 65 °С и марки ЭКО мощностью от 4,8 до 157 кВт при производительности по воздуху не менее 500 – 7500 м³/ч и перепаде температур 35 –60 °С. Электрокалорифер работает от сети напряжением 380 В, при этом на трубчатых нагревателях, соединенных по схеме “звезда”, поддерживается 220 В. Электрокалорифер должен устанавливаться в закрытом помещении.

Электрокалорифер состоит из кожуха, оребренных трубчатых электронагревателей, выводов и шин. Кожух изготавливают из листовой стали на сварке. Трубчатые электронагреватели установлены внутри кожуха в три ряда в шахматном порядке. Каждый вертикальный ряд представляет собой самостоятельную тепловую и электрическую секцию, что позволяет работать на ступенях 100, 66,7 и 33,3% установочной мощности.

При включении установки в сеть электрокалорифер работает на 100%-ной мощности. При повышении температуры воздуха в отапливаемом помещении выше установленного значения отключается одна секция, при дальнейшем повышении температуры — еще одна секция. Третья секция может автоматически отключаться при повышении температуры на поверхности оребрения выше 190 °С.

При больших электродотельных или калориферных установках может оказаться экономически выгодным плавное регулирование мощности нагрева с помощью широтно-импульсной модуляции: при которой управляющий сигнал имеет постоянный период, а его длительность пропорциональна необходимому воздействию, другими словами, можно уменьшить мощность калорифера или

котла подавая напряжение на установку в течение части, например, секундного периода.

При догревающем электроотоплении понижается общий расход первичного топлива на отопление зданий и уменьшается установленная мощность электроотопительных приборов. В комбинированной системе, например, общественного здания с центральным базовым водяным или воздушным отоплением, обеспечивающим поддержание в течение отопительного сезона температуры 12 — 14 °С, и электроотопительными приборами, повышающими температуру помещений в рабочее время, сочетаются преимущества автоматического поддержания требуемой температуры внутреннего воздуха с экономичностью центрального отопления от ТЭЦ и крупных тепловых станций.

Увеличение капитальных затрат на установку доводчиков или других дополнительных электроотопительных приборов частично компенсируется экономией от снижения тепловой мощности базовой системы отопления. Экономия первичного топлива в условиях автоматического поддержания необходимой температуры в течение суток составляет не менее 5%, а при отключении дополнительной системы в нерабочий период времени увеличивается до 15%.

Глава 3. Этапы выпуска проектной документации инженерных систем ОВ и КВ

3.1. Структура нормативной базы для градостроительной деятельности

Система нормативных документов в строительстве представляет собой совокупность взаимосвязанных нормативных документов, объединенных общими целями и задачами по обеспечению безопасности, повышению эффективности и качества строительства и применяемых на обязательной и добровольной основе при проектировании, строительстве, эксплуатации и ликвидации зданий и сооружений.

Система формируется федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по разработке и реализации государственной политики в сфере архитектуры, строительства и градостроительной деятельности, совместно с заинтересованными органами федеральной исполнительной власти, предприятиями и организациями на общей методической и научно-технической основе.

Иерархия нормативных актов:

- 1) Конституция Российской Федерации
- 2) Законы и другие законодательные акты представительской власти Российской Федерации. Указы Президента РФ.
 - 2.1) Законы и другие законодательные акты представительской власти субъектов РФ. Указы Президентов республик РФ Распоряжения морей городов-субъектов РФ.
- 3) Постановления Совета Министров - Правительства РФ
 - 3.1) Постановления правительства субъектов РФ
- 4) Распоряжения государственных органов Российской Федерации
 - 4.1) Распоряжения органов исполнительной власти субъектов РФ

5) Федеральные нормативные документы:

- Строительные нормы и правила (СНиП)
- Государственные стандарты РФ (ГОСТ Р)
- Сводь правил по проектированию и строительству (СП)
- Руководящие документы систем нормативных документов (РДС)

5.1) Нормативные документы субъектов РФ:

- Территориальные строительные нормы

5.2) Стандарты предприятий (СТП):

- Стандарты общественных объединений

Структура системы нормативных документов в строительстве:

Нормативные документы в строительстве делятся на:

1) Организационно-методические

Раздел состоит из следующих глав:

- Стандартизация, нормирование, сертификация
- Инженерные изыскания для строительства и проектирование
- Производство
- Эксплуатация
- Градостроительный кадастр
- Архитектурная и градостроительная деятельность

2) Общие технические нормативные документы

Раздел состоит из следующих глав:

- Основные положения надежности строительных сооружений
- Пожарная безопасность
- Защита от опасных геофизических воздействий
- Внутренний климат и защита от вредных воздействий
- Размерная взаимозаменяемость и совместимость

3) Градостроительство, здания и сооружения

Раздел состоит из следующих глав:

- Градостроительство
- Жилые, общественные и производственные здания и сооружения
- Сооружения транспорта
- Гидротехнические и мелиоративные сооружения
- Магистральные и промысловые трубопроводы
- Обеспечение доступной среды жизнедеятельности для инвалидов и других маломобильных групп населения

4) Инженерное оборудование, внешние сети

Раздел состоит из следующих глав:

- Водоснабжение и канализация
- Теплоснабжение, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха
- Газоснабжение

5) Строительные конструкции и изделия

Раздел состоит из следующих глав:

- Основания и фундаменты зданий и сооружений
- Каменные и армокаменные конструкции
- Железобетонные и бетонные конструкции
- Металлические конструкции
- Деревянные конструкции
- Конструкции из других материалов
- Окна, двери, ворота и приборы к ним

6) Строительные материалы и изделия

Раздел состоит из следующих глав:

- Стеновые кладочные материалы

- Минеральные вяжущие вещества
- Бетоны и растворы
- Щебень, гравий и песок для строительных работ
- Теплоизоляционные, звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы

- Кровельные, гидроизоляционные и герметизирующие материалы и изделия

- Отделочные и облицовочные материалы
- Асбестоцементные изделия
- Дорожные материалы
- Строительное стекло

7) Мобильные здания и сооружения

Раздел состоит из следующих глав:

- Мобильные здания и сооружения
- Оснастка строительных организаций
- Специализированная оснастка предприятий стройиндустрии

8) Экономика, сметы

Раздел состоит из следующих глав:

- Экономика строительства
- Ценообразование и сметы
- Материальные и топливно-энергетические ресурсы
- Трудовые ресурсы

Систему нормирования в проектировании и строительстве осуществляет ряд законов, а именно: ФЗ о Техническом регулировании № 184-ФЗ от 27.12.2002 г. с поправками от 29.07.2017 г. и Градостроительный кодекс РФ № 190-ФЗ от 29.12.2004 г. с поправками от 25.12.2018 г.

Закон РФ о Техническом регулировании устанавливает требования к техническим регламентам и включает в себя 10 глав:

Глава 1. Общие положения.

Глава 2. Технические регламенты.

Глава 3. Стандартизация.

Глава 4. Подтверждение соответствия.

Глава 5. Аккредитация органов сертификации и лабораторий.

Глава 6. Государственный контроль за соблюдением регламентов

Глава 7. Информация о нарушении регламентов и отзыв продукции

Глава 8. Информация о регламентах и стандартах.

Глава 9. Финансирование в области технического регулирования.

Глава 10. Заключительные и переходные положения.

Технический регламент- нормативные документы по строительству и проектированию. По Закону технические регламенты принимаются чтобы на всех этапах жизненного цикла зданий и сооружений обеспечить:

- защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества;
- охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений;
- предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей, в том числе потребителей;
- обеспечения энергетической эффективности и ресурсосбережения.

Принятие технических регламентов в иных целях не допускается!

Технические регламенты с учетом степени риска причинения вреда устанавливают минимально необходимые требования, обеспечивающие:

- безопасность излучения; биологическую безопасность; взрывобезопасность; механическую безопасность; пожарную безопасность;

•безопасность продукции (технических устройств, применяемых на опасном

- производственном объекте);
- термическую безопасность;
- химическую безопасность;
- электрическую безопасность;
- радиационную безопасность населения;
- электромагнитную совместимость в части обеспечения безопасности работы приборов и оборудования; единство измерений.

3.1.1 Градостроительный Кодекс

Законодательство о градостроительной деятельности регулирует отношения по территориальному планированию, градостроительному зонированию, планировке территории, архитектурно-строительному проектированию, отношения по строительству объектов капитального строительства, их реконструкции, а также по капитальному ремонту, при проведении которого затрагиваются конструктивные и другие характеристики надежности и безопасности таких объектов (далее - градостроительные отношения).

Градостроительный кодекс РФ состоит из 63 статей.

Законодательство о градостроительной деятельности состоит из настоящего Кодекса, других федеральных законов и иных нормативных правовых актов Российской Федерации, а также законов и иных нормативных правовых актов субъектов Российской Федерации.

Законы и иные нормативные правовые акты субъектов Российской Федерации, содержащие нормы, регулирующие отношения в области градостроительной деятельности, не могут противоречить настоящему Кодексу.

При проектировании, строительстве, эксплуатации и ликвидации зданий и сооружений на территории Российской Федерации применяются нормативные документы следующих видов:

- строительные нормы - СН;
- своды правил по проектированию и строительству - СП;
- национальные стандарты Российской Федерации, включая предварительные и введенные в качестве национальных межгосударственные, другие региональные и международные стандарты - ГОСТ Р и ГОСТ;
- специальные технические условия на проектирование и строительство и технические свидетельства о пригодности новой продукции - СТУ и ТС;
- стандарты организаций, в том числе технические условия на применяемую в строительстве продукцию - СТО и ТУ.

СН- Строительные нормы устанавливают требования безопасности в отношении зданий и сооружений в развитие требований технических регламентов в области строительства, утверждаются нормативным правовым актом (приказом) Минстроя России и применяются на обязательной основе. СП- Своды правил по проектированию и строительству устанавливают правила и общие принципы в отношении способов выполнения требований строительных норм, а также обеспечения соответствия зданий и сооружений своему назначению, эффективности и качества строительства, утверждаются Минстроем России или по согласованию с ним – другим федеральным органом исполнительной власти в соответствии с его компетенцией и применяются на добровольной основе. ГОСТ Р и ГОСТ, СТУ и ТС, СТО и ТУ - Национальные стандарты, включая предварительные и введенные в Российской Федерации в качестве национальных межгосударственные, другие региональные и международные стандарты (далее – национальные стандарты), а также стандарты организаций и технические условия разрабатываются, утверждаются и применяются в области строительства в соответствии с законодательством о

стандартизации в Российской Федерации по правилам, установленным основополагающими национальными стандартами и правилами стандартизации с учетом требований самостоятельно на добровольной основе.

Строительные нормы и своды правил по проектированию и строительству не противоречат положениям законодательства и нормативных правовых актов Российской Федерации.

Строительные нормы содержат только обязательные требования, подлежащие применению и соблюдению.

Свод правил по проектированию и строительству, как документы, применяемые на добровольной основе, содержат рекомендуемые и, при необходимости, справочные положения.

В сводах правил по проектированию и строительству приводят с необходимой полнотой проверенные на практике рекомендуемые положения, применение которых позволит обеспечить достижение целей технических регламентов и соответствие требованиям строительных норм по обеспечению безопасности, а также решение других задач, связанных с обеспечением соответствия объектов регулирования своему назначению.

Строительные нормы являются обязательными для применения и исполнения на территории Российской Федерации всеми органами управления, экспертизы и государственного надзора, предприятиями и организациями независимо от формы собственности и принадлежности, гражданами, занимающимися индивидуальной трудовой деятельностью или осуществляющими индивидуальное строительство, а также общественными организациями, зарубежными юридическими и физическими лицами, в том числе в целях выполнения общих требований технического регламента к зданиям и сооружениям и дополнительных требований технических регламентов к отдельным видам сооружений. Отсутствие ссылок на требования

строительных норм в договоре на выполнение проектных, изыскательских, строительно-монтажных и иных работ, на которые распространяются строительные нормы, не освобождает исполнителей от необходимости соблюдения этих требований.

Соблюдение обязательных требований действующих строительных норм в соответствии с областью распространения этих документов является достаточным условием выполнения требований технических регламентов в области обеспечения безопасности зданий и сооружений.

Разрешение на отступление от отдельных требований строительных норм в обоснованных случаях выдается Минстроем России при наличии компенсирующих мероприятий и положительных заключений соответствующих органов государственного надзора.

К существующим зданиям и сооружениям, запроектированным, построенным и введенным в эксплуатацию в соответствии с ранее действовавшими нормативными документами до вступления в силу вновь разрабатываемых строительных норм, или проектная документация на строительство которых, включая реконструкцию и капитальный ремонт, была утверждена или первично направлена на государственную экспертизу до вступления в силу требований новых норм, вновь разработанные документы не применяются вплоть до реконструкции или капитального ремонта зданий или сооружений. Исключение составляют случаи, когда дальнейшая эксплуатация таких зданий и сооружений в соответствии с новыми данными приводит к недопустимому риску для безопасности жизни и здоровья людей. В таких случаях собственник объекта должны принять решение о реконструкции, капитальном ремонте или сносе существующего здания или сооружения.

При изменении функционального назначения существующего здания, сооружения или отдельных помещений, должны применяться действующие

нормативные документы в соответствии с новым назначением этих зданий или помещений.

Постановление Правительства РФ № 1521 от 26.12.2014г. с изменениями на 07.12.2016г. Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил касательно систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений":

1. [СП 36.13330.2012](#) "СНиП 2.05.06-85* "Магистральные трубопроводы". [Разделы 1 \(пункт 1.1\), 5 \(пункты 5.5 - 5.6\), 7 \(пункты 7.6 - 7.10, 7.15 - 7.18, 7.20, 7.22, 7.24, 7.25\), 8 \(пункты 8.1.3, 8.2.6, 8.2.11\), 10 \(пункты 10.2.1 - 10.3.7\), 11 - 14, 16, 17 \(пункты 17.1.1 - 17.1.21\).](#)
2. [СП 50.13330.2012](#) "СНиП 23-02-2003 "Тепловая защита зданий". [Разделы 1, 4 \(пункты 4.3, 4.4\), 5 \(пункты 5.1, 5.2, 5.4-5.7\), 6 \(пункт 6.8\), 7 \(пункт 7.3\), 8 \(подпункты "а" и "б" пункта 8.1\), 9 \(пункт 9.1\), приложение Г.](#)
3. [СП 51.13330.2011](#) "СНиП 23-03-2003 "Защита от шума". [Разделы 1, 4 \(пункты 4.2 - 4.5\), 5, 6 \(пункты 6.1, 6.3\), 7, 8, 9 \(пункты 9.1 - 9.6, 9.17 - 9.21\), 10 \(пункты 10.1, 10.3 - 10.16\), 11 \(пункты 11.1 - 11.21, 11.26\), 12.](#)
4. [СП 54.13330.2011](#) "СНиП 31-01-2003 "Здания жилые многоквартирные". [Разделы 1 \(пункт 1.1\), 4 \(пункты 4.3 - 4.7, абзацы третий - шестой пункта 4.8, пункты 4.9, 4.10 \(за исключением слов "все предприятия, а также магазины с режимом функционирования после 23 ч"\), 4.11, 4.12\), 5 \(пункты 5.5, 5.8\), 6 \(пункты 6.2, 6.5 - 6.8\), 7 \(пункты 7.1.2, 7.1.4 - 7.1.14, абзац второй пункта 7.1.15, пункты 7.2.1 - 7.2.15, 7.3.6 -](#)

[7.3.10](#), [7.4.2](#), [7.4.3](#), [7.4.5](#), [7.4.6](#)), [8](#) (пункты [8.2](#) - [8.7](#), [8.11](#) - [8.13](#)), [9](#) (пункты [9.2](#) - [9.4](#), [9.6](#), [9.7](#), [9.10](#) - [9.12](#), [9.16](#), [9.18](#) - [9.20](#), [9.22](#), [9.23](#), [9.25](#) - [9.28](#), [9.31](#), [9.32](#)), [10](#) (пункт [10.6](#)), [11](#) (пункты [11.3](#), [11.4](#)).

5. СП [56.13330.2011](#) "СНиП 31-03-2001 "Производственные здания". [Разделы 1, 4](#) (пункты [4.5](#), абзац последний пункта [4.6](#), пункт [4.11](#)), [5](#) (пункты [5.1](#), [5.4](#), [5.7](#) - [5.9](#), [5.11](#) - [5.12](#), [5.15](#) - [5.20](#), [5.23](#) - [5.26](#), [5.29](#), [5.30](#), [5.33](#), [5.34](#), [5.36](#)).

6. СП [60.13330.2012](#) "СНиП 41-01-2003 "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха". [Разделы 1, 4](#) (за исключением пункта [4.7](#)), [5](#) (за исключением пункта [5.3](#)), [6.1](#) (пункты [6.1.2](#) - [6.1.4](#), [6.1.6](#), [6.1.7](#)), [6.2](#) (пункты [6.2.4](#) - [6.2.6](#), [6.2.8](#) - [6.2.10](#)), [6.3](#) (пункты [6.3.2](#) - [6.3.8](#)), [6.4](#) (пункты [6.4.1](#) - [6.4.3](#), [6.4.5](#), [6.4.7](#) - [6.4.9](#), [6.4.11](#), [6.4.14](#)), [6.5](#) (пункты [6.5.3](#) - [6.5.8](#)), [7](#) (пункты [7.1.2](#), [7.1.3](#), [7.1.5](#) - [7.1.10](#), [7.1.12](#), [7.1.18](#), [7.2.1](#) - [7.3.5](#), [7.4.1](#) - [7.4.4](#), [7.4.6](#), [7.5.1](#), [7.5.2](#), [7.5.5](#), [7.5.11](#), [7.6.1](#) - [7.6.5](#), [7.9.4](#) - [7.9.16](#), [7.10.2](#), [7.10.3](#), [7.10.6](#), [7.10.7](#), [7.11.1](#) - [7.11.14](#)), [8, 9](#) (пункты [9.5](#), [9.7](#) - [9.14](#), [9.16](#), [9.23](#)), [10, 11](#) (пункты [11.4.3](#) - [11.4.7](#)), [12, 13](#) (пункты [13.3](#) - [13.7](#)), [14](#) (пункты [14.1](#), [14.2](#)), приложения А - Д, Ж, И, К.

7. СП [61.13330.2012](#) "СНиП 41-03-2003 "Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов". [Разделы 1, 5](#) (пункты [5.9](#), [5.18](#), [5.19](#)).

8. СП [86.13330.2014](#) "СНиП III-42-80* "Магистральные трубопроводы". [Разделы 1, 6](#) (пункты [6.4.1-](#) [6.4.23](#)), [8](#) (пункты [8.6.1](#), [8.6.2](#), [8.6.4](#)), [9](#) (пункты [9.11.1](#) - [9.11.42](#)), [10](#) (пункт [10.5.4](#)), [11](#) (пункты [11.2.5](#), [11.5.1](#) - [11.6.12](#)), [14](#) (пункт [14.3.1](#)), [18](#) (пункты [18.1.4](#), [18.5.1](#) - [18.5.2](#), [18.6.3](#)), [19](#) (пункты [19.3.1](#), [19.3.2](#), [19.3.6](#), [19.3.7](#), [19.3.12](#), [19.3.13](#), [19.5.2](#), [19.5.4](#), [19.5.6](#) - [19.5.11](#), [19.5.13](#)), [23](#).

9. [СП 89.13330.2012](#) "СНиП II-35-76 "Котельные установки". [Разделы 1 \(пункты 1.1, 1.2\) 4, 5 \(пункты 5.4, 5.8, 5.13, 5.18\), 6 \(пункты 6.4, 6.6, 6.8, 6.9, 6.10, 6.15, 6.16, 6.20 - 6.44\), 7 \(абзацы первый и второй пункта 7.2, пункты 7.3 - 7.11, абзацы первый - третий пункта 7.12\), 8,9, 10 \(пункты 10.1.1 - 10.1.14, 10.2.1 - 10.2.18, 10.6.1 - 10.6.9\), 11 \(пункты 11.6, 11.8, 11.16, 11.18, 11.21, 11.22, 11.26, 11.29, 11.30\), 12 \(пункты 12.2, 12.4 - 12.6, 12.11 - 12.13, 12.16 - 12.35\), 13 \(пункты 13.1 - 13.80\), 14 \(пункты 14.1, 14.2, 14.8, 14.12, 14.16, 14.17, 14.21, 14.24, 14.28\), 15 \(пункты 15.1, 15.3, 15.4, 15.7 - 15.16, 15.20, 15.22 - 15.25, 15.29 - 15.40, 15.42, 15.47 - 15.62\), 16 \(пункты 16.3 - 16.10, 16.13, 16.14, 16.17, 16.18, 16.20 - 16.27, 16.29, 16.31\), 17 \(пункты 17.1, 17.4, 17.6, 17.12, 17.13, 17.21, 17.22\), 18 \(пункты 18.3, 18.16, 18.18\), 19, 20, 21, приложение Ж.](#)

10. [СП 113.13330.2012](#) "СНиП 21-02-99*" "Стоянки автомобилей". [Разделы 1, 4 \(пункты 4.2, 4.3, 4.5 - 4.7, 4.10, 4.11, 4.14\), 5 \(пункты 5.1.5, 5.1.14, 5.1.15, 5.1.20 - 5.1.24, 5.1.28, 5.1.29, 5.1.31, абзац первый пункта 5.1.32, пункты 5.1.34 - 5.1.43, 5.1.45, абзацы первый и второй пункта 5.2.1, пункты 5.2.2, 5.2.3, 5.2.6 - 5.2.8, 5.2.18, 5.2.19, 5.2.20, 5.2.29, 5.2.31, 5.2.37\), 6 \(пункты 6.1.3, 6.2.1, 6.2.4, 6.3.1 - 6.3.13, 6.4.2 - 6.4.6, 6.5.3 - 6.5.7\), приложение В.](#)

11. [СП 118.13330.2012](#) "СНиП 31-06-2009 "Общественные здания и сооружения". [Разделы 1, 3, 4 \(пункты 4.1 - 4.7, 4.9 - 4.10, 4.11 \(за исключением абзаца второго пункта 4.11\), пункты 4.12, 4.14 - 4.22, абзацы первый и второй пункта 4.23, пункты 4.24 - 4.26, 4.28 - 4.30\), 5 \(пункты 5.1, 5.2, 5.4 - 5.7, 5.9 - 5.13, 5.20 - 5.27, 5.32 - 5.36, 5.38 - 5.46\), 6 \(пункты 6.1 - 6.6, 6.8 - 6.12, 6.14 - 6.21, 6.23 - 6.28, 6.30 - 6.38, 6.40 - 6.48, 6.53 - 6.58, 6.64, 6.72, 6.77, 6.81 - 6.95\), 7 \(пункты 7.1 - 7.5, 7.8, 7.10 - 7.27, 7.35, 7.37 - 7.43, 7.46 - 7.49\), 8 \(пункты 8.1 - 8.7, абзац первый пункта](#)

[8.9](#), [пункты 8.10](#), [8.11](#), [8.14](#), [8.18](#), [8.19](#), [8.21](#), [8.24 - 8.26](#), [8.28 - 8.34](#)), [9](#) ([пункты 9.1 - 9.5](#)), [приложение Г](#).

12. [СП 120.13330.2012](#) "СНиП 32-02-2003

"Метрополитены". [Разделы 1, 4](#) ([пункты 4.2](#), [4.4](#), [4.5](#), [4.7](#), [4.16](#), [4.18](#), [4.20](#), [4.26](#)), [5](#) ([пункты 5.1.1.1](#), [5.1.1.3](#), [5.1.1.6](#), [5.1.1.9](#) - [5.1.1.12](#), [5.1.1.19](#) - [5.1.1.22](#), [5.1.1.28](#), [5.1.1.29](#), [5.1.2.4](#), [5.1.3.7](#), [5.2](#), [5.1.3.1](#), [5.1.3.7](#), [5.2.1](#) - [5.2.5](#), [5.3.1](#), [5.3.2](#), [5.3.4](#), [5.3.12](#), [5.4.1.1](#) - [5.4.1.9](#), [5.4.1.13](#), [5.4.1.15](#) - [5.4.1.17](#), [5.4.1.20](#) - [5.4.1.23](#), [5.4.2.1](#), [5.4.2.3](#), [5.4.2.6](#) - [5.4.2.8](#), [5.5.2.1](#) - [5.5.2.3](#), [5.5.2.5](#), [5.5.2.7](#), [5.5.2.8](#), [5.5.2.10](#), [5.5.2.11](#), [5.5.3.1](#), [5.5.3.3](#), [5.5.4.3](#), [5.6.1.1](#), [5.6.1.4](#), [5.6.1.6](#) - [5.6.1.9](#), [5.6.2.1](#), [5.6.2.3](#), [5.6.2.6](#) - [5.6.2.9](#), [5.6.3.4](#), [5.6.3.6](#), [5.6.3.9](#), [5.6.3.12](#), [5.6.3.15](#), [5.6.3.17](#) - [5.6.3.19](#), [5.6.4](#), [5.6.5](#), [5.7.1.1](#), [5.7.1.3](#) - [5.7.1.5](#), [5.7.1.7](#) - [5.7.1.22](#), [5.7.2.1](#) - [5.7.2.12](#), [5.7.2.14](#), [5.8.1.1](#) - [5.8.1.16](#), [5.8.2.1](#) - [5.8.2.45](#), [5.8.3.1](#) - [5.8.3.7](#), [подпункт "а" пункта 5.8.3.8](#), [пункты 5.8.3.9](#), [5.8.3.10](#), [5.8.4.1](#) - [5.8.4.9](#), [5.9.1.1](#) - [5.9.1.12](#), [5.9.2.1](#) - [5.9.2.13](#), [5.9.3.1](#), [5.9.4.1](#), [5.9.4.3](#), [5.9.4.4](#), [5.10.1](#), [5.10.2](#), [5.10.3.1](#) - [5.10.3.11](#), [5.10.3.13](#), [5.10.4](#), [5.10.5](#), [5.10.6.1 - 5.10.6.10](#), [5.10.6.12 - 5.10.6.23](#), [5.11.1](#) - [5.11.14](#), [5.12.1 - 5.12.38](#), [5.13.1 - 5.13.30](#), [5.15.1.1](#), [5.15.1.2](#), [5.15.1.5](#), [5.15.1.7](#) - [5.15.1.11](#), [5.15.1.15](#), [5.15.1.17](#) - [5.15.1.20](#), [5.15.1.22](#), [5.16.1](#) - [5.16.5](#), [5.16.6.1](#) - [5.16.6.7](#), [5.16.6.8](#) (за исключением [подпункта "в" пункта 5.16.6.8](#)), [пункты 5.16.6.9](#) - [5.16.6.18](#), [5.16.7.1](#) - [5.16.7.7](#), [5.17.1.1](#), [5.17.2.1](#), [5.17.2.8](#), [5.17.2.9](#), [5.18.3.1](#), [5.18.3.2](#), [5.19.1.1](#), [5.19.2.1](#), [5.19.2.2](#), [5.19.2.4](#), [5.20.1 - 5.20.3](#), [5.20.7](#), [5.20.11](#), [5.20.13](#), [5.20.14](#), [5.21](#), [5.22.2](#) - [5.22.7](#), [5.24.3](#), [5.24.4](#), [5.24.8](#), [5.26.2](#), [5.26.4](#), [5.26.12](#)), [6](#) ([пункты 6.2.2](#), [6.2.3](#), [6.3.1.2](#) - [6.3.1.4](#), [6.3.2.2 - 6.3.2.4](#), [6.3.3.3](#), [6.3.4.5](#), [6.3.4.11](#), [6.3.4.14](#), [6.3.5.1 - 6.3.5.3](#), [6.3.6.2](#) -

[6.3.6.4](#), [6.4.1.1](#), [6.4.2.2](#), [6.4.3.2](#), [6.4.4.1](#), [6.5.2.6](#), [6.5.3.3](#), [6.5.4.5](#), [6.5.5.2](#), [6.5.5.5](#), [6.6.1.1](#) - [6.7.3.40](#), [6.9.6](#), [6.9.7](#), [6.10.2.1](#)), [приложения Е, Ж](#).

13. [СП 124.13330.2012](#) "СНиП 41-02-2003 "Тепловые сети". [Разделы 1, 5 \(пункт 5.5\), 6 \(пункты 6.1 - 6.10, 6.25 - 6.34\), 9, 10, 12, 13, 15 - 17](#).

14. [СП 131.13330.2012](#) "СНиП 23-01-99*" "Строительная климатология". [Разделы 1, 3 - 13](#).

3.2 Стадийность проектирования и назначение стадий проекта

3.2.1 Нормативные документы, определяющие стадийность и состав проекта

Федеральные законы, являющиеся основанием для разработки проектно-сметной документации на территории РФ:

- Градостроительный кодекс Российской Федерации,
- Земельный кодекс РСФСР;
- Водный кодекс Российской Федерации;
- Федеральный закон от 17.11.95 № 169-ФЗ "Об архитектурной деятельности в Российской Федерации"; Закон РСФСР от 15.12.78 «Об охране и использовании памятников истории и культуры»;
- Федеральный закон от 25.22.99 № 39-ФЗ "Об инвестиционной деятельности в Российской Федерации, осуществляемой в форме капитальных вложений";
- Федеральный закон от 30.03.99 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; Федеральный закон «Об охране атмосферного воздуха»;
- Федеральный закон «Об охране особо охраняемых территорий»;

- Федеральный закон «О животном мире»;
- Закон РСФСР от 19.12.91 № 2060-1 (в редакции от 02.06.93) "Об охране окружающей природной среды"¹¹; Федеральный закон от 23.11.95 № 174-ФЗ «Об экологической экспертизе»;
- Федеральный закон от 21.12.94 № 69-ФЗ "О пожарной безопасности";
- Закон Российской Федерации от 09.07.93 № 5351-1 «Об авторском праве и смежных правах»

В Российской Федерации для подготовки проектной документации следует руководствоваться Градостроительным кодексом Российской Федерации (ст. 48, 49) и Постановлением Правительства Российской Федерации № 87 от 16 февраля 2008 г. «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

Рассмотрим подробно постановление Правительства Российской Федерации № 87 от 16 февраля 2008 г. «Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».

Настоящее Положение устанавливает состав разделов проектной документации и требования к содержанию этих разделов:

а) при подготовке проектной документации на различные виды объектов капитального строительства;

б) при подготовке проектной документации в отношении отдельных этапов строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства (далее - строительство).

2. В целях настоящего Положения объекты капитального строительства в зависимости от функционального назначения и характерных признаков подразделяются на следующие виды:

а) объекты производственного назначения (здания, строения, сооружения производственного назначения, в том числе объекты обороны и безопасности), за исключением линейных объектов;

б) объекты непромышленного назначения (здания, строения, сооружения жилищного фонда, социально-культурного и коммунально-бытового назначения, а также иные объекты капитального строительства непромышленного назначения);

в) линейные объекты (трубопроводы, автомобильные и железные дороги, линии электропередачи и др.).

3. Проектная документация состоит из текстовой и графической частей.

Текстовая часть содержит сведения в отношении объекта капитального строительства, описание принятых технических и иных решений, пояснения, ссылки на нормативные и (или) технические документы, используемые при подготовке проектной документации и результаты расчетов, обосновывающие принятые решения.

Графическая часть отображает принятые технические и иные решения и выполняется в виде чертежей, схем, планов и других документов в графической форме.

Подготовка проектной документации должна осуществляться в соответствии с законодательством Российской Федерации о государственной тайне.

4. В целях реализации в процессе строительства архитектурных, технических и технологических решений, содержащихся в проектной документации на объект капитального строительства, разрабатывается рабочая документация, состоящая из документов в текстовой форме, рабочих чертежей, спецификации оборудования и изделий.

5. В случае если для разработки проектной документации на объект капитального строительства недостаточно требований по надежности и безопасности, установленных нормативными техническими документами, или такие требования не установлены, разработке документации должны предшествовать разработка и утверждение в установленном порядке специальных технических условий.

Порядок разработки и согласования специальных технических условий устанавливается Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации по согласованию с федеральными органами исполнительной власти, осуществляющими функции по нормативно-правовому регулированию в соответствующих сферах деятельности.

6. Правила выполнения и оформления текстовых и графических материалов, входящих в состав проектной и рабочей документации, устанавливаются Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации.

Разделы 6, 11, 5 и 9 проектной документации, требования к содержанию которых устанавливаются соответственно пунктами 23, 27(1) - 31, 38 и 42 настоящего Положения, разрабатываются в полном объеме для объектов капитального строительства, финансируемых полностью или частично за счет средств соответствующих бюджетов. Во всех остальных случаях необходимость и объем разработки указанных разделов определяются заказчиком и указываются в задании на проектирование.

Необходимость разработки проектной документации на объект капитального строительства применительно к отдельным этапам строительства устанавливается заказчиком и указывается в задании на проектирование.

Возможность подготовки проектной документации в отношении отдельных этапов строительства должна быть обоснована расчетами,

подтверждающими технологическую возможность реализации принятых проектных решений при осуществлении строительства по этапам.

Проектная документация в отношении отдельного этапа строительства разрабатывается в объеме, необходимом для осуществления этого этапа строительства. Указанная документация должна отвечать требованиям к составу и содержанию разделов проектной документации, установленным настоящим Положением для объектов капитального строительства.

В целях настоящего Положения под этапом строительства понимается строительство одного из объектов капитального строительства, строительство которого планируется осуществить на одном земельном участке, если такой объект может быть введен в эксплуатацию и эксплуатироваться автономно, то есть независимо от строительства иных объектов капитального строительства на этом земельном участке, а также строительство части объекта капитального строительства, которая может быть введена в эксплуатацию и эксплуатироваться автономно, то есть независимо от строительства иных частей этого объекта капитального строительства.

В отношении метрополитена под этапом строительства также понимается комплекс работ по организации строительства, включающий в себя строительство временных зданий и сооружений, проходку шахтных стволов с подходными выработками, оснащение горных комплексов, сооружение и оснащение стартовых котлованов для щитовой проходки тоннелей.

В отношении автомобильных дорог и объектов капитального строительства инфраструктуры железнодорожного транспорта (в том числе высокоскоростного) под этапом строительства также понимается комплекс работ по подготовке территории строительства, включающий в себя оформление прав владения и пользования на земельные участки, необходимые для размещения автомобильной дороги и объектов инфраструктуры

железнодорожного транспорта (в том числе высокоскоростного), снос зданий, строений и сооружений, переустройство (перенос) инженерных коммуникаций, вырубку леса, проведение археологических раскопок в пределах территории строительства, разминирование территории строительства и другие работы.

В отношении морских и речных портов под этапом строительства понимается комплекс работ по строительству объектов инфраструктуры морского или речного порта общепортового назначения, в состав которых полностью или частично входят портовые гидротехнические сооружения, внутренние рейды, якорные стоянки, средства навигационного оборудования и другие объекты навигационно-гидрографического обеспечения морских путей, системы управления движением судов, железнодорожные и автомобильные подъездные пути, линии связи, устройства тепло-, газо-, водо- и электроснабжения, инженерные коммуникации, искусственные земельные участки, строительство которых необходимо для функционирования морских терминалов, перегрузочных комплексов.

Схема градостроительной деятельности на объекте:

- Замысел Клиента
- Предпроектная подготовка строительства
- Проектная подготовка строительства
- Строительство объекта

3.2.2 Этапы предпроектной и проектной подготовки строительства

Предпроектная подготовка. Перед тем как делать проект, необходимо выполнить предпроектные проработки в соответствии с требованиями законодательства. Только после этого можно получить разрешение на осуществление градостроительной деятельности.

Результатом этапа предпроектной подготовки будет комплект исходно-разрешительной документации, которая является основанием для оформления разрешения на осуществление градостроительной деятельности.

ИРД включает:

- основание для оформления ИРД;
- кадастровую справку;
- градостроительное обоснование размещения объекта;
- градостроительное заключение в составе:
 - эскиза № 1;
 - заключения по обследованию объекта недвижимости;
 - заключения по условиям проектирования;
 - заключения согласующих организации;
 - заключения по инженерному обеспечению объекта.

Исходно-разрешительная документация по объектам нового строительства и реконструкции подлежит регистрации в службе Государственного градостроительного кадастра. Основанием для получения права на строительство или реконструкцию является разрешение комитета по градостроительству и архитектуре на проектирование и строительство, оформленное в соответствии с комплектом ИРД.

Проектная подготовка строительства включает в себя:

- разработку, согласование и утверждение архитектурно-градостроительного - архитектурного проекта (данная работа может выполняться как самостоятельный этап, так и при разработке проектной документации);
- разработку (согласование, экспертизу и утверждение проектной документации - проекта, утверждаемой части рабочего проекта,
- разработку рабочей документации.

Результатом предпроектной и проектной подготовки строительства является утверждение проекта, получение Разрешения на производство строительных работ.

Задание на проектирование – обязательная часть исходной документации, утверждаемая заказчиком и определяющая характер и объем выполнения архитектурно-градостроительной деятельности по объекту, включающая весь комплекс основных требований и условий исходно-разрешительной документации. Задание на проектирование согласовывается и утверждается до начала проектирования.

Архитектурно-градостроительное решение объекта разрабатывается на основании задания на проектирование в соответствии с требованиями исходно-разрешительной документации и утверждается комитетом по градостроительству и архитектуре. Может разрабатываться как отдельный этап проектирования, так и в составе проектной документации – в зависимости от решения заказчика и проектировщика.

Рабочая документация – документация, разработанная на основании утвержденной проектной документации и предназначенная для проведения строительных работ.

3.2.3 Стадийность проектирования

Стадийность проектирования объекта устанавливается Заказчиком совместно с Проектировщиком в Задании на проектирование.

Рекомендуемая стадийность проектирования в зависимости от категории сложности объекта:

- Двустадийный - Проект, РД - для объектов V, IV и III категорий сложности по индивидуальным проектам (Нормальный уровень ответственности);

- Одностадийный - Рабочий проект (утверждаемая часть и РД) - для объектов III - I категорий сложности (Пониженный уровень ответственности), а также для объектов, строящихся по типовым и повторно применяемым проектам.

- Решением Архитектурного совета Москомархитектуры объект может быть отнесен к числу уникальных (Повышенный уровень ответственности), с установлением особого порядка проектирования и определения его стоимости с учетом: 1. расположения объекта на особо значимой в градостроительном отношении территории; 2. особой социальной значимости объекта; 3. особой технической сложности

Постановление от 16 февраля 2008 г. N 87 устанавливает состав разделов проектной документации и требования к содержанию этих разделов:

- а) при подготовке проектной документации на различные виды объектов капитального строительства;

- б) при подготовке проектной документации в отношении отдельных этапов строительства, реконструкции и капитального ремонта объектов капитального строительства (далее - строительство).

В целях настоящего Постановления объекты капитального строительства в зависимости от функционального назначения и характерных признаков подразделяются на следующие виды:

- а) объекты производственного назначения (здания, строения, сооружения производственного назначения, в том числе объекты обороны и безопасности), за исключением линейных объектов;

- б) объекты непромышленного назначения (здания, строения, сооружения жилищного фонда, социально-культурного и коммунально-бытового назначения, а также иные объекты капитального строительства непромышленного назначения);

в) линейные объекты (трубопроводы, автомобильные и железные дороги, линии электропередачи и др.).

Проектная документация состоит из текстовой и графической частей.

Текстовая часть содержит сведения в отношении объекта капитального строительства, описание принятых технических и иных решений, пояснения, ссылки на нормативные и (или) технические документы, используемые при подготовке проектной документации и результаты расчетов, обосновывающие принятые решения.

Графическая часть отображает принятые технические и иные решения и выполняется в виде чертежей, схем, планов и других документов в графической форме.

Подготовка проектной документации должна осуществляться в соответствии с законодательством Российской Федерации о государственной тайне.

В целях реализации в процессе строительства архитектурных, технических и технологических решений, содержащихся в проектной документации на объект капитального строительства, разрабатывается рабочая документация, состоящая из документов в текстовой форме, рабочих чертежей, спецификации оборудования и изделий.

3.3 Согласование и экспертиза проекта

Все проекты, разрабатываемые для строительства на территории РФ, подлежат согласованию в надзорных и эксплуатирующих органах, а также рассмотрению в экспертизе до утверждения проекта Заказчиком. В стране разработана целая система рассмотрения утверждаемой части проекта в органах согласования и экспертизы.

Законодательной базой для этой работы являются законы РФ (например Градостроительный Кодекс РФ), Постановления правительства РФ, например Постановление от 5 марта 2007 г. n 145 о порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий и постановления региональных органов управления.

Этими документами закреплены основные правила и порядок работы органов экспертизы и государственного надзора.

Объем материалов, представляемых на согласование зависит от вида задач, решаемых при данном согласовании.

После получения согласований проекта в инстанциях проектно-сметная документация подлежит передаче на рассмотрение в органы Государственной вневедомственной экспертизы. Состав проектной документации, передаваемой на рассмотрение экспертизы оговорен постановлением №145 и документами органа экспертизы, устанавливающим правила сдачи, оформления и количество экземпляров.

3.3.1 Разрешение на строительство

Необходимость получения разрешения на строительство определена требованиями ст.51 Градостроительного Кодекса РФ и Законом г. Москвы от 09.07.2003 №50.

Градостроительный Кодекс определяет разрешение на строительство следующим образом: «Разрешение на строительство представляет собой документ, подтверждающий соответствие проектной документации требованиям градостроительного плана земельного участка и дающий застройщику право осуществлять строительство, реконструкцию объектов капитального строительства, а также их капитальный ремонт.»

Строительство или реконструкция без разрешения на строительство запрещается.

Выдача разрешения на строительство не требуется в случае:

- строительства гаража на земельном участке, предоставленном физическому лицу для целей, не связанных с осуществлением предпринимательской деятельности, или строительства на земельном участке, предоставленном для ведения садоводства, дачного хозяйства;
- строительства, реконструкции объектов, не являющихся объектами капитального строительства (киосков, навесов и других);
- строительства на земельном участке строений и сооружений вспомогательного использования;
- изменения объектов капитального строительства и (или) их частей, если такие изменения не затрагивают конструктивные и другие характеристики их надежности и безопасности и не превышают предельные параметры разрешенного строительства, реконструкции, установленные градостроительным регламентом;
- иных случаях, если в соответствии с Градостроительным Кодексом, законодательством субъектов Российской Федерации о градостроительной деятельности получение разрешения на строительство не требуется.

3.3.2 Государственная экспертиза

- это экспертиза проектной документации, на объекты которых выделены денежные средства из федерального, областного или муниципального бюджета, а также проектная документация объектов, которые предполагается осуществлять на землях особо охраняемых природных территорий и т.д.

Регулирует работу Государственной экспертизы Постановление от 5 марта 2007 г. N 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

Предметом государственной экспертизы проектной документации является оценка ее соответствия требованиям технических регламентов, в том числе санитарно-эпидемиологическим, экологическим требованиям, требованиям государственной охраны объектов культурного наследия, требованиям пожарной, промышленной, ядерной, радиационной и иной безопасности, а также результатам инженерных изысканий. Предметом государственной экспертизы результатов инженерных изысканий является оценка их соответствия требованиям технических регламентов.

Государственной экспертизе подлежат все разделы проектной документации и (или) результаты инженерных изысканий, которые в соответствии с законодательством Российской Федерации представляются для проведения государственной экспертизы.

Организация по проведению государственной экспертизы вправе дополнительно истребовать от заявителя представления расчетов конструктивных и технологических решений, используемых в проектной документации, а также материалов инженерных изысканий. Указанные расчеты и материалы должны представляться заявителем в 5-дневный срок после получения соответствующего запроса. Не допускается истребование от заявителей иных сведений и документов.

Представление в электронной форме документов осуществляется с использованием в том числе федеральной государственной информационной системы "Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)". В договоре о проведении государственной экспертизы может быть

предусмотрено, что проектная документация и (или) результаты инженерных изысканий могут представляться также в электронной форме.

Проектная документация на объект капитального строительства может представляться применительно к отдельным этапам строительства, реконструкции объекта капитального строительства.

В случае если проектная документация и результаты инженерных изысканий подлежат государственной экспертизе органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации документы, необходимые для проведения государственной экспертизы, представляются в организацию по проведению государственной экспертизы субъекта Российской Федерации по месту расположения земельного участка, на котором предполагается осуществлять строительство, реконструкцию или капитальный ремонт объекта капитального строительства.

Проверка документов, представленных для проведения государственной экспертизы:

Организация по проведению государственной экспертизы в течение 3 рабочих дней со дня получения от заявителя документов осуществляет их проверку.

В этот срок (3 дня) заявителю представляется (направляется) проект договора с расчетом размера платы за проведение государственной экспертизы, подписанный со стороны организации по проведению государственной экспертизы, либо мотивированный отказ в принятии документов, представленных для проведения государственной экспертизы, или в отношении указанных документов принимается решение об оставлении их без рассмотрения.

В случае если недостатки в представленных на бумажном носителе документах или предоставленные в электронном виде, послужившие основанием для отказа в принятии документов на государственную экспертизу, можно устранить без возврата документов и заявитель не настаивает на их возврате, организация по проведению экспертизы устанавливает срок для устранения таких недостатков, который не должен превышать 30 дней.

Проведение государственной экспертизы начинается после представления заявителем документов, подтверждающих внесение платы за проведение государственной экспертизы в соответствии с договором, и завершается направлением (вручением) заявителю заключения государственной экспертизы.

Срок проведения государственной экспертизы не должен превышать 60 дней.

Срок может быть продлен по инициативе заявителя не более чем на 30 дней в порядке, установленном договором.

При проведении государственной экспертизы проектной документации может осуществляться оперативное внесение изменений в проектную документацию в порядке, установленном договором.

Результат государственной экспертизы. Выдача заявителю заключения государственной экспертизы, содержащее выводы о соответствии (положительное заключение) или несоответствии (отрицательное заключение).

При выявлении в проектной документации и (или) результатах инженерных изысканий в процессе проведения государственной экспертизы недостатков (отсутствие (неполнота) сведений, описаний, расчетов, чертежей, схем и т.п.), которые не позволяют сделать выводы, организация по проведению государственной экспертизы незамедлительно уведомляет заявителя о выявленных недостатках и устанавливает при необходимости срок

для их устранения. В случае если выявленные недостатки невозможно устранить в процессе государственной экспертизы или заявитель в установленный срок их не устранил, организация по проведению государственной экспертизы вправе отказаться от дальнейшего проведения экспертизы и поставить вопрос о досрочном расторжении договора, о чем письменно уведомит заявителя с указанием мотивов принятого решения.

Проектная документация не может быть утверждена застройщиком или техническим заказчиком при наличии отрицательного заключения государственной экспертизы проектной документации.

Отрицательное заключение государственной экспертизы может быть оспорено застройщиком или техническим заказчиком в судебном порядке.

В случае несогласия с заключением государственной экспертизы проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий застройщик, технический заказчик или их представитель в течение 3 лет со дня утверждения такого заключения вправе обжаловать его в экспертной комиссии. Решение такой экспертной комиссии о подтверждении или неподтверждении заключения государственной экспертизы является обязательным для органа или организации, которые провели государственную экспертизу проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий, застройщика и технического заказчика.

Информация, содержащаяся в реестре выданных заключений государственной экспертизы, является открытой и предоставляется любому лицу в течение 10 дней с даты получения организацией по проведению государственной экспертизы письменного запроса.

При проведении государственной экспертизы открывается дело государственной экспертизы. Дела государственной экспертизы относятся к

архивным документам постоянного хранения. Их уничтожение, а также исправление и (или) изъятие находящихся в них документов не допускаются.

В случае утраты заключения государственной экспертизы заявитель вправе получить в организации по проведению государственной экспертизы дубликат этого заключения. Выдача дубликата осуществляется бесплатно в течение 10 дней с даты получения указанной организацией письменного обращения.

3.3.3 Негосударственная экспертиза

Градостроительный кодекс РФ предписал возможность проведения негосударственной экспертизы проектной документации. Негосударственная экспертиза имеет более широкий спектр услуг и делает все работы, связанные с экспертизой по принципу «единого окна». Обращаясь к эксперту и заключая с ним договор, заказчик получает заключение по всем нормативным актам, предусмотренным законодательством. Кроме того, все недостатки в заключении, сопровождаются комментариями по их устранению. Что касается сроков и стоимости негосударственной экспертизы, то они более гибки и менее затратны по сравнению с государственной экспертизой. Принимая решение воспользоваться негосударственной экспертизой следует убедиться в аккредитации организации.

3.4 Разработка рабочей документации

Разработка рабочей документации на строительство может осуществляться двумя способами:

- Разработка РД по договору подряда «под ключ» (проектирование и строительство);
- Разработка РД по прямому договору на проектирование.

Основанием для разработки рабочей документации всегда является согласованная и утвержденная проектная документация стадии Проект.

При обнаружении необходимости во внесении изменений в согласованное на стадии Проект решение следует иметь ввводу требование Градостроительного Кодекса об обязательном прохождении согласования и утверждения измененного решения, что потребует значительных затрат времени и ресурсов.

Объем информации, представляемой в каждом пакете рабочей документации, должен быть достаточно полным для выполнения соответствующих строительных работ на площадке и не вызывающим дополнительных вопросов у Подрядчика.

При разработке рабочей документации следует иметь в виду, что некоторые разделы РД требуют согласования в эксплуатирующих организациях. Например, РД на все виды внешних сетей, РД на внутренние инженерные коммуникации и системы пожарной безопасности, РД на технологические решения.

ГОСТ Р 21.1101-2013 «Система проектной документации для строительства (СПДС). Основные требования к проектной и рабочей документации» устанавливает основные требования к проектной и рабочей документации для строительства объектов различного назначения.

В состав рабочей документации, передаваемой заказчику, включают:

- рабочие чертежи, объединенные в основные комплекты рабочих чертежей по маркам.

Таблица 3.1.

Рабочие чертежи, объединенные в основные комплекты рабочих чертежей по маркам

Наименование основного комплекта рабочих чертежей	Марка	Примечание
Генеральный план и сооружения транспорта	ГТ	При объединении рабочих чертежей генерального плана и сооружений транспорта

Генеральный план	ГП	-
Автомобильные дороги	АД	-
Железнодорожные пути	ПЖ	-
Сооружения транспорта	ТР	При объединении рабочих чертежей автомобильных, железных и других дорог
Архитектурно-строительные решения	АС	При объединении рабочих чертежей архитектурных и конструктивных решений (кроме КМ)
Архитектурные решения	АР	-
Интерьеры	АИ	Рабочие чертежи могут быть объединены с основным комплектом марки АР или АС
Конструкции железобетонные	КЖ	-
Конструкции металлические	КМ	-
Конструкции металлические детализовочные	КМД	-
Конструкции деревянные	КД	-
Гидротехнические решения	ГР	-
Антикоррозионная защита конструкций зданий сооружений	АЗ	-
Электроснабжение	ЭС	-
Наружное электроосвещение	ЭН	-
Силовое электрооборудование	ЭМ	-
Электрическое освещение (внутреннее)	ЭО	-
Наружные сети водоснабжения	НБ	-
Наружные сети канализации	НК	-
Наружные сети водоснабжения и канализации	НБК	При объединении рабочих чертежей наружных сетей водоснабжения и канализации
Внутренние системы водоснабжения и канализации	БК	-
Пожаротушение	ПТ	-
Отопление, вентиляция и кондиционирование	ОБ	-
Воздухоснабжение	ВС	-
Пылеудаление	ПУ	-
Холодоснабжение	ХС	-
Тепломеханические решения	ТМ	Котельных, ТЭЦ и т.п.
Тепломеханические решения тепловых сетей	ТС	-

Радиосвязь, радиовещание и телевидение	РТ	-
Пожарная сигнализация	ПС	-
Охранная и охранно-пожарная сигнализация	ОС	-
Наружные газопроводы	ГСН	-
Газоснабжение (внутренние устройства)	ГСВ	-
Технология производства	ТХ	-
Технологические коммуникации	ТК	При объединении рабочих чертежей всех технологических коммуникаций
Антикоррозионная защита технологических аппаратов газопроводов и трубопроводов	АЗО	-
Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов	ТИ	--
Автоматизация комплексная	АК	При объединении рабочих чертежей автоматизации различных технологических процессов и инженерных систем

• прилагаемые документы, разработанные в дополнение к рабочим чертежам основного комплекта.

В состав основных комплектов рабочих чертежей включают общие данные по рабочим чертежам, чертежи и схемы, предусмотренные соответствующими стандартами СПДС.

Каждому основному комплекту рабочих чертежей присваивают обозначение, в состав которого включают базовое обозначение, устанавливаемое по действующей в организации системе, и через дефис - марку основного комплекта.

Например: 2345-12-ОВ,

где 2345-12 - базовое обозначение. В базовое обозначение включают, например, номер договора (контракта) и/или код объекта строительства, а также номер здания или сооружения по генеральному плану;

ОВ - марка основного комплекта рабочих чертежей.

К прилагаемым документам относят:

- рабочую документацию на строительные изделия;
- эскизные чертежи общих видов нетиповых изделий
- спецификацию оборудования, изделий и материалов
- опросные листы и габаритные чертежи, выполняемые в соответствии с данными изготовителей (поставщиков) оборудования;
- локальную смету;
- другие документы

Конкретный состав прилагаемых документов и необходимость их выполнения устанавливаются соответствующими стандартами СПДС и заданием на проектирование.

Прилагаемые документы проектная организация передает заказчику одновременно с основным комплектом рабочих чертежей.

Каждому прилагаемому документу присваивают обозначение основного комплекта с добавлением через точку шифра прилагаемого документа.

Таблица 3.2.

Шифры прилагаемых документов

Наименование прилагаемого документа	Шифр
Спецификация оборудования, изделий и материалов	С
Эскизный чертеж общего вида нетипового изделия	н
Рабочий чертеж строительного изделия	и
Опросный лист, габаритный чертеж	ОЛ
Локальная смета	ЛС
Расчеты*	РР

Например: 2345-12-ОВ.С,

где 2345-12-ОВ - обозначение основного комплекта рабочих чертежей; С - шифр спецификации оборудования, изделий и материалов.

В рабочих чертежах допускается применять типовые строительные конструкции, изделия и узлы путем ссылок на документы, содержащие рабочие чертежи этих конструкций и изделий. К ссылочным документам относят:

- стандарты, в состав которых включены чертежи, предназначенные для изготовления изделий;
- чертежи типовых конструкций, изделий и узлов.

Ссылочные документы в состав рабочей документации, передаваемой заказчику, не входят. Проектная организация при необходимости передает их заказчику по отдельному договору.

Копии текстовых и графических материалов проектной документации и отчетной технической документации по инженерным изысканиям брошюруют в тома, сложенными на формат А4 [ГОСТ 2.301](#).

Под брошюровкой понимается размещение материалов проектной документации на бумажном носителе в переплетах или в твердых папках с легкоразъемными креплениями (замками).

Каждый документ, том или альбом, предназначенный для брошюровки, а также папку со сложенными в нее документами оформляют обложкой.

Обложку не нумеруют и не включают в общее количество листов.

Титульные листы томов проектной документации оформляют подписями:

- руководителя или главного инженера организации;
- лица, ответственного за подготовку проектной документации, например главного инженера (архитектора) проекта.

3.4.1 Состав разделов проектной документации на объекты капитального строительства производственного и непромышленного назначения и требования к содержанию этих разделов

Проектная документация на объекты капитального строительства производственного и непромышленного назначения состоит из 12 разделов.

Раздел 1 "Пояснительная записка" должен содержать:

в текстовой части

а) реквизиты одного из следующих документов, на основании которого принято решение о разработке проектной документации:

федеральная целевая программа, программа развития субъекта Российской Федерации, комплексная программа развития муниципального образования, ведомственная целевая программа и другие программы;

решение Президента Российской Федерации, Правительства Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления в соответствии с их полномочиями;

решение застройщика;

б) исходные данные и условия для подготовки проектной документации на объект капитального строительства. В пояснительной записке указываются реквизиты следующих документов:

задание на проектирование - в случае подготовки проектной документации на основании договора;

отчетная документация по результатам инженерных изысканий;

правоустанавливающие документы на объект капитального строительства - в случае подготовки проектной документации для проведения реконструкции или капитального ремонта объекта капитального строительства;

утвержденный и зарегистрированный в установленном порядке градостроительный план земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства;

документы об использовании земельных участков, на которые действие градостроительных регламентов не распространяется или для которых градостроительные регламенты не устанавливаются, выданные в соответствии с федеральными законами уполномоченными федеральными органами исполнительной власти, или уполномоченными органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, или уполномоченными органами местного самоуправления;

технические условия, предусмотренные частью 7 статьи 48 Градостроительного кодекса Российской Федерации и иными нормативными правовыми актами, если функционирование проектируемого объекта капитального строительства невозможно без его подключения к сетям инженерно-технического обеспечения общего пользования (далее - технические условия);

документы о согласовании отступлений от положений технических условий;

разрешение на отклонения от предельных параметров разрешенного строительства объектов капитального строительства;

акты (решения) собственника здания (сооружения, строения) о выведении из эксплуатации и ликвидации объекта капитального строительства - в случае необходимости сноса (демонтажа);

иные исходно-разрешительные документы, установленные законодательными и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации, в том числе техническими и градостроительными регламентами;

решение органа местного самоуправления о признании жилого дома аварийным и подлежащим сносу - при необходимости сноса жилого дома;

обоснование безопасности опасного производственного объекта в случаях, предусмотренных частью 4 статьи 3 Федерального закона "О промышленной безопасности опасных производственных объектов", и положительное заключение экспертизы промышленной безопасности такого обоснования, внесенное в реестр заключений экспертизы промышленной безопасности;

в) сведения о функциональном назначении объекта капитального строительства, состав и характеристику производства, номенклатуру выпускаемой продукции (работ, услуг);

г) сведения о потребности объекта капитального строительства в топливе, газе, воде и электрической энергии;

д) данные о проектной мощности объекта капитального строительства - для объектов производственного назначения;

е) сведения о сырьевой базе, потребности производства в воде, топливно-энергетических ресурсах - для объектов производственного назначения;

ж) сведения о комплексном использовании сырья, вторичных энергоресурсов, отходов производства - для объектов производственного назначения;

ж(1)) сведения об использовании возобновляемых источников энергии и вторичных энергетических ресурсов;

з) сведения о земельных участках, изымаемых для государственных или муниципальных нужд, о земельных участках, в отношении которых устанавливается сервитут, публичный сервитут, обоснование их размеров, если такие размеры не установлены нормами отвода земель для конкретных видов деятельности, или правилами землепользования и застройки, или проектами

планировки, проектами межевания территории, - при необходимости изъятия земельного участка для государственных или муниципальных нужд, установления сервитута, публичного сервитута;

и) сведения о категории земель, на которых располагается (будет располагаться) объект капитального строительства;

к) сведения о размере средств, требующихся для возмещения правообладателям земельных участков и (или) расположенных на таких земельных участках объектов недвижимого имущества, - в случае их изъятия для государственных или муниципальных нужд;

к(1)) сведения о размере средств, требующихся для возмещения правообладателям земельных участков и (или) расположенных на таких земельных участках объектов недвижимого имущества убытков и (или) в качестве платы правообладателям земельных участков, - в случае установления сервитута, публичного сервитута в отношении таких земельных участков;

л) сведения об использованных в проекте изобретениях, результатах проведенных патентных исследований;

м) технико-экономические показатели проектируемых объектов капитального строительства;

н) сведения о наличии разработанных и согласованных специальных технических условий - в случае необходимости разработки таких условий;

о) данные о проектной мощности объекта капитального строительства, значимости объекта капитального строительства для поселений (муниципального образования), а также о численности работников и их профессионально-квалификационном составе, числе рабочих мест (кроме жилых зданий) и другие данные, характеризующие объект капитального строительства, - для объектов непромышленного назначения;

п) сведения о компьютерных программах, которые использовались при выполнении расчетов конструктивных элементов зданий, строений и сооружений;

р) обоснование возможности осуществления строительства объекта капитального строительства по этапам строительства с выделением этих этапов (при необходимости);

с) сведения о предполагаемых затратах, связанных со сносом зданий и сооружений, переселением людей, переносом сетей инженерно-технического обеспечения (при необходимости);

т) заверение проектной организации о том, что проектная документация разработана в соответствии с градостроительным планом земельного участка, заданием на проектирование, градостроительным регламентом, документами об использовании земельного участка для строительства (в случае если на земельный участок не распространяется действие градостроительного регламента или в отношении его не устанавливается градостроительный регламент), техническими регламентами, в том числе устанавливающими требования по обеспечению безопасной эксплуатации зданий, строений, сооружений и безопасного использования прилегающих к ним территорий, и с соблюдением технических условий.

11. Документы (копии документов, оформленные в установленном порядке) должны быть приложены к пояснительной записке в полном объеме.

Раздел 2 "Схема планировочной организации земельного участка" должен содержать:

в текстовой части

а) характеристику земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства;

б) обоснование границ санитарно-защитных зон объектов капитального строительства в пределах границ земельного участка - в случае необходимости определения указанных зон в соответствии с законодательством Российской Федерации;

в) обоснование планировочной организации земельного участка в соответствии с градостроительным и техническим регламентами либо документами об использовании земельного участка (если на земельный участок не распространяется действие градостроительного регламента или в отношении его не устанавливается градостроительный регламент);

г) технико-экономические показатели земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства;

д) обоснование решений по инженерной подготовке территории, в том числе решений по инженерной защите территории и объектов капитального строительства от последствий опасных геологических процессов, паводковых, поверхностных и грунтовых вод;

е) описание организации рельефа вертикальной планировкой;

ж) описание решений по благоустройству территории;

з) зонирование территории земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства, обоснование функционального назначения и принципиальной схемы размещения зон, обоснование размещения зданий и сооружений (основного, вспомогательного, подсобного, складского и обслуживающего назначения) объектов капитального строительства - для объектов производственного назначения;

и) обоснование схем транспортных коммуникаций, обеспечивающих внешние и внутренние (в том числе межцеховые) грузоперевозки, - для объектов производственного назначения;

к) характеристику и технические показатели транспортных коммуникаций (при наличии таких коммуникаций) - для объектов производственного назначения;

л) обоснование схем транспортных коммуникаций, обеспечивающих внешний и внутренний подъезд к объекту капитального строительства, - для объектов непроизводственного назначения;

в графической части

м) схему планировочной организации земельного участка с отображением:

мест размещения существующих и проектируемых объектов капитального строительства с указанием существующих и проектируемых подъездов и подходов к ним;

границ зон действия публичных сервитутов (при их наличии);

зданий и сооружений объекта капитального строительства, подлежащих сносу (при их наличии);

решений по планировке, благоустройству, озеленению и освещению территории;

этапов строительства объекта капитального строительства;

схемы движения транспортных средств на строительной площадке;

н) план земляных масс;

о) сводный план сетей инженерно-технического обеспечения с обозначением мест подключения проектируемого объекта капитального строительства к существующим сетям инженерно-технического обеспечения;

п) ситуационный план размещения объекта капитального строительства в границах земельного участка, предоставленного для размещения этого объекта, с указанием границ населенных пунктов, непосредственно примыкающих к границам указанного земельного участка, границ зон с особыми условиями их использования, предусмотренных Градостроительным кодексом Российской Федерации, границ территорий, подверженных риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также с отображением проектируемых транспортных и инженерных коммуникаций с обозначением мест их присоединения к существующим транспортным и инженерным коммуникациям - для объектов производственного назначения.

Раздел 3 "Архитектурные решения" должен содержать:

в текстовой части

а) описание и обоснование внешнего и внутреннего вида объекта капитального строительства, его пространственной, планировочной и функциональной организации;

б) обоснование принятых объемно-пространственных и архитектурно-художественных решений, в том числе в части соблюдения предельных параметров разрешенного строительства объекта капитального строительства;

б(1)) обоснование принятых архитектурных решений в части обеспечения соответствия зданий, строений и сооружений установленным требованиям энергетической эффективности (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности не распространяются);

б(2)) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к архитектурным решениям, влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений и сооружений

(за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности не распространяются);

в) описание и обоснование использованных композиционных приемов при оформлении фасадов и интерьеров объекта капитального строительства;

г) описание решений по отделке помещений основного, вспомогательного, обслуживающего и технического назначения;

д) описание архитектурных решений, обеспечивающих естественное освещение помещений с постоянным пребыванием людей;

е) описание архитектурно-строительных мероприятий, обеспечивающих защиту помещений от шума, вибрации и другого воздействия;

ж) описание решений по светоограждению объекта, обеспечивающих безопасность полета воздушных судов (при необходимости);

з) описание решений по декоративно-художественной и цветовой отделке интерьеров - для объектов непромышленного назначения;

в графической части

и) отображение фасадов;

к) цветовое решение фасадов (при необходимости);

л) поэтажные планы зданий и сооружений с приведением экспликации помещений - для объектов непромышленного назначения;

м) иные графические и экспозиционные материалы, выполняемые в случае, если необходимость этого указана в задании на проектирование.

Раздел 4 "Конструктивные и объемно-планировочные решения" должен содержать:

в текстовой части

а) сведения о топографических, инженерно-геологических, гидрогеологических, метеорологических и климатических условиях земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства;

б) сведения об особых природных климатических условиях территории, на которой располагается земельный участок, предоставленный для размещения объекта капитального строительства;

в) сведения о прочностных и деформационных характеристиках грунта в основании объекта капитального строительства;

г) уровень грунтовых вод, их химический состав, агрессивность грунтовых вод и грунта по отношению к материалам, используемым при строительстве подземной части объекта капитального строительства;

д) описание и обоснование конструктивных решений зданий и сооружений, включая их пространственные схемы, принятые при выполнении расчетов строительных конструкций;

е) описание и обоснование технических решений, обеспечивающих необходимую прочность, устойчивость, пространственную неизменяемость зданий и сооружений объекта капитального строительства в целом, а также их отдельных конструктивных элементов, узлов, деталей в процессе изготовления, перевозки, строительства и эксплуатации объекта капитального строительства;

ж) описание конструктивных и технических решений подземной части объекта капитального строительства;

з) описание и обоснование принятых объемно-планировочных решений зданий и сооружений объекта капитального строительства;

и) обоснование номенклатуры, компоновки и площадей основных производственных, экспериментальных, сборочных, ремонтных и иных цехов, а также лабораторий, складских и административно-бытовых помещений, иных помещений вспомогательного и обслуживающего назначения - для объектов производственного назначения;

к) обоснование номенклатуры, компоновки и площадей помещений основного, вспомогательного, обслуживающего назначения и технического назначения - для объектов непромышленного назначения;

л) обоснование проектных решений и мероприятий, обеспечивающих:

соблюдение требуемых теплозащитных характеристик ограждающих конструкций;

снижение шума и вибраций;

гидроизоляцию и пароизоляцию помещений;

снижение загазованности помещений;

удаление избытков тепла;

соблюдение безопасного уровня электромагнитных и иных излучений, соблюдение санитарно-гигиенических условий;

пожарную безопасность;

соответствие зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности и требования оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются);

м) характеристику и обоснование конструкций полов, кровли, подвесных потолков, перегородок, а также отделки помещений;

н) перечень мероприятий по защите строительных конструкций и фундаментов от разрушения;

о) описание инженерных решений и сооружений, обеспечивающих защиту территории объекта капитального строительства, отдельных зданий и сооружений объекта капитального строительства, а также персонала (жителей) от опасных природных и техногенных процессов;

о(1)) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к конструктивным решениям, влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений и сооружений;

в графической части

п) поэтажные планы зданий и сооружений с указанием размеров и экспликации помещений;

р) чертежи характерных разрезов зданий и сооружений с изображением несущих и ограждающих конструкций, указанием относительных высотных отметок уровней конструкций, полов, низа балок, ферм, покрытий с описанием конструкций кровель и других элементов конструкций;

с) чертежи фрагментов планов и разрезов, требующих детального изображения;

т) схемы каркасов и узлов строительных конструкций;

у) планы перекрытий, покрытий, кровли;

ф) схемы расположения ограждающих конструкций и перегородок;

х) план и сечения фундаментов.

Раздел 5 "Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений" должен состоять из следующих подразделов:

- а) подраздел "Система электроснабжения";
- б) подраздел "Система водоснабжения";
- в) подраздел "Система водоотведения";
- г) подраздел "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети";
- д) подраздел "Сети связи";
- е) подраздел "Система газоснабжения";
- ж) подраздел "Технологические решения".

16. Подраздел "Система электроснабжения" раздела 5 должен содержать:

в текстовой части

- а) характеристику источников электроснабжения в соответствии с техническими условиями на подключение объекта капитального строительства к сетям электроснабжения общего пользования;
- б) обоснование принятой схемы электроснабжения, выбора конструктивных и инженерно-технических решений, используемых в системе электроснабжения, в части обеспечения соответствия зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования

энергетической эффективности и требования оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются);

в) сведения о количестве энергопринимающих устройств, об их установленной, расчетной и максимальной мощности;

г) требования к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии;

д) описание решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в соответствии с установленной классификацией в рабочем и аварийном режимах;

е) описание проектных решений по компенсации реактивной мощности, релейной защите, управлению, автоматизации и диспетчеризации системы электроснабжения;

ж) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к устройствам, технологиям и материалам, используемым в системе электроснабжения, позволяющих исключить нерациональный расход электрической энергии, и по учету расхода электрической энергии, если такие требования предусмотрены в задании на проектирование;

ж(1)) описание мест расположения приборов учета используемой электрической энергии и устройств сбора и передачи данных от таких приборов;

з) сведения о мощности сетевых и трансформаторных объектов;

и) решения по организации масляного и ремонтного хозяйства - для объектов производственного назначения;

к) перечень мероприятий по заземлению (занулению) и молниезащите;

л) сведения о типе, классе проводов и осветительной арматуры, которые подлежат применению при строительстве объекта капитального строительства;

м) описание системы рабочего и аварийного освещения;

н) описание дополнительных и резервных источников электроэнергии, в том числе наличие устройств автоматического включения резерва (с указанием одностороннего или двустороннего его действия);

о) перечень мероприятий по резервированию электроэнергии;

о(1)) перечень энергопринимающих устройств аварийной и (или) технологической брони и его обоснование;

в графической части

п) принципиальные схемы электроснабжения электроприемников от основного, дополнительного и резервного источников электроснабжения;

р) принципиальную схему сети освещения, в том числе промышленной площадки и транспортных коммуникаций, - для объектов производственного назначения;

с) принципиальную схему сети освещения - для объектов непроизводственного назначения;

т) принципиальную схему сети аварийного освещения;

у) схемы заземлений (занулений) и молниезащиты;

ф) план сетей электроснабжения;

х) схему размещения электрооборудования (при необходимости).

Подраздел "Система водоснабжения" раздела 5 должен содержать:

в текстовой части

а) сведения о существующих и проектируемых источниках водоснабжения;

б) сведения о существующих и проектируемых зонах охраны источников питьевого водоснабжения, водоохраных зонах;

в) описание и характеристику системы водоснабжения и ее параметров;

г) сведения о расчетном (проектном) расходе воды на хозяйственно-питьевые нужды, в том числе на автоматическое пожаротушение и техническое водоснабжение, включая оборотное;

д) сведения о расчетном (проектном) расходе воды на производственные нужды - для объектов производственного назначения;

е) сведения о фактическом и требуемом напоре в сети водоснабжения, проектных решениях и инженерном оборудовании, обеспечивающих создание требуемого напора воды;

ж) сведения о материалах труб систем водоснабжения и мерах по их защите от агрессивного воздействия грунтов и грунтовых вод;

з) сведения о качестве воды;

и) перечень мероприятий по обеспечению установленных показателей качества воды для различных потребителей;

к) перечень мероприятий по резервированию воды;

л) перечень мероприятий по учету водопотребления, в том числе по учету потребления горячей воды для нужд горячего водоснабжения;

м) описание системы автоматизации водоснабжения;

н) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к устройствам, технологиям и

материалам, используемым в системе холодного водоснабжения, позволяющих исключить нерациональный расход воды, если такие требования предусмотрены в задании на проектирование;

н(1)) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к устройствам, технологиям и материалам, используемым в системе горячего водоснабжения, позволяющих исключить нерациональный расход воды и нерациональный расход энергетических ресурсов для ее подготовки, если такие требования предусмотрены в задании на проектирование;

о) описание системы горячего водоснабжения;

п) расчетный расход горячей воды;

р) описание системы оборотного водоснабжения и мероприятий, обеспечивающих повторное использование тепла подогретой воды;

с) баланс водопотребления и водоотведения по объекту капитального строительства в целом и по основным производственным процессам - для объектов производственного назначения;

т) баланс водопотребления и водоотведения по объекту капитального строительства - для объектов непромышленного назначения;

т(1)) обоснование выбора конструктивных и инженерно-технических решений, используемых в системе водоснабжения, в части обеспечения соответствия зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности и требования оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются);

т(2)) описание мест расположения приборов учета используемой холодной и горячей воды и устройств сбора и передачи данных от таких приборов;

в графической части

у) принципиальные схемы систем водоснабжения объекта капитального строительства;

ф) план сетей водоснабжения.

Подраздел "Система водоотведения" раздела 5 должен содержать:

в текстовой части

а) сведения о существующих и проектируемых системах канализации, водоотведения и станциях очистки сточных вод;

б) обоснование принятых систем сбора и отвода сточных вод, объема сточных вод, концентраций их загрязнений, способов предварительной очистки, применяемых реагентов, оборудования и аппаратуры;

в) обоснование принятого порядка сбора, утилизации и захоронения отходов - для объектов производственного назначения;

г) описание и обоснование схемы прокладки канализационных трубопроводов, описание участков прокладки напорных трубопроводов (при наличии), условия их прокладки, оборудование, сведения о материале трубопроводов и колодцев, способы их защиты от агрессивного воздействия грунтов и грунтовых вод;

д) решения в отношении ливневой канализации и расчетного объема дождевых стоков;

е) решения по сбору и отводу дренажных вод;

в графической части

ж) принципиальные схемы систем канализации и водоотведения объекта капитального строительства;

з) принципиальные схемы прокладки наружных сетей водоотведения, ливнестоков и дренажных вод;

и) план сетей водоотведения.

Подраздел "Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха, тепловые сети" раздела 5 должен содержать:

в текстовой части

а) сведения о климатических и метеорологических условиях района строительства, расчетных параметрах наружного воздуха;

б) сведения об источниках теплоснабжения, параметрах теплоносителей систем отопления и вентиляции;

в) описание и обоснование способов прокладки и конструктивных решений, включая решения в отношении диаметров и теплоизоляции труб теплотрассы от точки присоединения к сетям общего пользования до объекта капитального строительства;

г) перечень мер по защите трубопроводов от агрессивного воздействия грунтов и грунтовых вод;

д) обоснование принятых систем и принципиальных решений по отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха помещений с приложением расчета совокупного выделения в воздух внутренней среды помещений химических веществ с учетом совместного использования строительных материалов, применяемых в проектируемом объекте капитального строительства, в соответствии с методикой, утверждаемой

Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации;

д(1)) обоснование энергетической эффективности конструктивных и инженерно-технических решений, используемых в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха помещений, тепловых сетях;

е) сведения о тепловых нагрузках на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение на производственные и другие нужды;

е(1)) описание мест расположения приборов учета используемой тепловой энергии и устройств сбора и передачи данных от таких приборов;

ж) сведения о потребности в паре;

з) обоснование оптимальности размещения отопительного оборудования, характеристик материалов для изготовления воздуховодов;

и) обоснование рациональности трассировки воздуховодов вентиляционных систем - для объектов производственного назначения;

к) описание технических решений, обеспечивающих надежность работы систем в экстремальных условиях;

л) описание систем автоматизации и диспетчеризации процесса регулирования отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;

м) характеристика технологического оборудования, выделяющего вредные вещества - для объектов производственного назначения;

н) обоснование выбранной системы очистки от газов и пыли - для объектов производственного назначения;

о) перечень мероприятий по обеспечению эффективности работы систем вентиляции в аварийной ситуации (при необходимости);

о(1)) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к устройствам, технологиям и материалам, используемым в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха помещений, тепловых сетях, позволяющих исключить нерациональный расход тепловой энергии, если такие требования предусмотрены в задании на проектирование;

в графической части

п) принципиальные схемы систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;

р) схему паропроводов (при наличии);

с) схему холодоснабжения (при наличии);

т) план сетей теплоснабжения.

Подраздел "Сети связи" раздела 5 должен содержать:

в текстовой части

а) сведения о емкости присоединяемой сети связи объекта капитального строительства к сети связи общего пользования;

б) характеристику проектируемых сооружений и линий связи, в том числе линейно-кабельных, - для объектов производственного назначения;

в) характеристику состава и структуры сооружений и линий связи;

г) сведения о технических, экономических и информационных условиях присоединения к сети связи общего пользования;

д) обоснование способа, с помощью которого устанавливаются соединения сетей связи (на местном, внутризонном и междугородном уровнях);

е) местоположения точек присоединения и технические параметры в точках присоединения сетей связи;

ж) обоснование способов учета трафика;

з) перечень мероприятий по обеспечению взаимодействия систем управления и технической эксплуатации, в том числе обоснование способа организации взаимодействия между центрами управления присоединяемой сети связи и сети связи общего пользования, взаимодействия систем синхронизации;

и) перечень мероприятий по обеспечению устойчивого функционирования сетей связи, в том числе в чрезвычайных ситуациях;

к) описание технических решений по защите информации (при необходимости);

л) характеристику и обоснование принятых технических решений в отношении технологических сетей связи, предназначенных для обеспечения производственной деятельности на объекте капитального строительства, управления технологическими процессами производства (систему внутренней связи, часофикацию, радиофикацию (включая локальные системы оповещения в районах размещения потенциально опасных объектов), системы телевизионного мониторинга технологических процессов и охранного теленаблюдения), - для объектов производственного назначения;

м) описание системы внутренней связи, часофикации, радиофикации, телевидения - для объектов непромышленного назначения;

н) обоснование применяемого коммутационного оборудования, позволяющего производить учет исходящего трафика на всех уровнях присоединения;

о) характеристику принятой локальной вычислительной сети (при наличии) - для объектов производственного назначения;

п) обоснование выбранной трассы линии связи к установленной техническими условиями точке присоединения, в том числе воздушных и подземных участков. Определение границ охранных зон линий связи исходя из особых условий пользования;

в графической части

р) принципиальные схемы сетей связи, локальных вычислительных сетей (при наличии) и иных слаботочных сетей на объекте капитального строительства;

с) планы размещения оконечного оборудования, иных технических, радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств (при наличии);

т) план сетей связи.

Подраздел "Система газоснабжения" раздела 5 должен содержать:

в текстовой части

а) сведения об оформлении решения (разрешения) об установлении видов и лимитов топлива для установок, потребляющих топливо, - для объектов производственного назначения;

б) характеристику источника газоснабжения в соответствии с техническими условиями;

в) сведения о типе и количестве установок, потребляющих топливо, - для объектов производственного назначения;

г) расчетные (проектные) данные о потребности объекта капитального строительства в газе - для объектов непроизводственного назначения;

е) описание технических решений по обеспечению учета и контроля расхода газа и продукции, вырабатываемой с использованием газа, в том числе

тепловой и электрической энергии, - для объектов производственного назначения;

ж) описание и обоснование применяемых систем автоматического регулирования и контроля тепловых процессов - для объектов производственного назначения;

з) описание технических решений по обеспечению учета и контроля расхода газа, применяемых систем автоматического регулирования - для объектов непромышленного назначения;

з(1)) описание мест расположения приборов учета используемого газа и устройств сбора и передачи данных от таких приборов;

и) описание способов контроля температуры и состава продуктов сгорания газа - для объектов производственного назначения;

к) описание технических решений по обеспечению теплоизоляции ограждающих поверхностей агрегатов и теплопроводов - для объектов производственного назначения;

л) перечень сооружений резервного топливного хозяйства - для объектов производственного назначения;

м) обоснование выбора маршрута прохождения газопровода и границ охранной зоны присоединяемого газопровода, а также сооружений на нем;

н) обоснование технических решений устройства электрохимической защиты стального газопровода от коррозии;

о) сведения о средствах телемеханизации газораспределительных сетей, объектов их энергоснабжения и электропривода;

п) перечень мероприятий по обеспечению безопасного функционирования объектов системы газоснабжения, в том числе описание и обоснование

проектируемых инженерных систем по контролю и предупреждению возникновения потенциальных аварий, систем оповещения и связи;

р) перечень мероприятий по созданию аварийной спасательной службы и мероприятий по охране систем газоснабжения - для объектов производственного назначения;

р(1)) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к устройствам, технологиям и материалам, используемым в системе газоснабжения, позволяющих исключить нерациональный расход газа, если такие требования предусмотрены в задании на проектирование;

р(2)) обоснование выбора конструктивных и инженерно-технических решений, используемых в системе газоснабжения, в части обеспечения соответствия зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности и требования оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются);

в графической части

с) схему маршрута прохождения газопровода с указанием границ его охранной зоны и сооружений на газопроводе;

т) план расположения производственных объектов и газоиспользующего оборудования с указанием планируемых объемов использования газа - для объектов производственного назначения;

у) план расположения объектов капитального строительства и газоиспользующего оборудования с указанием планируемых объемов использования газа - для объектов непромышленного назначения;

ф) план сетей газоснабжения.

Подраздел "Технологические решения" раздела 5 должен содержать:

в текстовой части

а) сведения о производственной программе и номенклатуре продукции, характеристику принятой технологической схемы производства в целом и характеристику отдельных параметров технологического процесса, требования к организации производства, данные о трудоемкости изготовления продукции - для объектов промышленного назначения;

б) обоснование потребности в основных видах ресурсов для технологических нужд - для объектов промышленного назначения;

б(1)) описание мест расположения приборов учета используемых в производственном процессе энергетических ресурсов и устройств сбора и передачи данных от таких приборов;

в) описание источников поступления сырья и материалов - для объектов промышленного назначения;

г) описание требований к параметрам и качественным характеристикам продукции - для объектов промышленного назначения;

д) обоснование показателей и характеристик (на основе сравнительного анализа) принятых технологических процессов и оборудования - для объектов промышленного назначения;

е) обоснование количества и типов вспомогательного оборудования, в том числе грузоподъемного оборудования, транспортных средств и механизмов;

ж) перечень мероприятий по обеспечению выполнения требований, предъявляемых к техническим устройствам, оборудованию, зданиям, строениям и сооружениям на опасных производственных объектах, - для объектов производственного назначения;

з) сведения о наличии сертификатов соответствия требованиям промышленной безопасности и разрешений на применение используемого на подземных горных работах технологического оборудования и технических устройств (при необходимости) - для объектов производственного назначения;

и) сведения о расчетной численности, профессионально-квалификационном составе работников с распределением по группам производственных процессов, числе рабочих мест и их оснащенности - для объектов производственного назначения;

к) перечень мероприятий, обеспечивающих соблюдение требований по охране труда при эксплуатации производственных и непроизводственных объектов капитального строительства (кроме жилых зданий);

л) описание автоматизированных систем, используемых в производственном процессе, - для объектов производственного назначения;

м) результаты расчетов о количестве и составе вредных выбросов в атмосферу и сбросов в водные источники (по отдельным цехам, производственным сооружениям) - для объектов производственного назначения;

н) перечень мероприятий по предотвращению (сокращению) выбросов и сбросов вредных веществ в окружающую среду;

о) сведения о виде, составе и планируемом объеме отходов производства, подлежащих утилизации и захоронению, с указанием класса опасности отходов - для объектов производственного назначения;

о(1)) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к устройствам, технологиям и материалам, используемым в производственном процессе, позволяющих исключить нерациональный расход энергетических ресурсов, если такие требования предусмотрены в задании на проектирование;

о(2)) обоснование выбора функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений, используемых в объектах производственного назначения, в части обеспечения соответствия зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности и требования оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются);

п) описание и обоснование проектных решений, направленных на соблюдение требований технологических регламентов;

п(1)) описание мероприятий и обоснование проектных решений, направленных на предотвращение несанкционированного доступа на объект физических лиц, транспортных средств и грузов, - для объектов производственного назначения;

п(2)) описание технических средств и обоснование проектных решений, направленных на обнаружение взрывных устройств, оружия, боеприпасов, - для зданий, строений, сооружений социально-культурного и коммунально-бытового назначения, нежилых помещений в многоквартирных домах, в которых согласно заданию на проектирование предполагается одновременное нахождение в любом из помещений более 50 человек и при эксплуатации

которых не предусматривается установление специального пропускного режима;

п(3)) описание и обоснование проектных решений при реализации требований, предусмотренных статьей 8 Федерального закона "О транспортной безопасности";

в графической части

р) принципиальные схемы технологических процессов от места поступления сырья и материалов до выпуска готовой продукции;

с) технологические планировки по корпусам (цехам) с указанием мест размещения основного технологического оборудования, транспортных средств, мест контроля количества и качества сырья и готовой продукции и других мест - для объектов производственного назначения;

т) схему грузопотоков (при необходимости) - для объектов производственного назначения;

у) схему расположения технических средств и устройств, предусмотренных проектными решениями;

ф) схемы, предусмотренные подпунктами "б" - "г", "е" и "з" пункта 6 требований по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры по видам транспорта на этапе их проектирования и строительства, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 23 января 2016 г. N 29 "Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры по видам транспорта на этапе их проектирования и строительства и требований по обеспечению транспортной безопасности объектов (зданий, строений, сооружений), не являющихся объектами транспортной инфраструктуры и расположенных на земельных

участках, прилегающих к объектам транспортной инфраструктуры и отнесенных в соответствии с земельным законодательством Российской Федерации к охраняемым зонам земель транспорта, и о внесении изменений в Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию".

Раздел 6 "Проект организации строительства" должен содержать:

в текстовой части

а) характеристику района по месту расположения объекта капитального строительства и условий строительства;

б) оценку развитости транспортной инфраструктуры;

в) сведения о возможности использования местной рабочей силы при осуществлении строительства;

г) перечень мероприятий по привлечению для осуществления строительства квалифицированных специалистов, а также студенческих строительных отрядов, в том числе для выполнения работ вахтовым методом;

д) характеристику земельного участка, предоставленного для строительства, обоснование необходимости использования для строительства земельных участков вне земельного участка, предоставляемого для строительства объекта капитального строительства;

е) описание особенностей проведения работ в условиях действующего предприятия, в местах расположения подземных коммуникаций, линий электропередачи и связи - для объектов производственного назначения;

ж) описание особенностей проведения работ в условиях стесненной городской застройки, в местах расположения подземных коммуникаций, линий электропередачи и связи - для объектов непроизводственного назначения;

з) обоснование принятой организационно-технологической схемы, определяющей последовательность возведения зданий и сооружений, инженерных и транспортных коммуникаций, обеспечивающей соблюдение установленных в календарном плане строительства сроков завершения строительства (его этапов);

и) перечень видов строительных и монтажных работ, ответственных конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения, подлежащих освидетельствованию с составлением соответствующих актов приемки перед производством последующих работ и устройством последующих конструкций;

к) технологическую последовательность работ при возведении объектов капитального строительства или их отдельных элементов;

л) обоснование потребности строительства в кадрах, основных строительных машинах, механизмах, транспортных средствах, в топливе и горюче-смазочных материалах, а также в электрической энергии, паре, воде, временных зданиях и сооружениях;

м) обоснование размеров и оснащения площадок для складирования материалов, конструкций, оборудования, укрупненных модулей и стендов для их сборки. Решения по перемещению тяжеловесного негабаритного оборудования, укрупненных модулей и строительных конструкций;

н) предложения по обеспечению контроля качества строительных и монтажных работ, а также поставляемых на площадку и монтируемых оборудования, конструкций и материалов;

о) предложения по организации службы геодезического и лабораторного контроля;

п) перечень требований, которые должны быть учтены в рабочей документации, разрабатываемой на основании проектной документации, в связи с принятыми методами возведения строительных конструкций и монтажа оборудования;

р) обоснование потребности в жилье и социально-бытовом обслуживании персонала, участвующего в строительстве;

с) перечень мероприятий и проектных решений по определению технических средств и методов работы, обеспечивающих выполнение нормативных требований охраны труда;

т) описание проектных решений и мероприятий по охране окружающей среды в период строительства;

т(1)) описание проектных решений и мероприятий по охране объектов в период строительства;

т(2)) описание проектных решений и мероприятий по реализации требований, предусмотренных пунктом 8 требований по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры по видам транспорта на этапе их проектирования и строительства, утвержденных постановлением Правительства Российской Федерации от 23 января 2016 г. N 29 "Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности объектов транспортной инфраструктуры по видам транспорта на этапе их проектирования и строительства и требований по обеспечению транспортной безопасности объектов (зданий, строений, сооружений), не являющихся объектами транспортной инфраструктуры и расположенных на земельных участках, прилегающих к объектам транспортной инфраструктуры и отнесенных в соответствии с земельным законодательством Российской Федерации к охранным зонам земель транспорта, и о внесении изменений в

Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию";

у) обоснование принятой продолжительности строительства объекта капитального строительства и его отдельных этапов;

ф) перечень мероприятий по организации мониторинга за состоянием зданий и сооружений, расположенных в непосредственной близости от строящегося объекта, земляные, строительные, монтажные и иные работы на котором могут повлиять на техническое состояние и надежность таких зданий и сооружений;

в графической части

х) календарный план строительства, включая подготовительный период (сроки и последовательность строительства основных и вспомогательных зданий и сооружений, выделение этапов строительства);

ц) строительный генеральный план подготовительного периода строительства (при необходимости) и основного периода строительства с определением мест расположения постоянных и временных зданий и сооружений, мест размещения площадок и складов временного складирования конструкций, изделий, материалов и оборудования, мест установки стационарных кранов и путей перемещения кранов большой грузоподъемности, инженерных сетей и источников обеспечения строительной площадки водой, электроэнергией, связью, а также трасс сетей с указанием точек их подключения и мест расположения знаков закрепления разбивочных осей.

Раздел 7 "Проект организации работ по сносу или демонтажу объектов капитального строительства" выполняется при необходимости сноса (демонтажа) объекта или части объекта капитального строительства и должен содержать:

в текстовой части

а) основание для разработки проекта организации работ по сносу или демонтажу зданий, строений и сооружений объектов капитального строительства;

б) перечень зданий, строений и сооружений объектов капитального строительства, подлежащих сносу (демонтажу);

в) перечень мероприятий по выведению из эксплуатации зданий, строений и сооружений объектов капитального строительства;

г) перечень мероприятий по обеспечению защиты ликвидируемых зданий, строений и сооружений объекта капитального строительства от проникновения людей и животных в опасную зону и внутрь объекта, а также защиты зеленых насаждений;

д) описание и обоснование принятого метода сноса (демонтажа);

е) расчеты и обоснование размеров зон развала и опасных зон в зависимости от принятого метода сноса (демонтажа);

ж) оценку вероятности повреждения при сносе (демонтаже) инженерной инфраструктуры, в том числе действующих подземных сетей инженерно-технического обеспечения;

з) описание и обоснование методов защиты и защитных устройств сетей инженерно-технического обеспечения, согласованные с владельцами этих сетей;

и) описание и обоснование решений по безопасным методам ведения работ по сносу (демонтажу);

к) перечень мероприятий по обеспечению безопасности населения, в том числе его оповещения и эвакуации (при необходимости);

л) описание решений по вывозу и утилизации отходов;

м) перечень мероприятий по рекультивации и благоустройству земельного участка (при необходимости);

н) сведения об остающихся после сноса (демонтажа) в земле и в водных объектах коммуникациях, конструкциях и сооружениях; сведения о наличии разрешений органов государственного надзора на сохранение таких коммуникаций, конструкций и сооружений в земле и в водных объектах - в случаях, когда наличие такого разрешения предусмотрено законодательством Российской Федерации;

о) сведения о наличии согласования с соответствующими государственными органами, в том числе органами государственного надзора, технических решений по сносу (демонтажу) объекта путем взрыва, сжигания или иным потенциально опасным методом, перечень дополнительных мер по безопасности при использовании потенциально опасных методов сноса;

в графической части

п) план земельного участка и прилегающих территорий с указанием места размещения сносимого объекта, сетей инженерно-технического обеспечения, зон развала и опасных зон в период сноса (демонтажа) объекта с указанием мест складирования разбираемых материалов, конструкций, изделий и оборудования;

р) чертежи защитных устройств инженерной инфраструктуры и подземных коммуникаций;

с) технологические карты-схемы последовательности сноса (демонтажа) строительных конструкций и оборудования.

Раздел 8 "Перечень мероприятий по охране окружающей среды" должен содержать:

в текстовой части

а) результаты оценки воздействия объекта капитального строительства на окружающую среду;

б) перечень мероприятий по предотвращению и (или) снижению возможного негативного воздействия намечаемой хозяйственной деятельности на окружающую среду и рациональному использованию природных ресурсов на период строительства и эксплуатации объекта капитального строительства, включающий:

результаты расчетов приземных концентраций загрязняющих веществ, анализ и предложения по предельно допустимым и временно согласованным выбросам;

обоснование решений по очистке сточных вод и утилизации обезвреженных элементов, по предотвращению аварийных сбросов сточных вод;

мероприятия по охране атмосферного воздуха;

мероприятия по оборотному водоснабжению - для объектов производственного назначения;

мероприятия по охране и рациональному использованию земельных ресурсов и почвенного покрова, в том числе мероприятия по рекультивации нарушенных или загрязненных земельных участков и почвенного покрова;

мероприятия по сбору, использованию, обезвреживанию, транспортировке и размещению опасных отходов;

мероприятия по охране недр - для объектов производственного назначения;

мероприятия по охране объектов растительного и животного мира и среды их обитания (при наличии объектов растительного и животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации и красные книги субъектов Российской Федерации, отдельно указываются мероприятия по охране таких объектов);

мероприятия по минимизации возникновения возможных аварийных ситуаций на объекте капитального строительства и последствий их воздействия на экосистему региона;

мероприятия, технические решения и сооружения, обеспечивающие рациональное использование и охрану водных объектов, а также сохранение водных биологических ресурсов (в том числе предотвращение попадания рыб и других водных биологических ресурсов в водозаборные сооружения) и среды их обитания, в том числе условий их размножения, нагула, путей миграции (при необходимости);

программу производственного экологического контроля (мониторинга) за характером изменения всех компонентов экосистемы при строительстве и эксплуатации объекта, а также при авариях;

в) перечень и расчет затрат на реализацию природоохранных мероприятий и компенсационных выплат;

в графической части

г) ситуационный план (карту-схему) района строительства с указанием на нем границ земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства, границ санитарно-защитной зоны, селитебной территории, рекреационных зон, водоохраных зон, зон охраны источников питьевого водоснабжения, мест обитания животных и растений, занесенных в

Красную книгу Российской Федерации и красные книги субъектов Российской Федерации, а также мест нахождения расчетных точек;

д) ситуационный план (карту-схему) района строительства с указанием границ земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства, расположения источников выбросов в атмосферу загрязняющих веществ и устройств по очистке этих выбросов;

е) карты-схемы и сводные таблицы с результатами расчетов загрязнения атмосферы при неблагоприятных погодных условиях и выбросов по веществам и комбинациям веществ с суммирующимися вредными воздействиями - для объектов производственного назначения;

ж) ситуационный план (карту-схему) района с указанием границ земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства, с указанием контрольных пунктов, постов, скважин и иных объектов, обеспечивающих отбор проб воды из поверхностных водных объектов, а также подземных вод, - для объектов производственного назначения.

Раздел 9 "Мероприятия по обеспечению пожарной безопасности" должен содержать:

в текстовой части

а) описание системы обеспечения пожарной безопасности объекта капитального строительства;

б) обоснование противопожарных расстояний между зданиями, сооружениями и наружными установками, обеспечивающих пожарную безопасность объектов капитального строительства;

в) описание и обоснование проектных решений по наружному противопожарному водоснабжению, по определению проездов и подъездов для пожарной техники;

г) описание и обоснование принятых конструктивных и объемно-планировочных решений, степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности строительных конструкций;

д) описание и обоснование проектных решений по обеспечению безопасности людей при возникновении пожара;

е) перечень мероприятий по обеспечению безопасности подразделений пожарной охраны при ликвидации пожара;

ж) сведения о категории зданий, сооружений, помещений, оборудования и наружных установок по признаку взрывопожарной и пожарной опасности;

з) перечень зданий, сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и оборудованию автоматической пожарной сигнализацией;

и) описание и обоснование противопожарной защиты (автоматических установок пожаротушения, пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре, внутреннего противопожарного водопровода, противодымной защиты);

к) описание и обоснование необходимости размещения оборудования противопожарной защиты, управления таким оборудованием, взаимодействия такого оборудования с инженерными системами зданий и оборудованием, работа которого во время пожара направлена на обеспечение безопасной эвакуации людей, тушение пожара и ограничение его развития, а также алгоритма работы технических систем (средств) противопожарной защиты (при наличии);

л) описание организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности объекта капитального строительства;

м) расчет пожарных рисков угрозы жизни и здоровью людей и уничтожения имущества (при выполнении обязательных требований пожарной безопасности, установленных техническими регламентами, и выполнении в добровольном порядке требований нормативных документов по пожарной безопасности расчет пожарных рисков не требуется);

в графической части

н) ситуационный план организации земельного участка, предоставленного для размещения объекта капитального строительства, с указанием въезда (выезда) на территорию и путей подъезда к объектам пожарной техники, мест размещения и емкости пожарных резервуаров (при их наличии), схем прокладки наружного противопожарного водопровода, мест размещения пожарных гидрантов и мест размещения насосных станций;

о) схемы эвакуации людей и материальных средств из зданий (сооружений) и с прилегающей к зданиям (сооружениям) территории в случае возникновения пожара;

п) структурные схемы технических систем (средств) противопожарной защиты (автоматических установок пожаротушения, автоматической пожарной сигнализации, внутреннего противопожарного водопровода).

Раздел 10 "Мероприятия по обеспечению доступа инвалидов" должен содержать:

в текстовой части

а) перечень мероприятий по обеспечению доступа инвалидов к объектам, предусмотренным в пункте 10 части 12 статьи 48 Градостроительного кодекса Российской Федерации;

б) обоснование принятых конструктивных, объемно-планировочных и иных технических решений, обеспечивающих безопасное перемещение инвалидов на объектах, а также их эвакуацию из указанных объектов в случае пожара или стихийного бедствия;

в) описание проектных решений по обустройству рабочих мест инвалидов (при необходимости);

в графической части

г) схему планировочной организации земельного участка (или фрагмент схемы), на котором расположены объекты с указанием путей перемещения инвалидов;

д) поэтажные планы зданий (строений, сооружений) объектов капитального строительства с указанием путей перемещения инвалидов по объекту капитального строительства, а также путей их эвакуации.

Раздел 10(1) "Мероприятия по обеспечению соблюдения требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов" должен содержать:

а) сведения о типе и количестве установок, потребляющих топливо, тепловую энергию, воду, горячую воду для нужд горячего водоснабжения и электрическую энергию, параметрах и режимах их работы, характеристиках отдельных параметров технологических процессов;

б) сведения о потребности (расчетные (проектные) значения нагрузок и расхода) объекта капитального строительства в топливе, тепловой энергии, воде, горячей воде для нужд горячего водоснабжения и электрической энергии, в том числе на производственные нужды, и существующих лимитах их потребления;

в) сведения об источниках энергетических ресурсов, их характеристиках (в соответствии с техническими условиями), о параметрах энергоносителей, требованиях к надежности и качеству поставляемых энергетических ресурсов;

г) перечень мероприятий по резервированию электроэнергии и описание решений по обеспечению электроэнергией электроприемников в соответствии с установленной классификацией в рабочем и аварийном режимах;

д) сведения о показателях энергетической эффективности объекта капитального строительства, в том числе о показателях, характеризующих годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в объекте капитального строительства;

е) сведения о нормируемых показателях удельных годовых расходов энергетических ресурсов и максимально допустимых величинах отклонений от таких нормируемых показателей (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности не распространяются);

ж) сведения о классе энергетической эффективности (в случае если присвоение класса энергетической эффективности объекту капитального строительства является обязательным в соответствии с законодательством Российской Федерации об энергосбережении) и о повышении энергетической эффективности;

з) перечень требований энергетической эффективности, которым здание, строение и сооружение должны соответствовать при вводе в эксплуатацию и в процессе эксплуатации, и сроки, в течение которых в процессе эксплуатации должно быть обеспечено выполнение указанных требований энергетической эффективности (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности не распространяются);

и) перечень технических требований, обеспечивающих достижение показателей, характеризующих выполнение требований энергетической эффективности для зданий, строений и сооружений (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности и требования оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются), в том числе:

требований к влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений архитектурным, функционально-технологическим, конструктивным и инженерно-техническим решениям;

требований к отдельным элементам и конструкциям зданий, строений, сооружений и к их эксплуатационным свойствам;

требований к используемым в зданиях, строениях, сооружениях устройствам и технологиям (в том числе применяемым системам внутреннего освещения и теплоснабжения), включая инженерные системы;

требований к включаемым в проектную документацию и применяемым при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте зданий, строений, сооружений технологиям и материалам, позволяющих исключить нерациональный расход энергетических ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта, так и в процессе эксплуатации;

к) перечень мероприятий по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности и требований оснащенности зданий, строений и сооружений приборами учета используемых энергетических ресурсов (за исключением зданий, строений, сооружений, на которые требования энергетической эффективности и требования оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов не распространяются), включающий мероприятия по обеспечению соблюдения установленных требований энергетической эффективности к архитектурным,

конструктивным, функционально-технологическим и инженерно-техническим решениям, влияющим на энергетическую эффективность зданий, строений и сооружений, и если это предусмотрено в задании на проектирование, - требований к устройствам, технологиям и материалам, используемым в системах электроснабжения, водоснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и газоснабжения, позволяющих исключить нерациональный расход энергии и ресурсов как в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта, так и в процессе эксплуатации;

л) перечень мероприятий по учету и контролю расходования используемых энергетических ресурсов;

м) обоснование выбора оптимальных архитектурных, функционально-технологических, конструктивных и инженерно-технических решений и их надлежащей реализации при осуществлении строительства, реконструкции и капитального ремонта с целью обеспечения соответствия зданий, строений и сооружений требованиям энергетической эффективности и требованиям оснащенности их приборами учета используемых энергетических ресурсов (с учетом требований энергетической эффективности в отношении товаров, используемых для создания элементов конструкций зданий, строений, сооружений, в том числе инженерных систем ресурсоснабжения, влияющих на энергетическую эффективность зданий, строений, сооружений);

н) описание и обоснование принятых архитектурных, конструктивных, функционально-технологических и инженерно-технических решений, направленных на повышение энергетической эффективности объекта капитального строительства, в том числе в отношении наружных и внутренних систем электроснабжения, отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха помещений (включая обоснование оптимальности размещения отопительного оборудования, решений в отношении тепловой изоляции теплопроводов, характеристик материалов для изготовления воздуховодов), горячего

водоснабжения, оборотного водоснабжения и повторного использования тепла подогретой воды, решений по отделке помещений, решений, обеспечивающих естественное освещение помещений с постоянным пребыванием людей;

о) спецификацию предполагаемого к применению оборудования, изделий, материалов, позволяющих исключить нерациональный расход энергии и ресурсов, в том числе основные их характеристики, сведения о типе и классе предусмотренных проектом проводов и осветительной арматуры;

п) описание мест расположения приборов учета используемых энергетических ресурсов, устройств сбора и передачи данных от таких приборов;

р) описание и обоснование применяемых систем автоматизации и диспетчеризации и контроля тепловых процессов (для объектов производственного назначения) и процессов регулирования отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха;

с) описание схемы прокладки наружного противопожарного водопровода;

т) сведения об инженерных сетях и источниках обеспечения строительной площадки водой, электроэнергией, тепловой энергией.

Раздел 11 "Смета на строительство объектов капитального строительства" должен содержать текстовую часть в составе пояснительной записки к сметной документации и сметную документацию.

Пояснительная записка к сметной документации должна содержать следующую информацию:

а) сведения о месте расположения объекта капитального строительства;

б) перечень утвержденных сметных нормативов, сведения о которых включены в федеральный реестр сметных нормативов, принятых для

составления сметной документации на строительство, а также обоснование предполагаемой (предельной) стоимости строительства на основе документально подтвержденных сведений о проектах-аналогах (при наличии таких проектов) при отсутствии укрупненных нормативов цены строительства для объектов, аналогичных по назначению, проектной мощности, природным и иным условиям территории, на которой планируется осуществлять строительство;

в) наименование подрядной организации (при наличии);

г) обоснование особенностей определения сметной стоимости строительных работ для объекта капитального строительства;

д) другие сведения о порядке определения сметной стоимости строительства объекта капитального строительства, характерные для него.

Сметная документация должна содержать сводку затрат, сводный сметный расчет стоимости строительства, объектные и локальные сметные расчеты (сметы), сметные расчеты на отдельные виды затрат.

Сметная документация на строительство объектов капитального строительства, финансируемое с привлечением средств бюджетов бюджетной системы Российской Федерации, средств юридических лиц, созданных Российской Федерацией, субъектами Российской Федерации, муниципальными образованиями, юридических лиц, доля в уставных (складочных) капиталах которых Российской Федерации, субъектов Российской Федерации, муниципальных образований составляет более 50 процентов, составляется с применением утвержденных сметных нормативов, сведения о которых включены в федеральный реестр сметных нормативов. Разработка и применение индивидуальных сметных нормативов, предназначенных для строительства конкретного объекта по предусматриваемым в проектной документации технологиям производства работ, условиям труда и поставок

ресурсов, отсутствующим или отличным от технологий, учтенных в сметных нормативах, содержащихся в федеральном реестре сметных нормативов, осуществляется по решению Правительства Российской Федерации.

Указанная сметная документация составляется с применением базисного уровня цен и цен, сложившихся ко времени ее составления (с указанием месяца и года ее составления), или с применением ресурсного метода определения стоимости строительства. Под базисным уровнем цен понимаются стоимостные показатели сметных нормативов, действовавшие по состоянию на 1 января 2000 г.

Сводный сметный расчет стоимости строительства составляется с распределением средств по следующим главам:

- подготовка территории строительства (глава 1);
- основные объекты строительства (глава 2);
- объекты подсобного и обслуживающего назначения (глава 3);
- объекты энергетического хозяйства (глава 4);
- объекты транспортного хозяйства и связи (глава 5);
- наружные сети и сооружения водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения и газоснабжения (глава 6);
- благоустройство и озеленение территории (глава 7);
- временные здания и сооружения (глава 8);
- прочие работы и затраты (глава 9);
- содержание службы заказчика. Строительный контроль (глава 10);

подготовка эксплуатационных кадров для строящегося объекта капитального строительства (глава 11);

публичный технологический и ценовой аудит, подготовка обоснования инвестиций, осуществляемых в инвестиционный проект по созданию объекта капитального строительства, в отношении которого планируется заключение контракта, предметом которого является одновременно выполнение работ по проектированию, строительству и вводу в эксплуатацию объекта капитального строительства, технологический и ценовой аудит такого обоснования инвестиций, аудит проектной документации, проектные и изыскательские работы (глава 12).

Раздел 12 "Иная документация в случаях, предусмотренных федеральными законами" должен содержать документацию, необходимость разработки которой при осуществлении проектирования и строительства объекта капитального строительства предусмотрена законодательными актами Российской Федерации, в том числе:

а) декларацию промышленной безопасности опасных производственных объектов, разрабатываемую на стадии проектирования;

б) декларацию безопасности гидротехнических сооружений, разрабатываемую на стадии проектирования;

б.1) перечень мероприятий по гражданской обороне, мероприятий по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера для объектов использования атомной энергии (в том числе ядерных установок, пунктов хранения ядерных материалов и радиоактивных веществ), опасных производственных объектов, определяемых таковыми в соответствии с законодательством Российской Федерации, особо опасных, технически сложных, уникальных объектов, объектов обороны и безопасности;

в) иную документацию, установленную законодательными актами Российской Федерации.

3.4.2 Методы проектирования

Программы необходимы для быстрого и качественного выполнения прямых обязанностей инженера-проектировщика — расчетов и оформления документации, графической и текстовой части проекта.

Список самых популярных программ в области строительства:

1. AutoCAD.

Программа является одним из продуктов компании Autodesk. Программа разработана для конструкторов, поэтому расчетов не выдает. Возможно проектирование в модели 2D и 3D.

2. Revit.

Является платформой для BIM проектирования. Также продукт Autodesk. Основная среда — трехмерная, рассчитана на высокую степень детализации (т. е. на высокий уровень знаний специалистов, выполняющих проект) и на современную концепцию организации работы над проектом — полное и непрерывное взаимодействие всех участников проекта (инженеров, конструкторов, архитекторов, заказчика и т. д.). Данная программа дает возможность быстрого обнаружения ошибок и внесения изменений в модель здания, хранение детальной информации при уже построенном здании и его дальнейшей эксплуатации. Для инженеров программа дает возможность вписать свои системы в пространство здания с его конструктивными и архитектурными элементами, так как это будет в реальности.

3. MagiCAD.

Продукт финских разработчиков и предназначен для автоматизированного проектирования и расчета внутренних инженерных систем вентиляции, отопления, электроснабжения, водоснабжения и канализации.

MagiCAD работает в среде 2D и 3D, выполняет автоматическое построение разрезов инженерных коммуникаций.

7. LATS CAD, LATS HVAC.

Программы компании LG Electronics для расчета систем кондиционирования и спецификации. LATS CAD является плагином к AutoCAD с набором своих блоков и функций. Программы предоставляются свободно.

8. Uponor HS-Engineering.

Адаптирована под российские нормы и переведена на русский язык, позволяет рассчитать теплопотери, выполнить гидравлический расчет отопления, системы теплого пола, водоснабжения и водоотведения, получить готовые спецификации.

Так же существует множество программ в свободном доступе на сайтах компаний-производителей для подбора оборудования систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха.

3.4.3 Выдача заданий смежным разделам

Каждый проект связан с другими разделами проектной документации. Между подразделениями проектной организации происходит обмен заданиями.

Разберем подробнее каждого смежника, с кем приходится обмениваться заданиями.

1. Архитекторы.

Архитекторы выдают в работу планировки здания, на которых работают не только инженеры ОВ и КВ, но и другие смежные подразделения. В свою

очередь, инженеры ОВ и КВ должны выдать задание архитекторам на размещение ниш для отопительных приборов, зашивку вентиляционных коробов, стояков системы отопления.

2. Конструктора.

Конструкторам необходимо выдавать задания на: отверстия в несущих стенах, перекрытиях и покрытиях, если размер отверстия более 100×100 мм.; на разработку нетиповых конструктивных элементов, например неподвижных опор для крепления трубопроводов; расчет несущей способности основания для установки оборудования систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

3. Электрики.

Электрикам выдается задание на подключение систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха к сетям электроснабжения с указанием точек подключения на плане, мощности, напряжения и описания подключаемого оборудования.

4. Автоматчики.

Для автоматизации систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха необходимо выдавать задание с местом установки и подробным описанием работы оборудования.

5. Инженеры систем водоснабжения и водоотведения.

Для данного раздела выдается задание при сливе конденсата от системы кондиционирования воздуха в систему канализации. При этом указывается точка предполагаемого слива конденсата и объем воды.

6. Сметчики.

Для осмечивания систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха предоставляются спецификации оборудования и материалов.

3.4.4 Правила внесения изменений

Изменением документа, ранее переданного заказчику, является любое исправление, исключение или добавление в него каких-либо данных без изменения обозначения этого документа.

Внесение изменений в расчеты не допускается.

Любое изменение в документе, вызывающее какие-либо изменения в других документах, должно одновременно сопровождаться внесением соответствующих изменений во все взаимосвязанные документы.

Изменение документа (в том числе его аннулирование) выполняют, как правило, на основании разрешения на внесение изменений. Разрешение выполняют на бумажном носителе.

Разрешение регистрируют и находится у ГИПа.

Разрешение является основанием для получения подлинников документов и внесения в них изменений.

Изменения в бумажные подлинники документов вносят:

- зачеркиванием;
- подчисткой (смывкой);
- закрашиванием белым цветом;
- введением новых данных;
- заменой листов или всего документа;
- введением новых дополнительных листов и/или документов;
- исключением отдельных листов документа.

При этом учитывают физическое состояние подлинника. При аннулировании или замене листов документа на всех аннулированных и замененных листах подлинника проставляют штамп "Аннулирован (заменен)".

3.5 Авторский и технический надзор

3.5.1 Авторский надзор

Авторский надзор - один из видов услуг по надзору автора проекта и других разработчиков проектной документации (физических и юридических лиц) за строительством, осуществляемых в целях обеспечения соответствия

решений, содержащихся в рабочей документации, выполняемым строительномонтажным работам на объекте. Необходимость проведения авторского надзора относится к компетенции Заказчика и, как правило, устанавливается в задании на проектирование объекта.

Заказчик (застройщик) - физическое или юридическое лицо, которое организует и финансирует строительство объекта.

Подрядчик - физическое или юридическое лицо, являющееся исполнителем строительных и монтажных работ на объекте строительства.

Проектировщик - физическое или юридическое лицо, разработавшее, как правило, рабочую документацию на строительство объекта и осуществляющее авторский надзор.

В составе основных функций, выполняемых проектной организацией в ходе работы над объектом, есть и задача ведения авторского надзора за строительством.

Необходимость осуществления авторского надзора проектировщика определена законодательством, кроме того она может быть определена договором между Заказчиком и Проектировщиком.

При осуществлении авторского надзора за строительством объекта регулярно ведется журнал авторского надзора за строительством, который составляется Проектировщиком и передается Заказчику.

Этот вид деятельности проектировщика регламентируется СП 11-110-99 «Авторский надзор за строительством зданий и сооружений». Он действует для любых объектов на всей территории РФ независимо от формы собственности.

Выезд представителей авторского надзора на строительную площадку осуществляется в установленные планами-графиками сроки.

План-график выполнения работ по авторскому надзору должен быть полностью увязан с Календарным планом производства работ по объекту (виду работ), разрабатываемому в составе проекта производства работ по [СНиП 3.01.01-85*](#).

Если сроки фактического выполнения работ не совпадают с датами, установленными в Календарном плане производства работ по объекту, заказчик должен своевременно информировать генеральную проектную организацию (руководителя группы авторского надзора) о том, что работы, подлежащие освидетельствованию или ответственные конструкции, подлежащие приемке в процессе строительства не готовы для освидетельствования и/или приемки и определить новые сроки приезда группы авторского надзора.

Вызов представителей проектной организации на объект осуществляется только заказчиком.

Перед выездом руководитель группы авторского надзора определяет состав выезжающих специалистов, устанавливает каждому из них Задание на осуществление авторского надзора, а также координирует их работу по ведению авторского надзора на объекте.

Представители авторского надзора имеют право на:

1. Доступ во все строящиеся объекты строительства и места производства строительно-монтажных работ.
2. Ознакомление с необходимой технической документацией, относящейся к объекту строительства.
3. Контроль за выполнением указаний, внесенных в журнал.
4. Внесение предложений в органы Государственного архитектурно-строительного надзора и другие надзорные органы о приостановлении в необходимых случаях строительных и монтажных работ, выполняемых с выявленными нарушениями, и принятии мер по предотвращению нарушения

авторского права на произведение архитектуры в соответствии с законодательством.

При контроле соответствующих видов работ должны применяться современные средства измерений и приборы неразрушающего и лабораторного контроля, прошедшие проверку в установленном порядке.

Основные обязанности авторского надзора

1. Выборочная проверка соответствия производимых строительных и монтажных работ рабочей документации и требованиям строительных норм и правил.

2. Выборочный контроль за качеством и соблюдением технологии производства работ, связанных с обеспечением надежности, прочности, устойчивости и долговечности конструкций и монтажа технологического и инженерного оборудования

3. Своевременное решение вопросов, связанных с необходимостью внесения изменений в рабочую документацию в соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.101, и контроль исполнения.

4. Содействие ознакомлению работников, осуществляющих строительные и монтажные работы, и представителей заказчика с проектной и рабочей документацией.

5. Информирование заказчика о несвоевременном и некачественном выполнении указаний специалистов, осуществляющих авторский надзор, для принятия оперативных мер по устранению выявленных отступлений от рабочей документации и нарушений требований нормативных документов.

6. Участие в освидетельствовании скрываемых возведением последующих конструкций работ, от качества которых зависят прочность, устойчивость, надежность и долговечность возводимых зданий и сооружений; в приемке в процессе строительства отдельных ответственных конструкций.

7. Регулярное ведение журнала и выполнение других работ и услуг, указанных в договоре (распорядительном документе).

Ведение журнала авторского надзора может осуществляться как по объекту строительства в целом, так и по его пусковым комплексам или отдельным зданиям и сооружениям.

Каждое посещение объекта строительства специалистами регистрируется в журнале. Запись о проведенной работе по авторскому надзору удостоверяется подписями ответственных представителей Заказчика и Подрядчика. Запись выполняется также при отсутствии замечаний.

Записи и указания специалистов излагаются четко, с необходимыми ссылками на действующие строительные нормы и правила, государственные стандарты, технические условия.

При осуществлении авторского надзора может возникать необходимость в подготовке чертежей и эскизов авторского надзора. Как правило такая необходимость связана с недостатком и/или неточностью информации в рабочих чертежах, выпущенных Проектировщиком.

Такие чертежи имеют такую же силу, как и чертежи основного комплекта РД.

3.5.2 Технический надзор

В отличие от авторского надзора проектировщика технический надзор за строительством осуществляется Заказчиком - застройщиком.

Технический надзор Заказчика-застройщика за строительством зданий и сооружений направлен на систематическую проверку соответствия объёма, стоимости и качества выполняемых строительного-монтажных работ,

утвержденным проектам и сметам, строительным нормативам и правилам, Государственным стандартам.

Осуществление технического надзора Заказчика для всех объектов строительства обеспечивается юридическими и физическими лицами, имеющими соответствующую лицензию (сертификат) на введение технического надзора Заказчика и разрешение на строительство объекта, полученное в порядке, установленном законодательством и строительными нормами и правилами.

Работникам технического надзора не разрешается вносить изменения в утвержденные проекты и сметы в процессе строительства. Изменения в документацию могут вноситься только авторским надзором.

Основными задачами технического надзора Заказчика являются:

1) контроль за обоснованием сроков выполнения работ и достоверностью определения сметой стоимости и договорной цены выполняемых работ;

2) контроль за строительством зданий и сооружений производственного и непромышленного назначения, включающий в себя систематическую проверку соответствия объема, стоимости, методов, технологии и качества выполняемых строительного-монтажных работ утвержденным проектам и сметам, строительным нормам и правилам, стандартам и другим нормативно-правовым документам;

3) контроль за выполнением работ в договорные сроки и вводом в эксплуатацию производственных мощностей и объектов в установленные сроки.

Обязанности технического надзора:

1. Способствовать своей деятельностью выполнению графика строительства, утвержденного заказчиком и вводу их в эксплуатацию в установленные сроки.

2. При наличии утвержденной проектной документации, регистрировать строительство в Инспекции государственного архитектурно-строительного надзора г. Москвы и оформлять разрешение на выполнение подготовительных и основных строительно-монтажных работ, а также ежегодно перерегистрировать переходящее строительство.

3. Передавать подрядной строительной организации утвержденную и зарегистрированную техническую с надписью на каждом чертеже о принятии к выполнению работ, а также разрешения, выданные Инспекцией Государственного архитектурно-строительного надзора.

4. Контролировать выполнение мероприятий по обеспечению сохранения объектов, расположенных вблизи объектов строительства, предусмотренных в проектной документации.

5. Участвовать, совместно с проектной организацией, в рассмотрении предложений подрядчика по повышению качества, снижению стоимости и сокращению сроков.

6. Участвовать в контроле разбивки и закреплении на участке основных осей зданий и сооружений и опорных реперов, в проверке и приемке детальной разбивки осей зданий и сооружений, а также вертикальных отметок оснований, фундаментов и перекрытий, оформляя приемку актами

7. Осуществлять технический надзор за своевременностью и качеством выполнения всех строительно-монтажных работ и их соответствием утвержденной проектно-сметной документации, за точным соблюдением строительных норм, правил и технических условий выполнения и приемки общестроительных, монтажных, отделочных и специальных работ, а также особенностей работ, выполняемых в зимнее время.

8. Проверять наличие паспортов, результатов лабораторных анализов и испытаний материалов,

9. деталей и конструкций, применяемых на строительстве; требовать от подрядчика периодической проверки соответствия качества строительных

материалов, деталей и конструкций паспортным данным. Участвовать в отборе образцов и следить за получением результатов лабораторных испытаний.

10. Принимать участие в оформлении актов на рекламацию и предъявлять претензии к поставщикам

11. при поставке ими на строительные площадки недоброкачественных строительных материалов, изделий, конструкций, оборудования, не отвечающих требованиям проекта и нормативных актов и давать предложение ИГАСН о запрещении их применения.

12. Принимать участие в освидетельствовании и оформлении актами скрытых и специальных работ, не допуская выполнения следующего вида работ до подписания актов.

13. Определять объем выполненных работ и принимать их от подрядчика при условии соответствия качества выполнения утвержденным проектам и техническим условиям, а также оформлять акты для оплаты этих работ.

14. Контролировать своевременность и правильность ведения общего и специальных журналов работ, а также своевременность фиксации на отдельном комплекте рабочих чертежей данных об изменениях, внесенных в процессе строительства.

15. Записывать результаты технического надзора за строительством в журнале работ или составлять акты, в которых должны быть указаны:

а) какие отступления от проекта, дефекты и нарушения технических условий при строительном-монтажных работах были обнаружены и по чьей вине произошли;

б) конкретные требования, направленные на устранения выявленных дефектов, отступлений от проекта и нарушений технических условий с указанием сроков их устранения.

16. Следить за своевременным выполнением всех требований и указаний, записанных в журнале работ техническим и авторским надзором, работниками

Инспекции Государственного архитектурно-строительного надзора г. Москвы и другими представителями органов Государственного надзора.

17. Следить за правильным проведением подрядными организациями индивидуальных испытаний смонтированного оборудования с надлежащим оформлением их результатов;

18. Участвовать в рабочей комиссии по приемке (заказчиком-застройщиком) от подрядной организации зданий и сооружений, законченного строительством. В случае обнаружения незаконченных работ составлять перечень выявленных недоделок и дефектов, устанавливать сроки их устранения с последующим проведением повторной приемки объекта. Не допускать приемки от подрядчика объектов, не законченного строительством.

19. Подготавливать совместно с подрядчиком техническую документацию для предъявления законченного строительством объекта Государственной приемочной комиссии.

20. Участвовать в приемке Государственной комиссией объекта и знакомить членов комиссии с технической документацией и актом приемки объекта рабочей комиссией.

21. Не допускать частичного или полного ввода в эксплуатацию объекта без приемки его Государственной комиссией.

22. В случае обнаружения самовольного ввода в эксплуатацию объекта строительства, технический надзор обязан совместно с подрядной организацией составить акт, в котором указать время, обстоятельство и должностных лиц, виновных в самовольном вводе объекта в действие. Акт направить инвестору (либо заказчику), Инспекции Государственного архитектурно-строительного надзора г. Москвы.

23. Сообщать Инспекции Государственного архитектурно-строительного надзора г. Москвы о случаях консервации и смены подрядной организации.

24. Передавать организации, принявшей объект в эксплуатацию всю документацию, составленную в процессе строительства (акты на скрытие

работы, акты приемки инженерных коммуникаций и др), а также акт приемки объекта рабочей комиссией заказчика (застройщика).

25. Контролировать обеспечение своевременного завоза и приемки оборудования на объектах, надлежащего его хранения на приобъектных складах.

26. Производить проверки устойчивости конструкций зданий в период весеннего оттаивания и соблюдения строительными организациями необходимых мероприятий, обеспечивающих надежность сооружений.

27. Вести учет посещаемости авторским надзором объектов и представлять соответствующую информацию руководству заказчика-застройщика для расчетов с проектной организацией.

28. Рассматривать письма и жалобы граждан по вопросам строительства и качества введенных в эксплуатацию объектов, принимать необходимые меры по устранению отмеченных недостатков, готовить предложения руководству заказчика-застройщика по реализации предложений граждан и ответы на письма в установленные законодательством сроки.

Представители технического надзора Заказчика ведут записи в соответствующем разделе общего журнала производства работ по объекту в целом или по строительству его части, пусковому комплексу, очереди.

Работа технического надзора на подконтрольном объекте заканчивается после решения всех вопросов по вводу его в эксплуатацию и не ранее, чем через месяц после фактического ввода объекта в эксплуатацию (заселения).

3.6 Монтажные чертежи

Состав и оформление монтажных чертежей внутренних санитарно-технических систем регламентируется техническим регламентом ВСН 489-86 (ведомственные строительные нормы).

В состав монтажных чертежей внутренних санитарно-технических систем, как правило, должны быть включены комплекты чертежей, содержащие упрощенное изображение систем (элементов систем) и предназначенные для монтажа систем отопления, вентиляции на объектах строительства индустриальным методом - из готовых укрупненных блоков, узлов, типовых унифицированных и индивидуальных деталей, изготовленных в заготовительных мастерских или на заводах и доставленных комплектно к месту монтажа.

В комплект монтажных чертежей должны входить:

- общие данные;
- монтажные (эскизные) схемы;
- фрагменты планов (при необходимости);
- детализированные чертежи узлов (блоков, деталей).

Специализированная проектная организация, разработавшая монтажные чертежи, передает их заказчику на утверждение в установленные договором сроки

При отсутствии замечаний монтажные чертежи считаются утвержденными, а при их наличии - подлежат доработке.

Лица, разработавшие монтажные чертежи, несут ответственность за качество выполненной документации в установленном порядке.

В состав общих данных монтажных (эскизных) чертежей включают:

- ведомость комплектов монтажных (эскизных) чертежей;
- ведомость монтажных (эскизных) чертежей комплекта;
- сводную спецификацию;
- комплектовочную ведомость узлов (блоков, деталей);
- общие указания;

- условные обозначения и изображения.

Монтажные схемы выполняют в аксонометрической фронтальной изометрической проекции без масштаба с соблюдением соразмерности всех элементов.

На монтажных схемах указывают:

- трубопроводы и их диаметры;
- моменты соединений трубопроводов и фасонные части;
- отметки уровней трубопроводов;
- уклоны трубопроводов;
- размеры горизонтальных участков трубопроводов;
- запорно-регулирующую арматуру и устройства для удаления воздуха и опорожнения систем и другие элементы систем;
- стояки систем и их обозначения;
- оборудование, отопительные приборы, закладные конструкции для установки контрольно-измерительных приборов, гильзы и т.п.;
- монтажные узлы и детали, их обозначения и границы;
- соединения, выполняемые на заготовительном предприятии и на объекте строительства;
- уровни этажей, отметок.

Фрагменты планов систем выполняют для более четкого представления при монтаже о месторасположении трубопроводов, оборудования, взаимных пересечениях трубопроводов.

Фрагменты планов систем выполняют в масштабах: 1:2, 1:5, 1:10, 1:20 или 1:50 в точном соответствии с основными комплектами проектной документации.

Трубопроводы, расположенные друг над другом, на фрагментах планов условно изображают параллельными линиями.

На детализовочных чертежах узлов (блоков, деталей) приводят:

- общий вид узла;
- детализовочную ведомость;
- спецификацию материалов.

Общий вид узла выполняют в аксонометрической фронтальной изометрической проекции без масштаба, в одну линию, с соблюдением соразмерности всех элементов.

На общем виде указывают:

- габариты узлов;
- диаметры;
- номера деталей;
- элементы соединений и фасонные части;
- запорную, регулирующую арматуру и устройства для опорожнения системы и удаления воздуха.

Монтируемое изделие изображают на чертеже упрощенно, показывая его внешние очертания. Подробно показывают элементы конструкций, которые необходимы для правильного монтажа изделия.

3.7 Исполнительная документация

Исполнительная документация - это документация, оформляемая в процессе строительства и фиксирующая как процесс (кто делал, из чего, в какой последовательности, в какое время) производства строительно-монтажных работ, так и условия производства работ (погодные, технологические), а также техническое состояние объекта (какое оборудование, инженерные системы установлены, насколько качественные использовались материалы и т.д.).

Исполнительная документация - это комплект рабочих чертежей с надписями о соответствии выполненных в натуре работ этим чертежам или о внесенных в них по согласованию с проектировщиком изменениях, сделанных лицами, ответственными за производство строительно-монтажных работ (СНиП 12-01-2004). Обязательность составления, формы и содержание конкретной исполнительной технической документации, правила ее ведения устанавливаются требованиями СНиП и других действующих нормативных документов, а в некоторых случаях указаниями органов государственного контроля и надзора, а также участников строительства.

К исполнительной технической документации относятся:

1. Акты приемки геодезической разбивочной основы.
2. Исполнительные геодезические схемы возведенных конструкций, элементов и частей зданий, сооружений.

После завершения этапа работ, возведения частей здания, сооружения выполняют геодезические измерения, называемые исполнительными геодезическими съемками. В процессе исполнительных съемок определяют плановое и высотное положение выверенных и окончательно закрепленных конструкций и элементов здания, сооружения.

3. Исполнительные схемы и профили инженерных сетей и подземных сооружений.

Исполнительную геодезическую съемку подземных инженерных сетей следует выполнять до их засыпки. Исключения составляет самотечная канализация, исполнительную съемку которой выполняют после засыпки траншей и гидравлического испытания труб.

Исполнительной плановой съемке подлежат: углы поворота, точки начала, середины и конца сетей, пересечение трасс, места присоединений ответвлений, элементы подземных сетей (люки, колодцы, камеры, компенсаторы и т. д.)

В процессе съемки собирают данные о количестве прокладок, отверстий, материале труб, колодцев, каналов, о размерах диаметров труб и каналов, давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях. Нивелируют люки колодцев, лотки канализационных, водосточных и дренажных колодцев, пол каналов теплосетей, телефонной и электрокабельной сетей, в безколодезных прокладках - углы поворота трассы и точки излома профиля. Для трубопроводов определяют отметки верха труб во всех колодцах и камерах. По результатам съемки подземных инженерных сетей следует составлять исполнительные чертежи, как правило, в масштабе соответствующих рабочих чертежей, отражающие плановое и высотное положение вновь проложенных инженерных сетей, то есть план трассы коммуникаций и продольный профиль по оси сооружения. При приемке инженерных сетей представители технического надзора заказчика должны выполнять контрольную геодезическую съемку для проверки соответствия построенных инженерных сетей их отображению на предъявленных подрядчиком исполнительных чертежах.

4. Общий журнал работ.

На каждом объекте строительства надлежит вести общий журнал работ, который является основным первичным производственным документом, отражающим технологическую последовательность, сроки, качество выполнения и условия производства строительно-монтажных работ

5. Специальные журналы работ, журналы входного и операционного контроля качества.

Генподрядчиком по согласованию с субподрядными организациями и заказчиком для осуществления своевременного и достоверного надзора за выполнением строительно-монтажных работ должен быть установлен в договоре строительного подряда перечень специальных журналов работ, которые следует вести в процессе строительства. Данные о производстве

некоторых видов строительно-монтажных работ следует ежемесячно вносить в следующие специальные журналы работ

- журнал работ по монтажу строительных конструкций (стр. 21);
- журнал сварочных работ (стр. 23);
- журнал антикоррозионной защиты сварных соединений (стр. 25);
- журнал замоноличивания монтажных стыков (стр. 27);
- журнал выполнения монтажных соединений на болтах с контролируемым натяжением (стр. 29);
- журнал работ по устройству свайных фундаментов (стр. 31); -
- журнал бетонных работ (стр. 33); -
- журнал производства антикоррозионных работ (стр. 35) и др.

Специализированные строительно-монтажные организации (субподрядчики) ведут журналы работ, которые находятся у ответственных лиц, выполняющих эти работы.

6. Журнал авторского надзора проектных организаций (при наличии авторского надзора).

7. Акты освидетельствования скрытых работ.

8. Акты промежуточной приемки ответственных конструкций.

9. Акты испытаний и опробования оборудования, систем и устройств.

По завершению монтажных работ монтажными организациями должны быть выполнены испытания:

- смонтированного оборудования (индивидуальные испытания) с составлением акта;
- систем отопления, теплоснабжения, внутреннего холодного и горячего водоснабжения и котельных гидростатическим или манометрическим методом с составлением актов;
- систем внутренней канализации и водостоков с составлением актов;

• систем отопления на равномерный прогрев отопительных приборов. Испытания следует производить с соблюдением требований СНиП 3.05.01-85.

10. Акты приемки инженерных систем.

11. Исполнительные схемы расположения зданий, сооружений на местности (посадки), являющиеся исполнительной архитектурной документацией.

12. Рабочие чертежи на строительство объекта с надписями о соответствии выполненных в натуре работ этим чертежам (с учетом внесенных в них изменений), сделанными лицами, ответственными за производство строительно-монтажных работ.

13. Другие документы, отражающие фактическое исполнение проектных решений, по усмотрению участников строительства с учетом их специфики.

Исполнительная техническая документация, оформленная в установленном порядке, предъявляется исполнителем при приемке работ и при приемке объекта в эксплуатацию.

При сдаче объекта в эксплуатацию исполнительная техническая документация в комплекте с другими документами передается эксплуатирующей организации на постоянное хранение и используется в процессе эксплуатации.

На исполнительных чертежах (на каждом листе) должна стоять надпись о том, что чертеж является исполнительным, наименование организации выполнявшей работы, подпись ответственного лица (с расшифровкой), должность, дата составления.

3.8 Структура проектных организаций

Проектирование - важнейшая часть строительного комплекса. Организационная структура, технология проектирования, квалификационный состав и специализация проектных организаций зависят от множества факторов, главные из которых - виды строительства и проектных работ,

сложность проектируемых объектов (зданий и сооружений), их отраслевое назначение и др.

Виды строительства:

- промышленное (предприятия и объекты производственного назначения различных отраслей промышленности);
- жилищно-гражданское (жилые и общественные здания и сооружения);
- сельскохозяйственное (здания и сооружения для содержания скота, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, теплицы, парники и др.);
- транспортное (автомобильные и железные дороги, мосты, тоннели, метрополитен, морские и речные порты, аэропорты и др.).

Понятие «строительство» включает новое строительство, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение.

В комплексной разработке проектно-сметной документации участвуют проектировщики многих специальностей при обязательной взаимной увязке их деятельности.

Вопросы разделения и кооперации труда проектировщиков решаются путём рационального структурного построения проектной организации, чётким разграничением должностных обязанностей её сотрудников и обеспечением их эффективного взаимодействия в процессе проектирования.

Во главе рабочей группы проектировщиков стоит руководитель группы, который является непосредственным организатором и техническим руководителем проектных работ, выполняемых подчинёнными ему исполнителями. Руководитель группы отвечает за выполнение установленных сроков и объемов проектных работ и заданий, поручаемых группе, обеспечивает соблюдение трудовой и технологической дисциплины, наиболее целесообразную организацию труда подчиненных ему исполнителей.

В проектных подразделениях, где имеются несколько рабочих групп проектировщиков одной специальности, последние объединяются в бригаду, возглавляемую главным архитектором проекта (ГАПом), или главным инженером проектов (ГИПом), или главным специалистом. Руководители бригад (ГАПы и ГИПы) подчиняются руководителю подразделения или его заместителю. Такая внутренняя структура подразделений и схемы подчиненности в них являются особенностью проектных организаций, действующих в сфере градостроительства и жилищно-гражданского строительства.

ГИП организации несёт ответственность за проект в целом.

Повышение требований к качеству проектов, предъявляемых заказчиками и органами вневедомственной экспертизы, обязывают руководителей проектных предприятий обеспечивать и принимать меры по усилению контроля за качеством проектных решений.

Система контроля качества должна быть основана на сочетании самоконтроля исполнителя с внешним контролем, в следующей последовательности операций по контролю качества проектной продукции:

1. Исполнитель лично контролирует соответствие выполненной им работы нормативным документам.
2. Руководитель группы контролирует качество работы исполнителя с точки зрения соответствия требованиям, продиктованным принятыми решениями и нормативными документами.
3. Главный специалист контролирует качество разработок и инженерных расчетов соответствующей части проекта, проверяет ее согласованность с другими частями проекта и выполнение требований основных положений на проектирование.

4. Главный инженер проекта контролирует качество исходных данных для проектирования, соответствие выполненной проектной документации заданию на проектирование, взаимную согласованность частей проекта, проверяет технический уровень принятых решений и требований нормативных документов.

5. Нормоконтролеры, по разделам проекта, осуществляют контроль проектной документации на соответствие требованиям действующих стандартов.

6. Документация подписывается указанными в пп. [1](#) - [5](#) разработчиками, а также главным инженером и руководителем организации. После оформления указанными подписями документация передается в архив и на размножение.

7. Архив принимает на архивное хранение все проектные материалы (включая инженерные расчеты), проставляет на них архивные номера, ведет картотеку (учет). Выдача архивных материалов специалистам (для внесения изменений и др.) производится по разрешению руководителя организации.

Разработка системы контроля качества проектной продукции - важная задача, стоящая перед руководителем предприятия.

Проектным организациям, не имеющим собственной информационной базы, для информационного обеспечения необходимо заключать договора с проектными организациями и библиотеками на информационное обслуживание.

3.9 Антикоррупционное законодательство РФ

Строительство традиционно относят к самым коррумпированным сферам деятельности. Уровень его коррумпированности проявляется в непостижимо высокой степени гетерогенности затрат и результатов строительства.

Началом системного наступления на коррупционные процессы считается Федеральный закон «О противодействии коррупции» от 25.12.2008 г. № 273-ФЗ. Следом за ним были приняты Федеральный закон «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с ратификацией Конвенции организации объединенных наций против коррупции» от 25.12.2008 г. № 280. Указ Президента РФ «О Национальной стратегии противодействия коррупции и Национальном плане противодействия коррупции на 2010-2011 годы» от 13.04.2010 г. № 460.

Следует понять, как будут реализованы продекларированные принципы противодействия коррупции (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Принципы противодействия коррупции

Принцип преемственности предпринимаемых мер не был принят во внимание. Тем не менее, и это очень важно, т.к. впервые в российской истории именно он реализуется в правовых инициативах Президента РФ. Принятые в Федеральном законе № 273 принципы развиваются и дополняются в Национальной стратегии противодействия коррупции. Так, признание прав и свобод дополняется признанием коррупции одной из системных угроз безопасности Российской Федерации, комплексность мер дополняется их стабильностью, публичность и открытость – конкретизацией антикоррупционных положений в федеральных законах, правовых актах федеральных органов исполнительной власти. В Национальном плане противодействия коррупции подробно расшифровываются меры по реализации основных направлений деятельности по противодействию коррупции. Более того, Национальный план расширяет основные положения ФЗ № 273, предусматривая следующее:

1. Подготовку методических рекомендаций по вопросам противодействия коррупции.
2. Обеспечение финансирования антикоррупционных мер.
3. Создание и использование инновационных технологий (касается, в основном, обеспечения формата электронного взаимодействия).
4. Создание многофункциональных центров для предоставления гражданам и организациям государственных и муниципальных услуг.
5. Совершенствование высшего и послевузовского профессионального образования.
6. Установление уведомительного порядка начала предпринимательской деятельности с определением исчерпывающего перечня видов деятельности, на который такой порядок не распространяется.
7. Совершенствование оценочной деятельности.
8. Определение показателей для оценки эффективности государственного

управления имуществом и ресурсами.

9. Рассмотрение на заседаниях президиума Совета при Президенте РФ по противодействию коррупции программы повышения эффективности использования бюджетных ассигнований федерального бюджета.

10. Организацию мониторинга правоприменения в РФ и ряд других мер.

То есть основные принципы противодействия коррупции закрепляются в формате организационно- правовых основ предупреждения и борьбы с ней. Сама коррупция определяется путём перечисления примерных противоправных действий, которые характеризуются основным признаком коррупции – незаконным использованием лицом своего должностного положения вопреки законным интересам общества и государства, сопряжённое с получением выгоды, либо незаконным предоставлением такой выгоды указан- ному лицу другими лицами.

Среди законодательно предусмотренных можно также выделить следующие меры по борьбе с коррупцией (рис. 3.2):



Рисунок 3.2 – Меры по борьбе с коррупцией

Так, в настоящее время госслужащий должен сообщать своему работодателю, в прокуратуру или иные госорганы обо всех случаях склонения его к получению взятки. Кроме того, госслужащих обязали декларировать не только свои доходы и имущество (при этом перечень декларируемых доходов и имущества расширен), но и доходы и имущество своих супруга (супруги) и несовершеннолетних детей. Если госслужащие владеют ценными бумагами, акциями (долями участия, паями в уставных (складочных) капиталах организаций), то в целях предотвращения конфликта интересов они должны передать их в доверительное управление. Большинство принятых мер носит превентивный характер, предупреждающий противоречия экономических интересов граждан, занятых на государственной службе.

Чтобы исследовать экономическую природу коррупции, необходимо:

- 1) идентифицировать цели борьбы с коррупцией;
- 2) проанализировать виды экономического ущерба от коррупции;
- 3) выявить основные сферы коррупции;
- 4) определить причины коррупции;
- 5) дать экономическую интерпретацию антикоррупционных мер.

Для иллюстрации используем инвестиционно- строительную сферу как наиболее коррумпированную в силу объективно сложившихся и субъективных причин.

Итак, экономическая интерпретация целей противостояния коррупции может быть задана следующим образом:

1. Пресечь саморазрушение общества, сохранить единое экономическое пространство и финансовый суверенитет. Совершенно очевидно, что противоречия экономических интересов участников общественного производства при условии невнимательного отношения к ним рождают экономические кризисы, по сути своей далеко не всегда отличающиеся обновляющим характером.

2. Придать процессам развития предсказуемый и управляемый характер.

3. Ликвидировать препятствия резонансной синхронизации. Речь идёт о реализации синергетических эффектов развития, являющихся его неотъемлемой частью. Устранение препятствий совместной целенаправленной деятельности всех сфер национальной экономики связано с ликвидацией влияния множества факторов, одним из которых является коррупция.

4. Предоставить ресурсы развития самым высокоэффективным участникам рынка, способным быстрее осваивать и внедрять инновации, функционировать в режиме ответственности, выдерживать режим международной конкуренции. Не вызывает сомнения, что огромное количество «волевых решений» чиновников транслирует ресурсы развития не в лучшие, а в «свои руки», снижая эффективность, а зачастую и создавая невозможные для перемен условия.

В зависимости от характера ущерба, наносимого коррупцией, выделим следующие его виды:

I. Прямой ущерб, проявляющийся в:

1) нецелевом использовании средств. Этот вид ущерба носит характер прямого изъятия части средств, будь то «откаты», как фиксированной доли любой формы бюджетной поддержки (инвестиции, субсидии, гарантии и др.), или увод части выделенных средств в другие проекты;

2) отчислении части доходов функционирующего бизнеса как формы оплаты услуг его патронирования и сопровождения (прозванного бизнес-средой функцией «крышевания»).

II. Косвенный ущерб, природа которого определяется нарушением равенства стартовых и функциональных условий бизнеса. Формы его проявления выражаются в:

1) предоставлении ресурсов развития «ближайшему кругу» субъектов хозяйствования;

2) поддержке слабых и средних по мощности преобразования проектов.

Общим признаком I группы видов ущерба от коррупции является их прямой характер, во II группе ущерб проявляется не сразу и приобретает характер упущенной выгоды.

Конечная цель коррупции, независимо от её вида

– обогащение (максимально быстрый прирост доходов) государственных служащих и приравненных к ним категорий граждан за счёт использования нелегитимных методов присвоения общественного продукта. Характеристика основных сфер коррупции показана на рис. 3.3.

Понимая, что государственные заказы, гранты, венчурные и бюджетные инвестиции, государственные гарантии, субсидии и субвенции, а также нематериальные активы (запреты, разрешения, согласования и др.), широко представленные в коррупционных сделках, реализуются в формате государственно- частного партнерства, экономическая суть коррупции представляет собой нелегитимную форму государственно- частного партнерства. Оценка ущерба от отвлечения ресурсного потенциала развития в теневую сферу составляет 25% потенциала развития.



Рисунок 3.3 – Характеристика основных сфер коррупции

Что же является истинной причиной коррупции как довольно весомой части теневой экономики? Исследования показали, что причин множество, но едва ли не главные из них:

1) различие экономических интересов всех участников развития национальной экономики. Их специфика требует создания адекватных технологий согласования экономических интересов в формате управленческих процедур и регламентов;

2) коммерческий характер ряда функций, реализуемых государственным аппаратом (например, экспертиза, оценка и пр.);

3) ограниченность ресурсного обеспечения развития, недоступность их для «невхожих» и избыток для подопечных компаний, развитость теневого института посредничества, долевого участия и др.;

4) традиции патронажа, перерождаемые в формы «крышевания» и

контроля;

5) отсутствие внятных условий и процедур вхождения и ведения бизнеса в контролируемых государством сферах деятельности;

6) усиление международной конкуренции;

7) хронический характер проблем, эффект привыкания и отношение к коррупции, как к норме, устойчивой традиции бизнеса и государственного управления.

В этой ситуации крайне важно отыскать системную причину столь бурного расцвета коррупционных процессов теневой экономики. Ведь ясно, что и предпосылки, и стереотипы российских условий подпитаны некими фундаментальными процессами, системными деформациями. С точки зрения автора, ими являются характерные для любой, и особенно российской, экономики ценовые деформации ресурсных характеристик развития (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Характеристика ценовых деформаций (коррупционные процессы)

Должны быть реализованы следующие первоочередные антикоррупционные меры:

1. Систематизировать деятельность по упорядочиванию ценообразования на ресурсы развития, имея в виду уточнение целей, задач, полномочий, методического обеспечения, бюджета, сроков и ответственности.

2. Выстроить симметричную систему стимулирования госслужащих: ответственность за нарушения должна быть дополнена поощрением за исполнение.

Ввести практику отчёта о деятельности в режиме ответственности государственных органов и госслужащих за эффективность текущей деятельности и оперативно предпринимаемых мер.

3. Обеспечить синхронизацию и методическое обеспечение всех видов и форм контроля деятельности государственных органов и госслужащих.

4. Обосновать показатели эффективности, придать целям государственного управления измеримый характер, а правовым нормам – формат прямого действия.

5. Законодательно закрепить в бюджете и обеспечить финансирование материально-технического, организационного и информационного обеспечения антикоррупционных мер.

6. Разработать гибкие и адаптивные формы процедур и регламентов, методик и порядков расчёта, использовать модульный принцип нормативно-правового обеспечения антикоррупционной деятельности.

7. Освободить государственный аппарат от несвойственных функций коммерческого характера, передать их саморегулируемым и коммерческим организациям.

8. Разработать основы новой кадровой политики подбора, ротации, подготовки и переподготовки кадров.

9. Развить систему базового образования в целях специальной подготовки

госслужащих.

Иначе, речь идёт о ценовом, бюджетном, организационном, кадровом регулировании экономических процессов, сужающим возможную сферу коррупционных интересов. С точки зрения характеристики инструментов реализации указанных мер предлагается использовать следующие **механизмы**:

1. Законодательные инициативы, реализуемые как в постановочном, так и в корректирующем ход выполнения законов режиме.

2. Превентивность антикоррупционных мер, осуществление антикоррупционной экспертизы с последующей корректировкой проектных характеристик.

Бюджетные механизмы формирования и распределения средств финансирования антикоррупционных мер в диапазоне от научных исследований до практических мероприятий.

1. Реализация механизмов ответственности и контроля за антикоррупционные правонарушения.

2. Пропаганда легитимного режима правоотношений, независимость СМИ.

3. Консолидация усилий по противостоянию коррупции всех политических партий и общественных организаций.

4. Локализация мер в пространстве (субъектность полномочий, ресурсное обеспечение и адресность) и во времени (установление сроков и ответственность за их соблюдение).

5. Разработка и использование технологий согласования экономических интересов в оперативном режиме времени, введение антикоррупционных стандартов.

6. Унификация прав и ограничений, запретов и обязанностей госслужащих.

7. Транспарентность, доступность информации о деятельности государственных органов и учреждений для граждан и общественных

организаций.

8. Механизмы международного сотрудничества и содействия.

Реализация указанных мер и механизмов будет способствовать исправлению исторических неточностей, учёту объективного положения дел и сужению сферы коррупции как части теневой экономики.

Глава 4.

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.

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.

1.1. 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*.

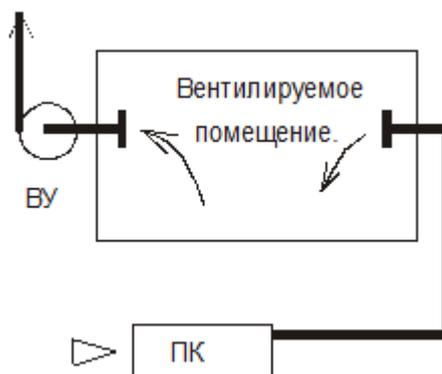


Рис. 1-1. Прямоточная приточно – вытяжная система вентиляции с механическим побуждением.

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.

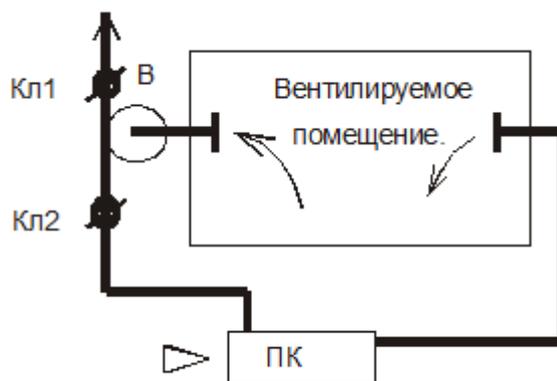


Рис. 1-2. Приточно – вытяжная система вентиляции с частичной рециркуляцией удаляемого воздуха

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 прямоточная. 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.

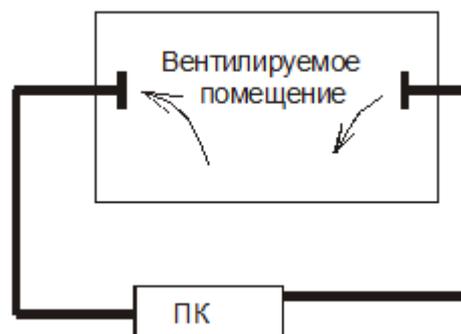


Рис.1-3. Приточно – вытяжная система вентиляции с полной рециркуляцией

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 загазован существенно.

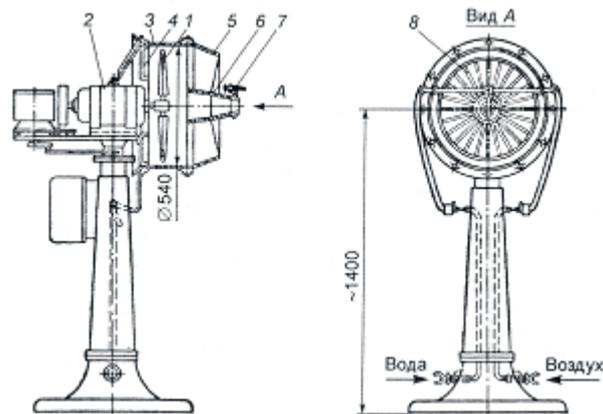


Рис. 1-5. Приточная местная вентиляционная установка с механическим побуждением (аэратор)

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

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.

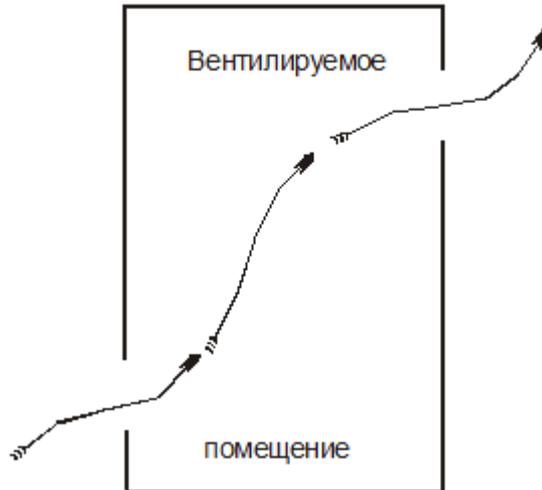


Рис. 1-6. Приточно – вытяжная система вентиляции с естественным (гравитационным, под действием ветра) побуждением (аэрация)

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.

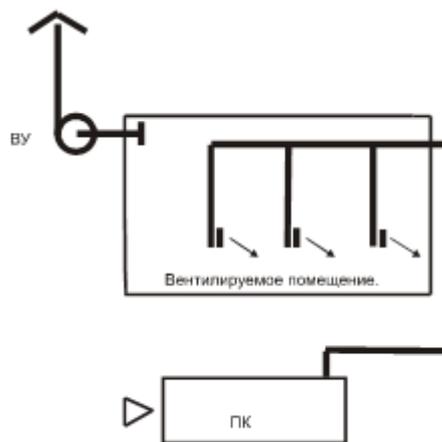


Рис. 1-7. Приточная местная канальная вентиляция (воздушное душирование)

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.*

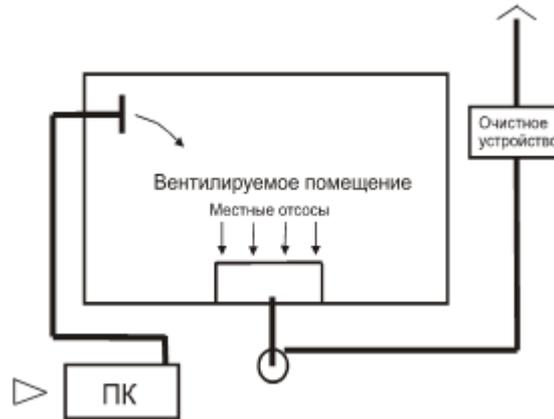


Рис. 1-8. Прямоточная приточно – вытяжная система вентиляции с общеобменным притоком и местной вытяжкой (через местные отсосы)

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.

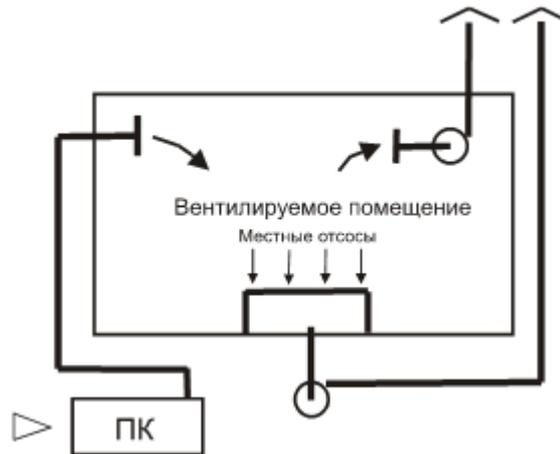


Рис. 1-9. Смешанная приточно – вытяжная система вентиляции

(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.

1.2. Классификация производственных помещений по взрывной и пожарной опасности

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).

1.3. Классификация вредных веществ по классам опасности

Нормами установлены классы опасности вредных веществ, представленные в таблице 1.1.

Таблица 1.1.

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 качестве примера: рекомендуемые скорости воздуха в проёмах окрасочных камер зависят от класса опасности вредных выделений, см. таблицу 1.2.

Таблица 1.2.

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	1	1,3

распыление	2 и 3	1,0
	4	0,7

2. Нормативно-технические документы

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 131.13330.2018 «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:

1. *тёплого* (ТП), период года со среднесуточной температурой $t > 10$ °С;
2. *переходного* (ПП), среднесуточная температура равна 10 °С, удельная энтальпия 26,5 кДж/кг;
3. *холодного* (ХП), среднесуточная температура $t < 10$ °С.

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.

2.1. 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	Категория работ	Температура, °С				Относительная влажность, %		Скорость движения, м/с	
		оптимальная	Допустимая		оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных, не более	оптимальная	допустимая на рабочих местах постоянных и непостоянных	
			верхняя граница	нижняя граница					
			на рабочих местах						постоянных
постоянных	непостоянных	постоянных	непостоянных						

Холодный и переходный	Легкая - Ia	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	Не более 0,1
	Легкая - Ib	21-23	24	25	20	17	40-60	75	0,1	Не более 0,2
	Средней тяжести - Pa	18-20	23	24	17	15	40-60	75	0,2	Не более 0,3
	Средней тяжести - Pb	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не более 0,4
	Тяжелая - Ш	16-18	19	20	13	12	40-60	75	0,3	Не более 0,5
Теплый	Легкая - Ia	23-25	28	30	22	20	40-60	55(при 28°C)	0,1	0,1-0,2
	Легкая - Ib	22-24	28	30	21	19	40-60	60(при 27°C)	0,2	0,1-0,3
	Средней тяжести - Pa	21-23	27	29	18	17	40-60	65(при 26°C)	0,3	0,2-0,4
	Средней тяжести - Pb	20-22	27	29	16	15	40-60	70(при 25°C)	0,3	0,2-0,5
	Тяжелая - Ш	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:

$$\frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} \leq 1$$

(2.1)

где $C_1, C_2 \dots C_n$ - 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:

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

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;

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

3. Вредности в воздухе помещения

3.1. Выбор значимой вредности и количества её поступления в воздух помещения

В помещениях производственных людей 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 источником 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 помещении 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.

Источники поступления теплоты в помещениях промышленных зданий, расчет теплоступлений от них. Расчет теплопотерь.

Теплоступления 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:

$$Q = A \cdot b \cdot \varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot (t_{\text{пов}}^4 - t_{\text{в}}^4) \quad (3.1)$$

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 Вт/(м² К⁴);

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

Таблица 3.1.

$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	А	$t_{\text{пов}}, ^\circ\text{C}$	А
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 А 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 теплопоступлений 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.

Теплопоступления 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:

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

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

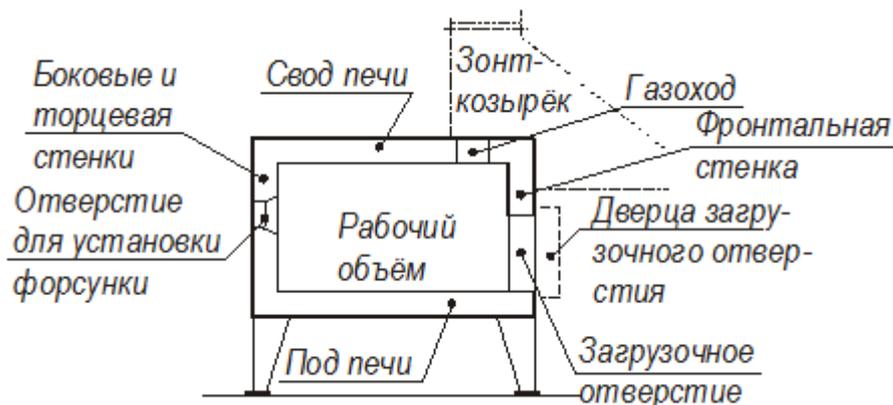


Рис. 3.1. Конструкция и отдельные элементы нагревательной печи.

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 тепlopоступления 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.

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

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

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

$$+ Q_{\text{загруз.лв.}} + Q_{\text{загруз.отв.}}$$

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 °С):

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

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 °С 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:

$$q_{\text{загруз.отв.}} = C_0 T_{\text{печи}}^4 \Phi_{\text{отв.}} \quad (3.5)$$

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

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

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

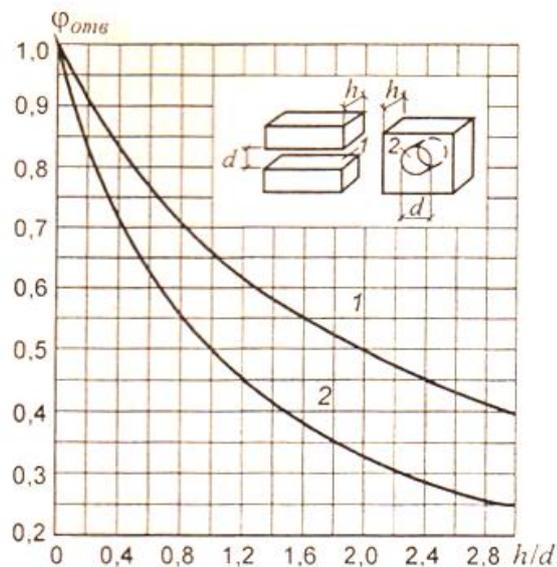


Рис. 3-2. Коэффициент облучённости $\Phi_{\text{отв.}}$ плоскости в пределах загрузочного отверстия в стенке толщиной h на отметке наружной поверхности печи с учётом отражения от поверхности откосов в рабочий объём печи для щелевого (1) и цилиндрического отверстий (2)

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.

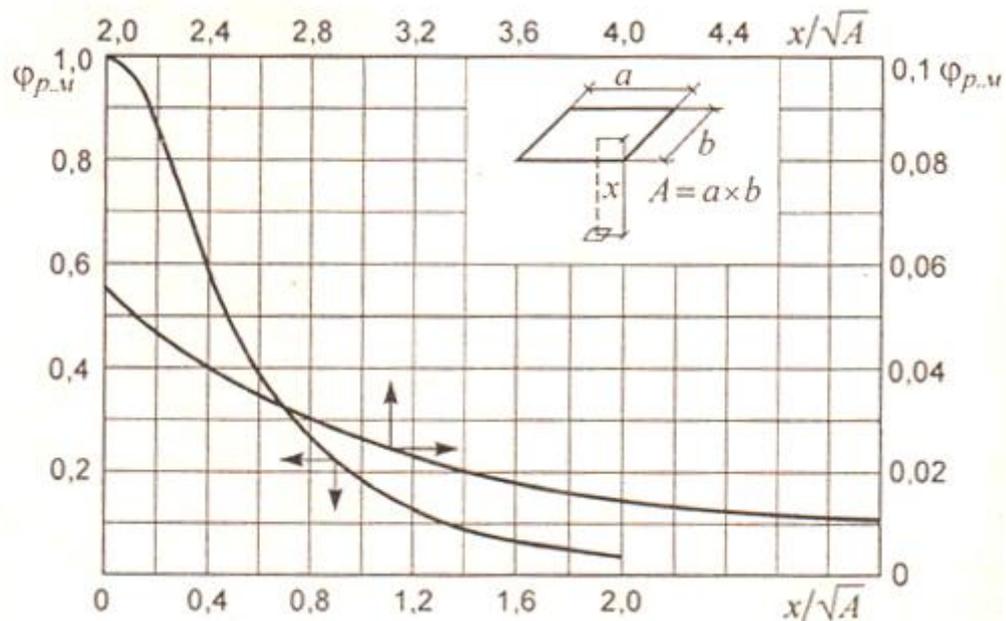


Рис. 3-3. Зависимость коэффициента облучённости рабочего места от расстояния x до центра излучающей поверхности площадью F (в зависимости от отношения x/\sqrt{F})

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

$$Q_{\text{загруз. отв.}} = \varphi_{p.m.} \cdot \varphi_{\text{отв}} \cdot C_0 (T_{\text{печ.}}/100)^4 A \quad (3.6)$$

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

Теплопоступления от электрических печей нельзя рассчитывать по величине установочной электрической мощности $N_{уст.}$, 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 помещении электрическими печами существует несколько способов:

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

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

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

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

Если указанные величины неизвестны, ориентировочно теплопоступления 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.

• <i>Тип электрической печи</i>	Значения а, Вт
Камерные, шахтные, методические	200

Колокольные	130
Муфельные	150
Печи – ванны	400
Печи, без указания типа печи	250

- Теплопоступления 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 теплопоступлений 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 тепlopоступления, 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, $K_{одн}$ (0,5 – 1) (при нескольких единицах установленного оборудования часть может простаивать, например, по причине ремонта);

- коэффициент загрузки, $K_{загр}$ (0,5 – 0,8) (при работе механического оборудования не всегда используется вся установочная мощность);

- коэффициент использования мощности $K_{исп}$ (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_T).

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

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

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

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

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, тепlopоступления в помещение сварочных работ можно определить как:

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

Тепlopоступления 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, $Q_{\text{р}^{\text{H}}}$, кДж/нм³:

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

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.

Тепlopоступления от остывающих материалов имеют место в кузнечных, термических цехах и подобных им производств. 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 $^{\circ}\text{C}$;
 G – масса остывающих изделий, кг; $t_{\text{мат.}}$ и $t_{\text{в}}$ – соответственно, начальная температура материала изделия и температура воздуха цеха, $^{\circ}\text{C}$.

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

В таблице 3.3 представлены теплофизические характеристики стали и чугуна, позволяющие определить количество теплоты по формулам 3.20 и 3.21.

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 $t_{\text{тв}}$ 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 Fo , 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:

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

(здесь ρ – плотность материала, кг/м³; λ – теплопроводность материала, Вт/м °С, в случае сыпучих материалов должна быть увеличена на 25%; $\alpha_{\text{пов.}}$ – коэффициент теплообмена на поверхности изделия, вычисляемы по формуле:

$$\alpha_{\text{пов.}} = \left(\varepsilon_{\text{пр.}} C_0 b + A \sqrt[3]{t_{\text{пов.}} - t_0} \right); A \text{ – поверхность изделия, м}^2.$$

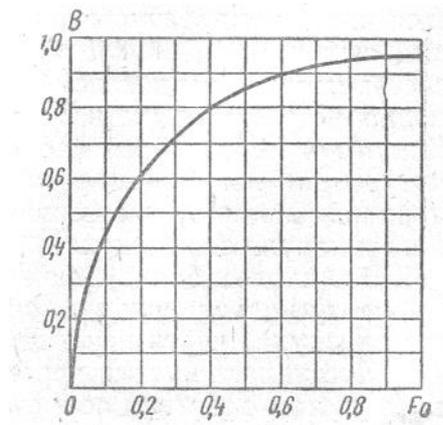


Рис 3-4. Зависимость от критерия Fo доли избыточной теплоты изделия, выделившейся в помещении

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:

$$Q = \frac{Q_{\text{выд.}}}{\Delta z} = \frac{G \alpha_{\text{пов.}} (t_{\text{пов.}} - t_0)}{\Delta z} \quad (3.25)$$

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 3.25 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.

● <i>Тип вагона</i>	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 B 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 $q_{\text{п}}$.

Цех	Значения $q_{\text{п}}$, Вт/м ³ при объёме 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 теплопоступлениях. 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
		• <i>Тёплый</i>						

		Переходный						
		Холодный						

Продолжение таблицы 3.6.

Теплопоступления		Теплопотери помещения					Избыточная теплота	
От коммуникаций	суммарные	Через ограждения	От инфильтрации	Нагрев материалов и транспорта	Врывание воздуха через проёмы	Суммарные	Вт	Вт/м ³
10	11	12	13	14	15	16	17	18

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.

$t_{\text{пов}}^{\circ}\text{C, до}$	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 толщ испаряющейся жидкости и её поверхности при различных значениях температуры толщ жидкости

Температура толщ воды, °С	До 40	70 – 75	99
Разность температур толщ воды и температуры её поверхности, °С	2	12	3

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

$$W = 6,1 (t_c - t_m) \quad (3.29)$$

где t_c и t_m – 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, заключённых 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.

4. Местные отсосы.

4.1. Общие сведения.

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, 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».

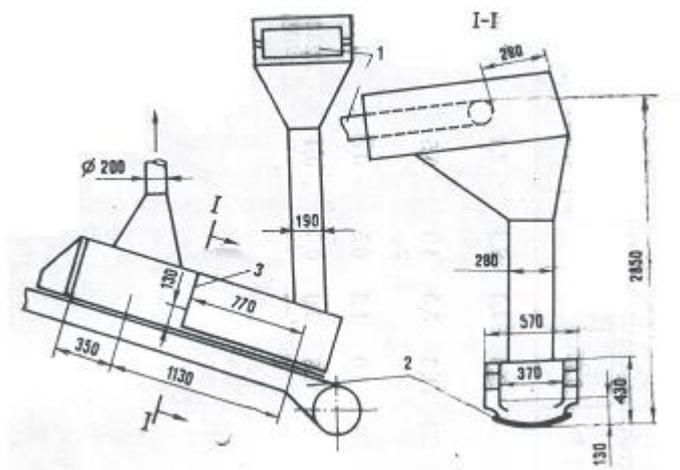


Рис. 4-1. Схема перегрузочного узла сыпучего материала из желоба на транспортёрную ленту.

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 жёлоба сечением 280x190 мм;
- корытообразного укрытия, разделённого жёсткой перегородкой, к нижней части которого присоединён жёлоб, 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 жёлоб. В бункере и по желобу сыпучий материал перемещается силой тяжести. Падающий материал вовлекает в движение воздух, придавая ему кинетическую энергию. По достижении транспортной 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 желобу как:

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

где H — высота падения материала в желобе, м; f_m — коэффициент трения материала о поверхность желоба; α - угол наклона желоба 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, $m^3/ч$, 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.

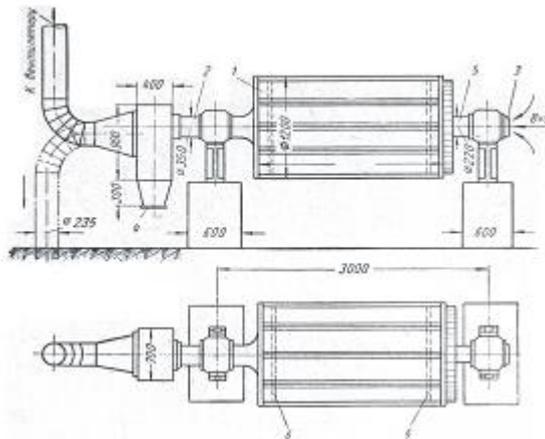


Рис. 4-2. Вентиляция очистного (галтовочного) барабана.

1 – очистной барабан; 2 – полая цапфа, через которую удаляется запылённый воздух; 3, 5 – полая цапфа, через которую воздух поступает в барабан; 4 – пылеосадочная 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.

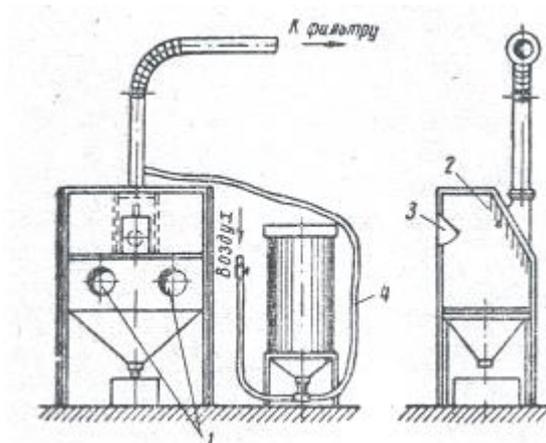


Рис. 4-3. Пескоструйная камера для очистки металлических изделий. Рабочее место находится за пределами объёма пескоструйной камеры.

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

Описание пескоструйной (гидропескоструйной) 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 обеих видов (рис. 4-3) обслуживаются снаружи. При внутреннем объёме камеры меньшем 1 м^3 , объём удаляемого из камеры воздуха не может быть меньшим $1000 \text{ м}^3 / \text{ч}$, но должен обеспечивать кратность воздухообмена 1800 1/час . Если объём камеры в пределах $1 \dots 8 \text{ м}^3$, 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.

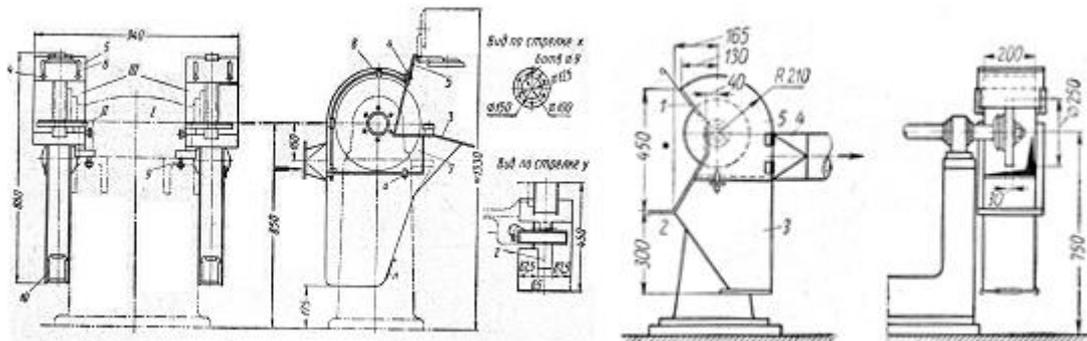


Рис.4-4. Защитно-обеспыливающие кожухи

Обдирочно-шлифовального и полировального станков.

а – кожухи обдирочно- шлифовального станка; *б* – полировального станков

Объемный расход воздуха L , м³/ч, удаляемого от заточных, шлифовальных и обдирочных станков, определяется в зависимости от диаметра круга $d_{кр}$, мм:

при $d_{кр} < 250$ мм

$$L = 2d \quad (4.5)$$

при $d_{кр}$ от 250 до 600 мм

$$L = 1,8d_{кр} \quad (4.6)$$

при $d_{кр} > 600$ мм

$$L = 1,6d_{кр} \quad (4.7)$$

При конструировании отсоса для абразивного круга следует обеспечить его механическую прочность, достаточную, чтобы без разрушения выдержать удар кусков развалившегося под действием центробежной силы абразивного круга.

Укрытие полировальных станков с матерчатыми или войлочными кругами выполняется более лёгкой конструкции, так как при разрушении кругов не образуются массивных элементов. Эти круги изнашиваются более быстро и требуют более частой замены, нежели абразивные, поэтому верхняя часть укрытия выполняется откидной.

Объёмный 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.

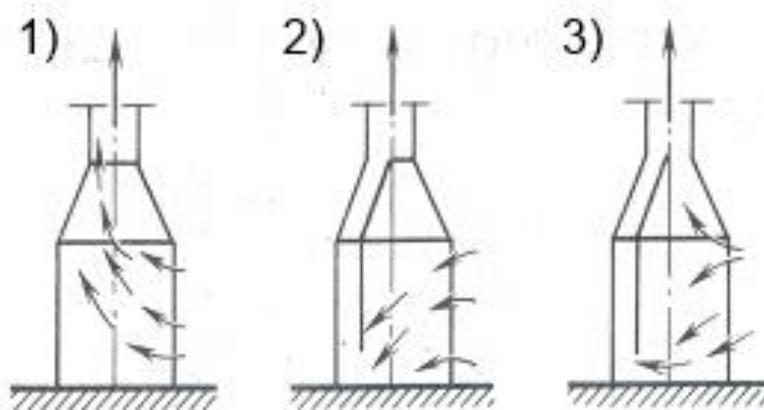


Рис. 4-5. Конструктивные схемы вытяжных шкафов для улавливания вредных паров и газов различной плотности и пыли.

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 объёме 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.

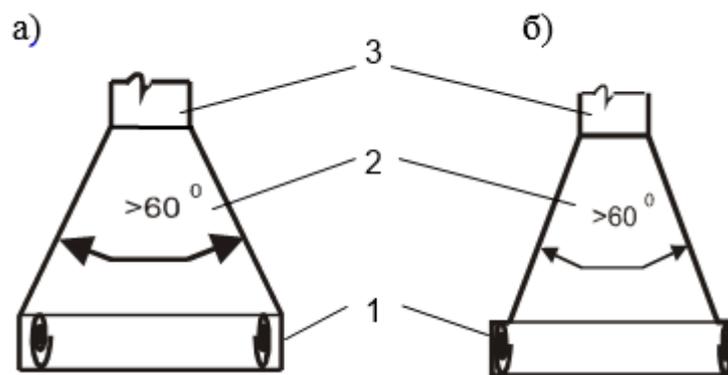


Рис. 4-6. Принципиальная схема вытяжного зонта.

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:

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

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:

$$L = 40 \sqrt{F Q} \quad (4.12)$$

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.

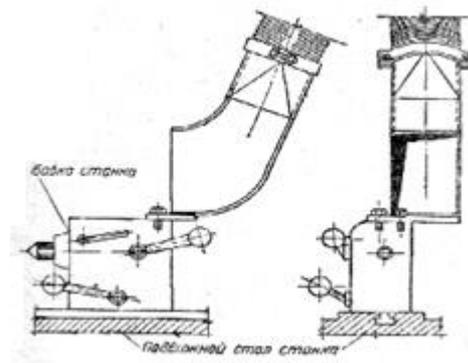


Рис. 4-7. Схема всасывающей воронки

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.

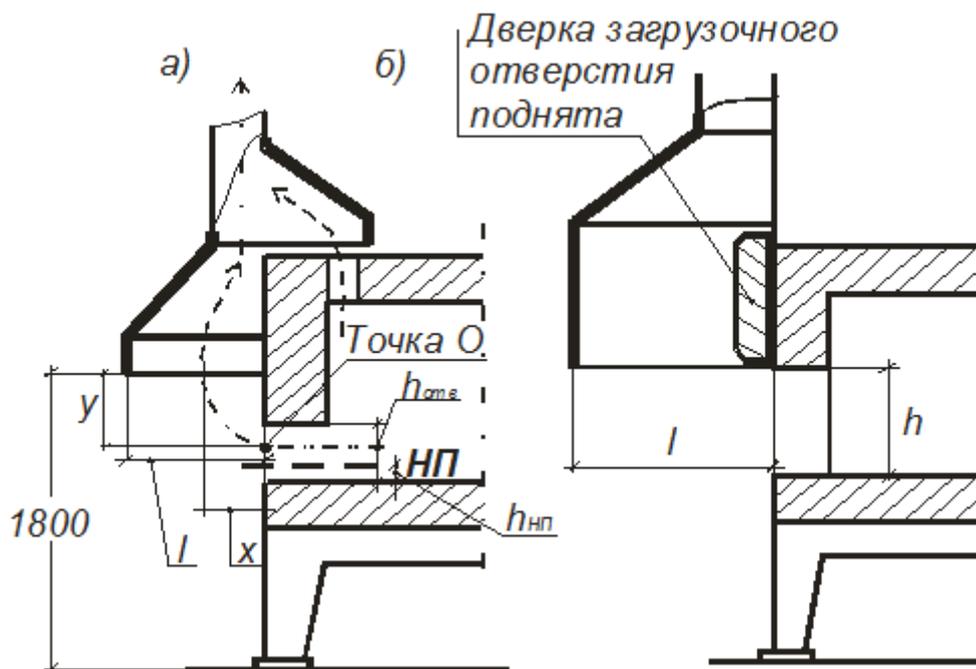


Рис. 4-8. Схемы зонтов – козырьков.

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 $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $300\text{ — }400\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- если вытяжка производится вентиляторами с клиноремённой передачей, температуру смеси принимают в пределах $120\text{ – }130\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- в случае крепления рабочего колеса вентилятора на ось электродвигателя (исполнение 1) – $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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:

4. 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;

5. 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 аздов в цех.

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

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

$$\Delta p_{\text{ниже нп}} = \rho_{\text{газ}} g h_{\text{ниже нп}} \quad (4.13)$$

Давление для части загрузочного отверстия, расположенного выше НП:

$$\Delta p_{\text{выше нп}} = \rho_{\text{газ}} g h_{\text{выше нп}} \quad (4.14)$$

Гравитационное давление для газохода:

$$P_{\text{нижеНП}} = P_{\text{газ}} + \rho \cdot g \cdot h_{\text{нижеНП}} \quad (4.15)$$

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

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

$$G_{\text{нижеНП}} = \mu \cdot F_{\text{нижеНП}} \cdot \sqrt{2 \cdot P_{\text{нижеНП}}} \quad (4.16)$$

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

$$G_{\text{вышеНП}} = \mu \cdot F_{\text{вышеНП}} \cdot \sqrt{2 \cdot P_{\text{газ}}} \quad (4.17)$$

- массовый расход через газоход, кг/ч:

$$G_{\text{газ}} = \mu \cdot F_{\text{газ}} \cdot \sqrt{2 \cdot P_{\text{газ}}} \quad (4.18)$$

- 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:

$$v_{\text{исх}} = \frac{C_{\text{высх}} \sqrt{2gH_0}}{\sqrt{1 - \frac{H_0}{H_1}}} \quad (4.20)$$

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

$$d_{\text{экв}} = \frac{2 \sqrt{d_1 d_2}}{\sqrt{1 + \frac{d_1}{d_2}}} \quad (4.21)$$

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

$$Ar = \frac{g d_1 T_{\text{ср}}}{v_{\text{исх}}^2 T_g} \quad (4.22)$$

- на основе уравнения оси струи, искривляемой действием гравитационных сил:

$$\frac{y}{d_{\text{зз}}} = \frac{0,5 A_r x}{m d_{\text{зз}}} \quad (4.23)$$

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 :

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

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

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

Высота струи на входе в зонт:

$$H_{\text{струи}} = \dots \quad (4.26)$$

Ширина зонта:

$$V_{\text{зонта}} = V_{\text{об}} \quad (4.27)$$

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 $t_{\text{смеси}}$:

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

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

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

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 вредных веществ при меньшем расходе воздуха.

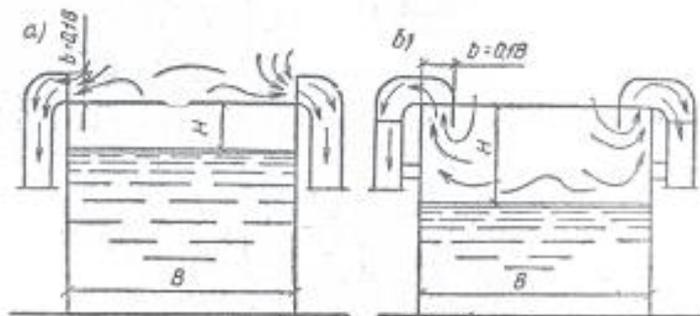


Рис4-9. Бортовые отсосы.

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.

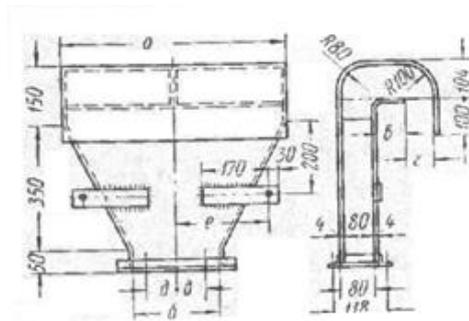


Рис. 4-10. Конструкции секций обычного и опрокинутого бортовых отсосов

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 В, но не менее 50 мм.

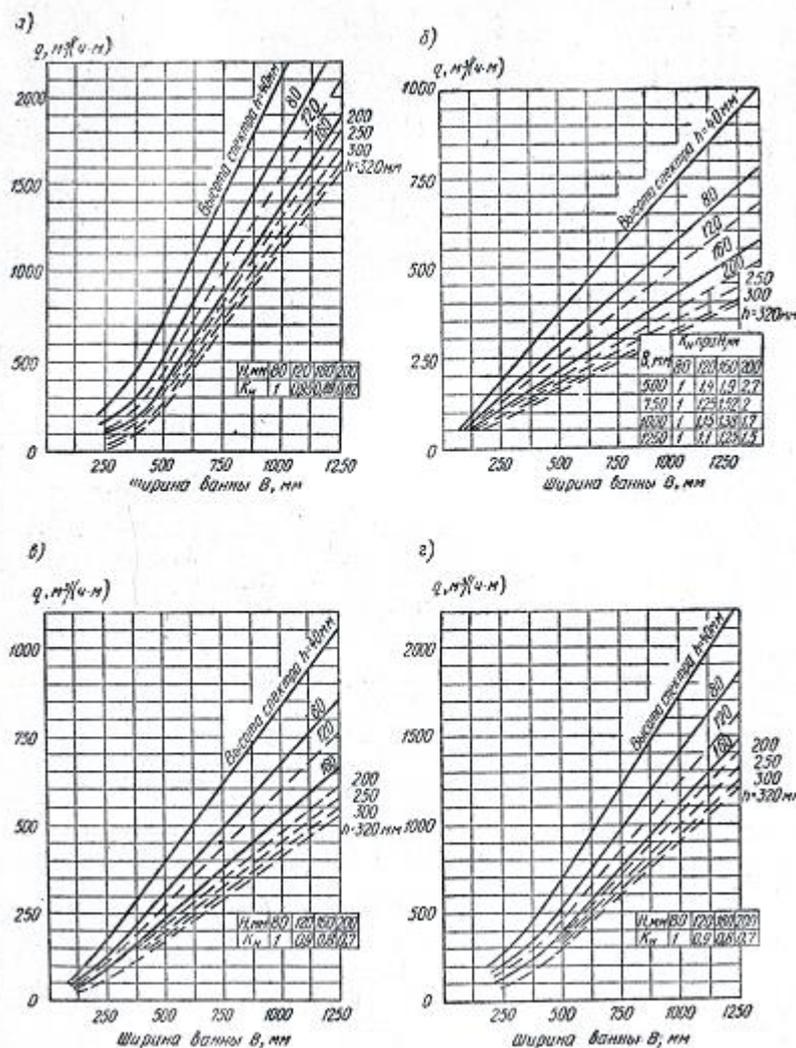


Рис. 4-11. Графики для определения удельного расхода воздуха одним погонным метром щели бортового отсоса: а) обычный однобортовой отсос; б) обычный двухбортовой отсос; в) опрокинутый двухбортовой отсос; г) опрокинутый однобортовой отсос.

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 устанавливаются 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).

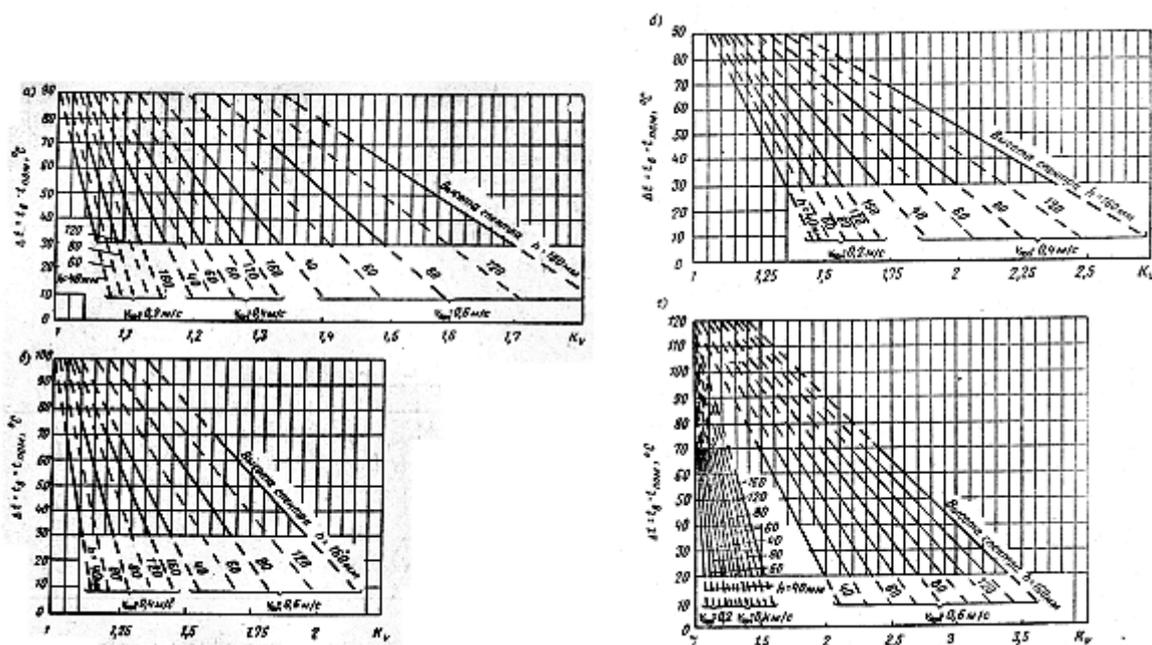


Рис. 4-12. Поправки на подвижность воздуха в помещении.

а) для однобортовых обычных и опрокинутых отсосов; б) для обычных двухбортовых 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 , $\text{м}^3/\text{ч}$, удаляемого бортовыми отсосами перечисленных выше видов, может быть определен по формуле:

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

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 $\Delta t = t_v - t_{\text{пом}}$ следует принимать не менее 10° С. 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 °С	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	Хромовый ангидрид	40

			кислота		
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.

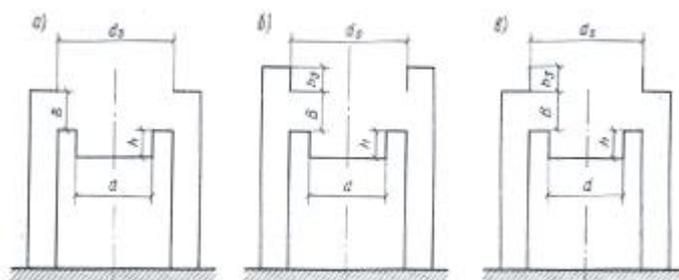


Рис. 4-13. Схемы кольцевых отсосов.

a – 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 - $\Gamma = (B + h_3)$.
- рис. 4-13в - $\Gamma = (B + h_3)$.

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 теплоотдача 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 $V/d_0 = \geq 1,5$ 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 $\alpha_{\text{вз}} \sqrt{t_{\text{пов}} - t_{\text{в}}}$ – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м² °С);

$t_{\text{пов}}$ и $t_{\text{в}}$ - температура поверхности печи или ванны и температура воздуха помещения, °С.

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.

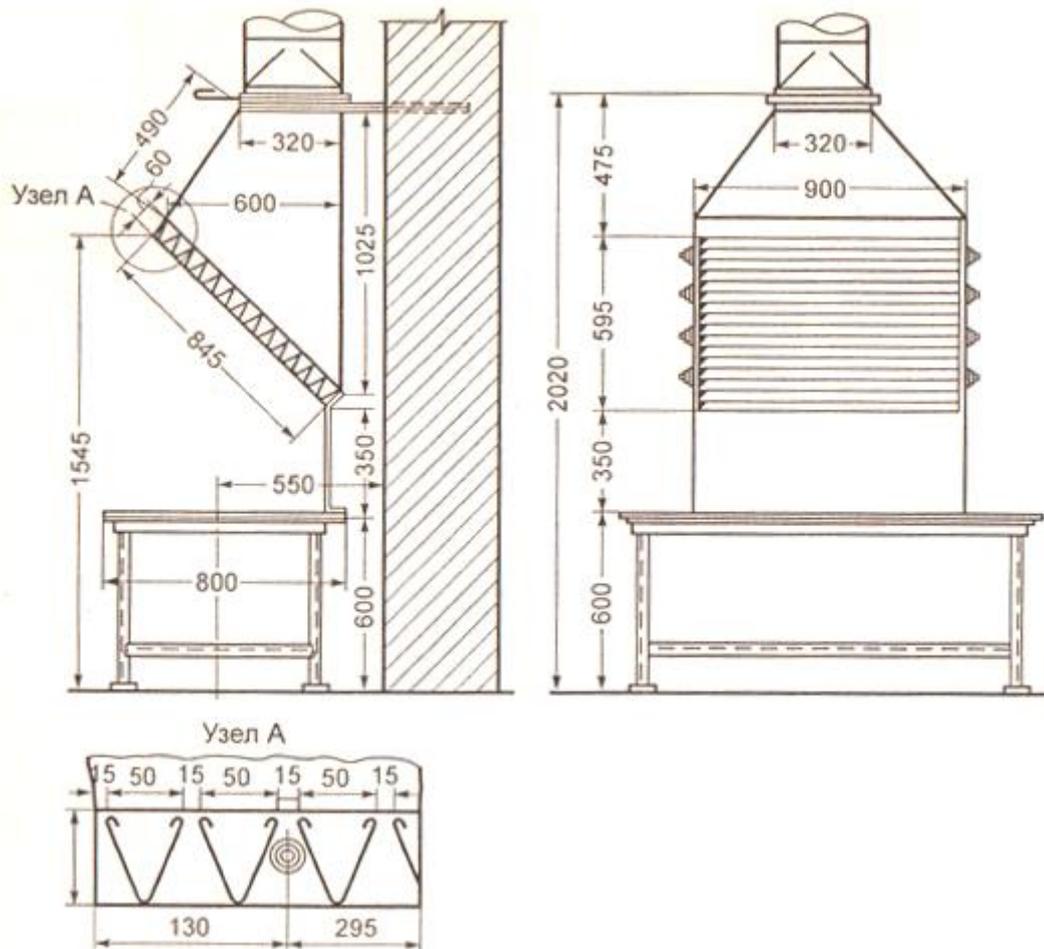


Рис. 4-14. Панели равномерного всасывания конструкции инж. Чернобережского.

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

5. Аэрация.

5.1. Определение, конструктивные элементы, организация воздухообмена.

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 доходящими до пола на 2-4 м.

5.2. Алгоритмы расчетов аэрации в производственных зданиях

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 следующего 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 проходу 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:

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

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

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

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 $G_{уд}$.

Последовательность расчета.

1. Принимаем $t_{np} = t_n$.

2. Определяем t_{yx}

$$t_{yx} = t_{p3} + K \cdot (H - 2) = t_n + \frac{t_{p3} - t_n}{\mu} \quad (5.11)$$

3. Определяем среднюю температуру по объему здания

$$t_{cp} = \frac{t_{yx} + t_{p3}}{2} \quad (5.12)$$

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

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

$$g_1 = \frac{1}{\mu_1} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_1 \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_{cp})}{\rho_n}}; g_2 = \frac{1}{\mu_2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot H_2 \cdot g \cdot (\rho_n - \rho_{cp})}{\rho_{cp}}} \quad (5.15)$$

8. Определяем площади приточных и вытяжных проемов

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

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

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.

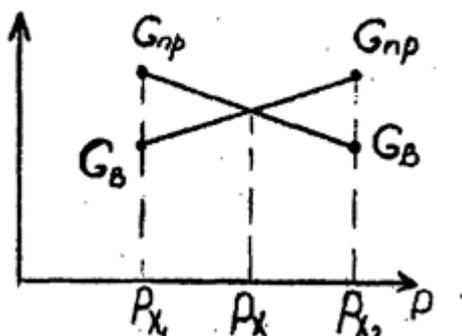


Рис. 5-1. К определению баланса воздуха

Метод ветрового давлений.

По известным расходам воздуха G_{np} и $G_{y\delta}$ определяют площади аэрационных проемов F_{np} и $F_{y\delta}$.

Последовательность расчета.

1. Определяют температуры t_{pz} , t_v , $t_{y\delta}$, 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

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

7. Определяют площади аэрационных проемов

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

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

$$F_{y\partial} = \frac{G_{np}}{3600 \cdot \mu_1 \cdot \vartheta_1 \cdot \rho_n}; F_{y\partial} = \frac{G_{y\partial}}{3600 \cdot \mu_2 \cdot \rho_n \vartheta_2} \quad (5.27)$$

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

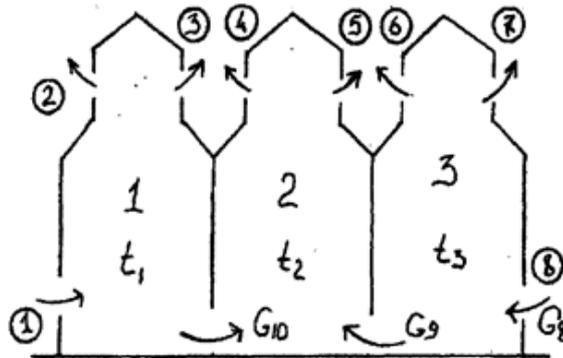


Рис. 5-2. Схема аэрации многопролетного цеха

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

$$t_{y0}^{(2)} = t_{np}^{(2)} + \frac{t_{p3}^{(2)} + t_{np}^{(2)}}{m^{(2)}} \quad (5.30)$$

8. Определяют необходимое количество воздуха для каждого пролета

$$G^{(2)} = \frac{Q_{узб}^{(2)}}{c \cdot (t_{y0}^{(2)} - t_{np}^{(2)})} = G_9 + G_{10} = G_{10} \cdot (\alpha + 1); G_{10} = \frac{G^{(2)}}{\alpha + 1}; G_9 = G_{10} \cdot \alpha \quad (5.31)$$

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

$$G_{2-3} = \frac{Q_{узб}^{(1)}}{c \cdot (t_{y0}^{(1)} - t_{np}^{(1)})}; G_{6-7} = \frac{Q_{узб}^{(3)}}{c \cdot (t_{y0}^{(3)} - t_{np}^{(3)})} \quad (5.32)$$

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

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

6. Балансовые уравнения.

Факторы, учитываемые при составлении балансовых уравнений потоков воздуха и вредных выделений. 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 *однаправленного* действия – сумме воздухообменов, вычисленных по всем видам значимых вредностей.

При составлении балансовых уравнений пользуются объёмным, м³/ч, и массовым, кг/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/м³ или г/м³.

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°С. 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.

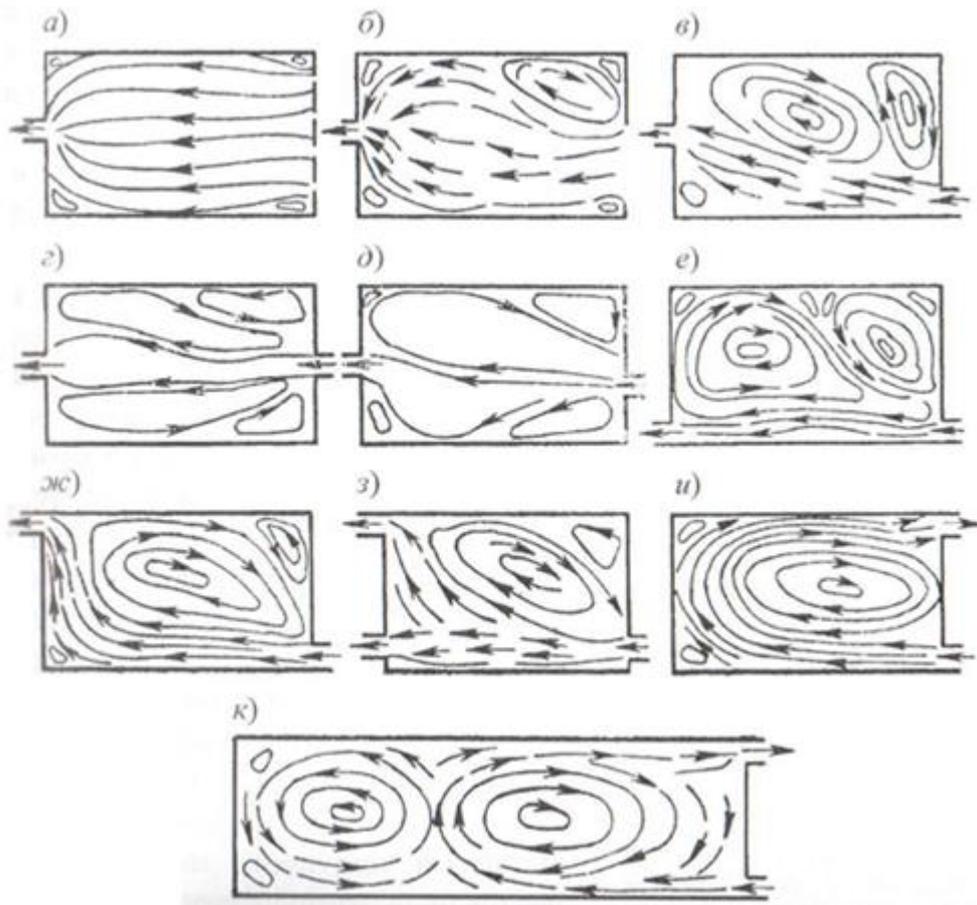


Рис. 6-1. Схемы движения воздуха в моделях вентилируемого помещения

На рис. 6-1 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 6-1а и 6-1б, худшими являются варианты 6-1з и 6-1и. В случае протяжённого помещения (рис. 6-1к) примерно 1/3 помещения не проветривается даже частично, так как этот объём полностью заполнен непроветриваемой зоной циркуляции.

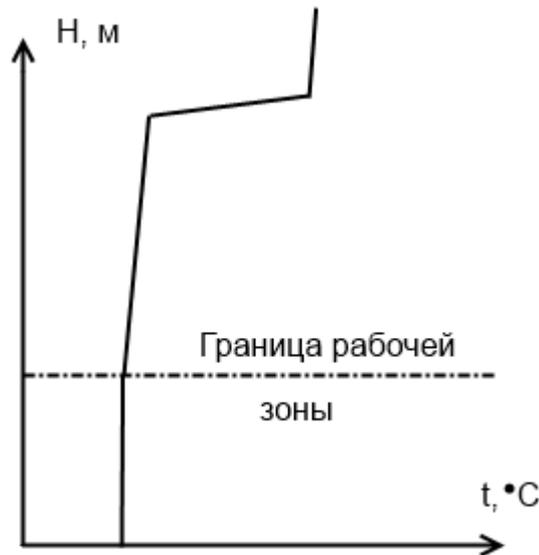


Рис. 6-2. Распределение температуры воздуха по высоте помещения с естественным расслоением воздуха в виде «температурного перекрытия»

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 подушкой». (Рис 6-2) «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 затрудняют 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.

$$t_y = t_{p.z.} + (\text{grad } t) \cdot (H_{\text{пом}} - h_{p.z.}) \quad (6.1)$$

где t_y - температура удаляемого из верхней зоны помещения воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{p.z.}$ - расчётная температура рабочей зоны помещения, $^{\circ}\text{C}$;

$(\text{grad } t)$ – градиент повышения температуры воздуха по высоте помещения, $^{\circ}\text{C}/\text{м}$, в таблица 6.1;

$H_{\text{пом}}$ и $h_{p.z.}$ - соответственно, высота помещения и рабочей зоны, м.

Таблица 6.1.

Градиенты температуры воздуха по высоте помещений

Удельные избытки явного тепла, кДж/м ³	Grad t, $^{\circ}\text{C}$
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 — теплomu.

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:

$$K_T = \frac{t_y - t_0}{t_{pz} - t_0} \quad (6.2)$$

концентрационный коэффициент воздухообмена:

$$K_c = \frac{C_y - C_0}{C_{pz} - C_0} \quad (6.3)$$

коэффициент воздухообмена по влагосодержанию:

$$K_d = \frac{d_y - d_0}{d_{pz} - d_0} \quad (6.4)$$

где t , C , d – соответственно, температура, $^{\circ}\text{C}$, C - концентрация, $\text{мг}/\text{м}^3$ и d - влагосодержание, $\text{г}/\text{кг}$; 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 :

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

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

Тепловыделения, поступающие в рабочую зону: $Q_{p.z.} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$, 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 – теплопоступления от солнечной радиации; Q_5 – тепловыделения от людей.

Таблица 6.2.

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

Способ подачи воздуха	$q_{p.z.}$	Место удаления воздуха общеобменной вентиляцией	k_t
Непосредственно в рабочую зону	1	Из верхней зоны	1

(далее Р.З.)	0,7		1,4
	0,5		2,0
Наклонными струями в направлении Р.З. с высоты до 4-х метров от пола помещения	1	То же	1
	0,7		1,2
	0,5		1,3
То же с высоты более 4-х метров настилающимися на потолок или вертикальными струями по схеме «сверху-вниз»	1	То же	1
	0,7		1
	0,5		1,2
То же с высоты более 4-х метров настилающимися на потолок компактными, веерными струями	1	При вытяжке из настилающейся струи или из зоны вблизи распространяющейся в горизонтально струи.	0,9
	0,5		0,85
Выше рабочей зоны настилающейся струей		при $\frac{h_6}{\sqrt{A_{стр}}} = 10$	0,8
		при $\frac{h_6}{\sqrt{A_{стр}}} = 20$	0,9
		при $\frac{h_6}{\sqrt{A_{стр}}} = 30$	0,95
Выше рабочей зоны не настилающимися на потолок струями	1	Из верхней зоны	0,85
	0,7		0,95
	0,5		1

Пояснения.

1. $h_в$ – 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:

$$t_y = t_0 + K_t(t_{p.z} - t_0) \quad (6.5)$$

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_0 , г/(м³ч), мг/(м³ч).

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

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: $L_{выт}(C_{уд} - C_0)$, где $C_{уд}$ – 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: $L_{выт}^{мо}(C_{pz} - C_0)$, где C_{pz} – 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 , $\text{м}^3/\text{ч}$. Вытяжка - из верхней или нижней зоны, в зависимости от плотности выделяющейся примеси.

- количество выделяющейся примеси – M , $\text{мг}/\text{ч}$;
- концентрация вредной примеси в наружном воздухе - C_0 ;
- то же в удаляемом воздухе верхней или нижней зоны — $C_{\text{уд.}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Решение.

Балансовое уравнение потоков вредностей:

$$-L(C_{\text{уд}} - C_0) + M = 0.$$

Воздухообмен, $\text{м}^3/\text{ч}$, ассимилирующий вредность:

$$L = \frac{M}{C_{\text{уд}} - C_0} \quad (6.6)$$

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 , $\text{м}^3/\text{ч}$;
- одна вытяжка из верхней или нижней зоны $L_{\text{уд}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, в зависимости от плотности выделяющейся примеси;
- вытяжка через местные отсосы $L_{\text{мо.}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$;
- выделение примеси M , $\text{мг}/\text{ч}$;
- концентрация вредной примеси в наружном воздухе - C_0 , $\text{мг}/\text{м}^3$;
- то же, но в удаляемом — $C_{\text{уд.}}$, $\text{мг}/\text{м}^3$.

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

Расчётный воздухообмен по притоку:

$$L = \frac{M + L_{мо}(C_{yд} - C_{pz})}{C_{yд} - C_0} \quad (6.7)$$

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

Составляющие балансовых уравнений:

- общеобменный приток в рабочую зону, L , $\text{м}^3/\text{ч}$;
- местный, $L_{душ}$, $\text{м}^3/\text{ч}$, 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 , $\text{мг}/\text{ч}$;
- концентрация вредной примеси в наружном воздухе - C_0 , $\text{мг}/\text{м}^3$;
- то же, но в удаляемом из верхней зоны воздухе — $C_{yд}$, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Балансовое уравнение источников и потока вредностей:

$$C_0L + C_0L_{душ} + M - (L + L_{душ})(C_{yд} - C_0) = 0, \text{ откуда:}$$

$$L_{прит} = L + L_{душ} = \frac{C_0L + C_0L_{душ} + M}{C_{yд} - C_0} \quad (6.8)$$

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

Составляющие балансовых уравнений:

- приток общеобменный, $L, \text{м}^3/\text{ч}$;
- приток местный, $L_{\text{душ}}, \text{м}^3/\text{ч}$;
- вытяжка через местные отсосы, $L_{\text{мо}}, \text{м}^3/\text{ч}$;
- вытяжка из верхней зоны помещения, $L_{\text{вз}}, \text{м}^3/\text{ч}$;
- выделение вредной примеси – $M, \text{мг}/\text{ч}$;
- концентрация вредной примеси в наружном воздухе - $C_0, \text{мг}/\text{м}^3$;
- то же в удаляемом — $C_{\text{уд}}, \text{мг}/\text{м}^3$.

Балансовое уравнение:

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

Требуемый приток в помещении:

$$L_{\text{прит}} = L + L_{\text{душ}} = \frac{L_{\text{мо}}(C_{\text{рз}} - C_0) + L_{\text{вз}}(C_{\text{уд}} - C_0) - M}{C_0} \quad (6.9)$$

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

Приведенные выше формулы применимы и для определения воздухообмена по влагоизбытков, 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 приточных установки отсутствуют.*

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

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

$G_{прит}$, $G_{выт}$, G_{CH} , $G_{прит}^{aэр}$, $G_{выт}^{aэр}$ – 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, °С;

$\pm Q_{ХП}$, $\pm Q_{ПП}$, $\pm Q_{ТП}$ – 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 $G_{прит} = G_{выт} = G_{СН}$;

уравнение теплосодержаний и избытков – недостатков теплоты:

$$c_в t_{прит} G_{СН} - c_в t_{уд} G_{СН} + (- Q_{ХП}) = 0.$$

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

$$t_{прит} = \frac{Q_{ХП} + c_в t_{уд} G_{СН}}{c_в G} \quad (6.10)$$

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:

$$t_{прит} = \frac{Q_{ПП} + c_в t_{уд} G_{СН}}{c_в G} \quad (6.11)$$

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

• *в цехе – теплоизбытки $Q_{ПП}$.*

Возможны три варианта:

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

$Q_{ПП} < c_в G_{СН}(t_{P3} - t_{нар}^{ПП})$. 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. $Q_{ПП} = c_в G_{СН}(t_{P3} - t_{нар}^{ПП})$, в помещениях «гр 1» выключаются калориферы приточной камеры и подаётся неподогретый приток с температурой 10...11 С°. 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:

$Q_{III} > c_e G_{CH}(t_{P3} - t_{нар}^{III})$. 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:

$$Q_{удалён} = c_e G (t_{уд} - t_n^{III} - 0,5...1^{\circ}C) \quad (6.12)$$

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

В помещениях «гр2» устраивают аэрацию, при этом массовые расходы аэрационных притока и вытяжки одинаковы: $c_e t_n^{III} G_{прит}^{аэр} - c_e t_{B3} G_{выт}^{аэр} + Q_{III} = 0$.

$$G = G_{прит}^{аэр} = G_{выт}^{аэр} = \frac{Q_{III}}{c_e (t_{B3} - t_n^{III})} \quad (6.13)$$

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 6.12 с подстановкой параметров для ТП. «Летние» камеры удаляют $(Q_{ТП} - Q_{удалён})$.

Массовый расход воздухообмена для ТП производится по уравнению 6.12, 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. $Q_{ХП} < c_6 G_{СН}(t_{РЗ} - t_{нар}^Б)$.

Приточная камера подаёт подогретый приток с температурой:

$$t_{прит} = t_{РЗ} - \frac{Q_{ХП}}{c_6 G_{СН}} \quad (6.14)$$

2. $Q_{ХП} = c_6 G(t_{РЗ} - t_{нар}^{ХП})$ – 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. $Q_{ХП} > c_6 G(t_{P3} - t_{нар}^{ХП})$ – 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 $t_{прит} \approx 10...11$ С°.

Эти избытки теплоты позволяют организовать аэрационное проветривание в помещениях группы 2. Приточная камера должна существовать, но не включена. Аэрационные расходы вычисляются по формуле 6.12, 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 6.12 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_6 — удельная теплоёмкость воздуха, кДж/кг °С;

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

$t_{нар}^Б$, $t_{нар}^{ПП}$, $t_{прит}$ 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.

Пояснение:

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

$$G_{ВЗ} = \rho_{ВЗ} K_p V_{пом} = \rho_{ВЗ} V_{пом} \quad (6.15)$$

- 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:

- $G_{прит} = G_{ВЗ} + \Sigma G_{мо}$, если $G_{ВЗ} + \Sigma G_{мо} > G_{СН}$;

- $G_{прит} = G_{СН}$, если $G_{ВЗ} + \Sigma G_{мо} < G_{СН}$.

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

$$c_v G_{прит} t_{прит} - c_v G_{мо} t_{PЗ} - c_v G_{ВЗ} t_{ВЗ} + (-Q_{ХП}) = 0 \quad (6.16)$$

$$t_{прит} = \frac{c_v G_{мо} t_{PЗ} + c_v G_{BЗ} t_{BЗ} + Q_{ХП}}{c_v G_{прит}} \quad (6.17)$$

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 $G_{BЗ} + \Sigma G_{мо}$. Значение температуры притока определится по формуле 6.17 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 $t_{PЗ}$:

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

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

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

Массовые аэрационные расходы определяются из системы балансовых уравнений:

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

$$c_v t_n^{ПП} G_{прит}^{aэр} - c_v t_{BЗ} G_{выт}^{aэр} - c_v t_{PЗ} G_{мо} + Q_{ПП} = 0.$$

Решение системы:

$$G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} = -\frac{Q_{\text{ПП}} - c_v G_{\text{мо}} (t_{\text{н}}^{\text{ПП}} - t_{\text{РЗ}})}{c_v (t_{\text{н}}^{\text{ПП}} - t_{\text{ВЗ}})} \quad (6.18)$$

$$G_{\text{прит}}^{\text{аэр}} = G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} + G_{\text{мо}} \quad (6.19)$$

Тёплый период года.

В помещении имеются значительные теплоизбытки. Организуется аэрация, рассчитываемая в последовательности и по формулам, аналогичным 6.18 и 6.19 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:

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

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

$$t_{прит}^{ХП} = \frac{-Q_{ХП} + c_в G_{мо} t_{P3} + c_в G_{B3}}{c_в G_{прит}^{Mex}} \quad (6.20)$$

Теоретически, выключить калориферы приточной камеры помещения «гр1» можно по достижении условия $Q_{ХП} = c_в G_{прит}(t_{P3} - t_n^{ХП})$, но подача не подогретого воздуха ХП в помещение этой группы не предусмотрена нормами. Ассимиляцию избытков теплоты, в этом случае, обеспечит приток в количестве:

$$G_{прит} = \frac{-Q_{ХП} + c_в G_{мо} t_{P3} + c_в G_{B3}}{c_в t_{прит}} \quad (6.21)$$

$t_{прит}$ – в формуле 6.21 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 $Q_{ХП} > c_в G_{прит} (t_{P3} - t_{нар}^{ХП})$, возможно организовать аэрацию. Составляющие аэрационного воздухообмена вычисляется из системы балансовых уравнений.

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

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

Или

$$G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} = - \frac{Q_{\text{ХП}} + c_6 G_{\text{мо}} (t_n^{\text{ХП}} - t_{\text{рз}})}{c_6 (t_n^{\text{ХП}} - t_{\text{рз}}} \quad (6.22)$$

$$G_{\text{прит}}^{\text{аэр}} = G_{\text{выт}}^{\text{аэр}} + G_{\text{мо}} \quad (6.23)$$

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_6 – 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;

$V_{пом}$ – объём помещения, $м^3$.

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:

$$Q_{ХП} > c_v G_{мп} (t_{мп} - t_{РЗ}) \quad (6.24)$$

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

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:

$$c_v t_{мп} G_{мп} + c_v t_{прит}^{доп} G_{доп} - c_v t_{ВЗ} G_{ВЗ} - Q_{ХП} = 0$$

$$G_{B3} = G_{CH}$$

$$t_{доп}^{прит} = \frac{c_6 t_{B3} G_{B3} + Q_{ХП} - c_6 t_{мп} G_{мп}}{c_6 G_{доп}}$$

• $G_{мп} \geq G_{CH}$, $Q_{мп} < Q_{ХП}$ – 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;

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

$$t_{P3}^{факт} = t_{P3}^{расч} + \frac{Q_{ХП} - c_в G_{мп} (t_{мп} - t_{P3})}{c_в G_{мп}} \quad (6.25)$$

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 XII.

В III температура P3 и температура местного притока в III обычно бывают такими же, как и в XII, и местный приток по прежнему вносит в помещение дополнительную теплоту. Полное количество теплоты, которое следует удалить, составит:

$$Q = Q_{III} + c_v G_{mn}(t_{mn} - t_{P3}) \quad (6.26)$$

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:

$$c_v t_{mn} G_{mn} + c_v t_{прит}^{доп} G_{доп} - c_v t_{B3} G_{B3} + Q = 0$$

$$t_{прит}^{доп} = \frac{c_d t_{B3} G_{B3} - Q - c_v t_{mn} G_{mn}}{c_v G_{доп}} \quad (6.27)$$

Поскольку дополнительный приток ассимилирует теплоизбытки, полученное по формуле 5.72, значение температуры притока будет меньше расчётной температуры P3. Возможен случай, когда $t_{прит}^{доп} < 10^\circ C$. Это означает, что санитарной нормы воздуха недостаточно для удаления теплоизбытков, и дополнительный воздухообмен необходимо увеличивать до:

$$G_{доп}^{треб} = \frac{Q + c_v G_{mn}(t_{mn} - t_{P3})}{c_v t_{прит}^{доп}} \quad (6.28)$$

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

В случае «гр2» следует организовать аэрацию:

$$G_{mn} + G_{прит}^{aэp} - G_{выт}^{aэp} = 0$$

$$c_{\theta} t_{mn} G_{mn} + c_{\theta} t_{нар}^{ПП} G_{прит}^{aэp} - c_{\theta} t_{B3} G_{выт}^{aэp} - Q = 0$$

Подставив в уравнение:

$$G_{прит}^{aэp} = G_{выт}^{aэp} - G_{mn}$$

и выполнив преобразования, получим:

$$G_{выт}^{aэp} = - \frac{c_{\theta} G_{mn} (t_{mn} - t_{ПП}) + Q}{c_{\theta} (t_{ПП} - t_{B3})} \quad (6.29)$$

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 6.28 и 6.29 с подстановкой значений входящих в уравнение величин, соответствующих ТП.

Вариант 4Г/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_{CH} – массовые расходы приточного и удаляемого воздуха, кг/ч;

$t_{нар}^B$, $t_{нар}^{ПП}$, $t_{прит}$ 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;

Kp – 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 $G_{\text{прит}}$ не может быть меньше санитарной нормы;
- минимальная вытяжка из ВЗ не может быть меньше однократного воздухообмена. Массовый расход вытяжки из ВЗ см. формулу 6.15.

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

$$G_{\text{прит}} = G_{\text{мо}} - G_{\text{дули}} + G_{\text{ВЗ}} \quad (6.30)$$

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

$$G_{\text{ВЗ}} = G_{\text{прит}} + G_{\text{дули}} - G_{\text{мо}}$$

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

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

ИЛИ

$$t = \frac{c_{\text{в}} t_{\text{мо}} G_{\text{мо}} - c_{\text{в}} t_{\text{дули}} G_{\text{дули}} + c_{\text{в}} t_{\text{ВЗ}} G_{\text{ВЗ}} + Q_{\text{ХП}}}{c_{\text{в}} G_{\text{прит}}} \quad (6.31)$$

Переходный период.

Возможны два варианта:

- недостатки теплоты сохраняются и в ПП: $Q_{ПП} < c_v G_{прит}(t_{прит} - t_{ПП})$;
- 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 6.31, но температура притока будет менее расчётной температуры для РЗ.

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

- $Q_{ПП} > c_v G_{прит}(t_{прит} - t_{ПП})$, устраивается аэрация.

$$G_{прит}^{aэp} - G_{мо} + G_{душ} - G_{выт}^{aэp} = 0;$$

$$G_{прит}^{aэp} = G_{мо} - G_{душ} + G_{выт}^{aэp} \quad (6.32)$$

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

$$c_v t_n^{ПП} G_{прит}^{aэp} - c_v t_{PЗ} G_{мо} + c_v t_{душ} G_{душ} - c_v t_{BЗ} G_{выт}^{aэp} + Q_{ПП} = 0;$$

$$G_{выт}^{aэp} = \frac{c_v t_n^{ПП} (G_{мо} - G_{душ}) + Q - c_v t_{PЗ} G_{мо} + c_v t_{душ} G_{душ}}{c_v (t_{BЗ} - t_n^{ПП})} \quad (6.33)$$

Тёплый период года.

В тёплый период организуется аэрация. Аэрационные воздухообмены вычисляются по формулам 6.32 и 6.33.

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 6.31;

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

- $Q_{ХП} > c_v G_{прит} (t_{прит} - t_n^B)$, устраивается аэрация. Аэрационные расходы вычисляются по формулам 6.32 и формуле, аналогичной формуле 6.33:

$$G_{выт}^{азр} = \frac{c_v t_n^{ХП} (G_{мо} - G_{душ}) + Q - c t_{РЗ} G_{мо} + c_v t_{душ} G_{душ}}{c_v (t_{ВЗ} - t_n^{ХП})} \quad (6.34)$$

Аэрационный приток определяется по формуле 6.32.

Переходный и тёплый периоды года.

Организуется аэрация. Аэрационные воздухообмены вычисляются по формулам 6.32 и 6.34 с подстановкой значений для ПП и ХП.

7. Схемы организации воздухообмена.

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.7-1) 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».

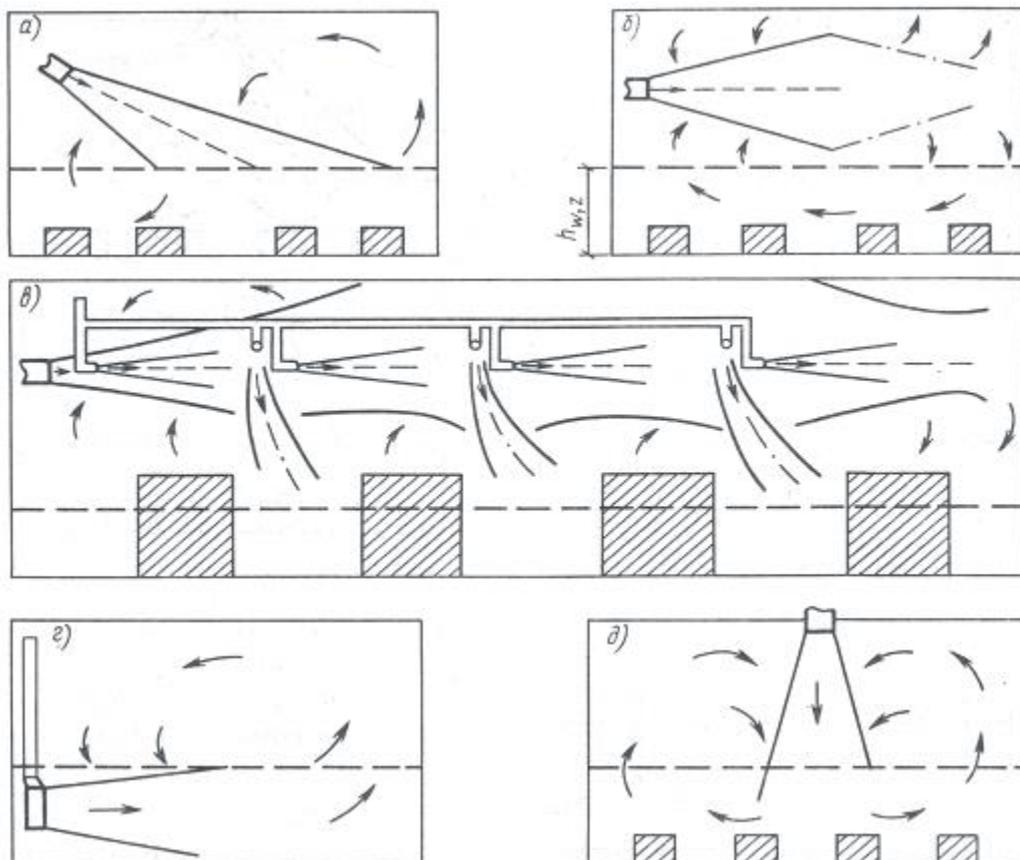


Рис.7-1. Рекомендуемые схемы организации воздухообмена в помещениях производственных помещений I-ой категории: а – наклонными струями с высоты 4 или 5-6 м; б – сосредоточенная

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.7-2) применяются: настилающиеся на потолок веерные, компактные и неполные веерные струи, применение плафонов, перфорированных воздухораспределителей и приточных насадков, создающих разомкнутые конические струи.

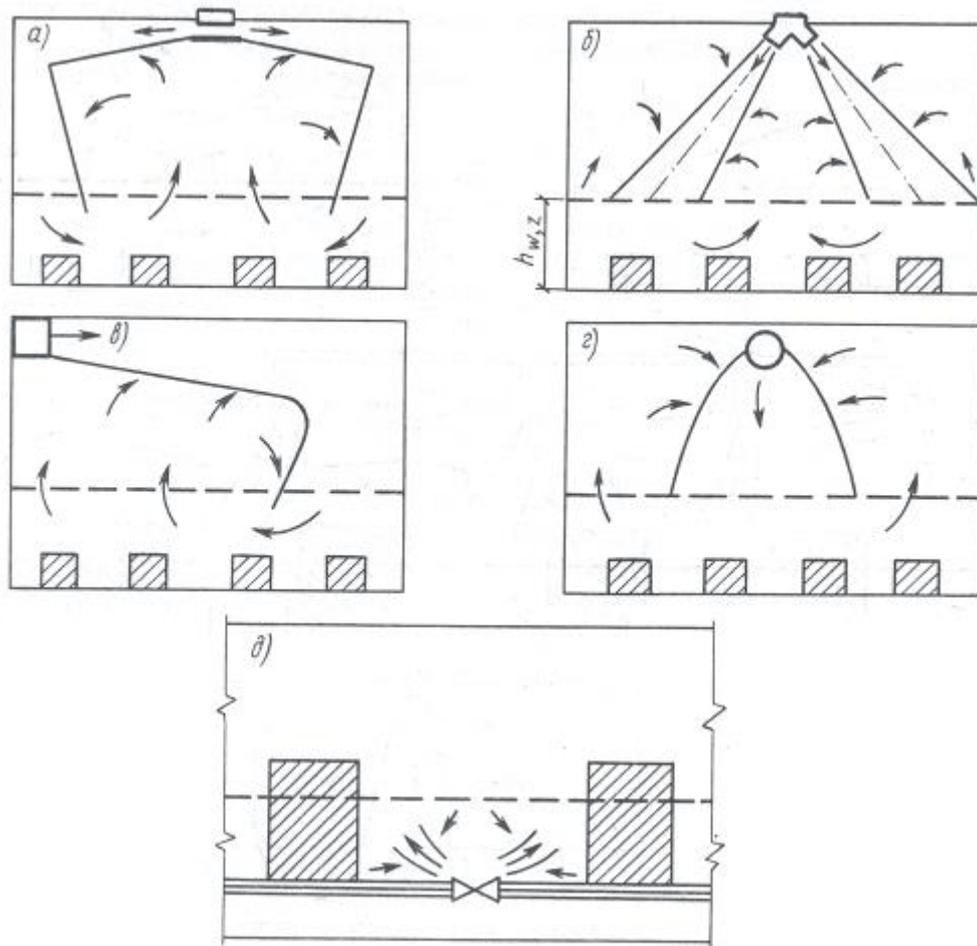


Рис.7-2. Рекомендуемые схемы организации воздухообмена в помещениях производственных помещений 2-ой категории: а – подача плафонами со щитом поперек потока настилающимися веерными струями; б – подача несмыкающимися коническими струями; в- подача настилающимися на потолок струями; г – подача плоскими струями; д – напольная подача воздуха

При выборе схемы организации общеобменной вентиляции в производственном помещении можно руководствоваться также рекомендациями, приведенными в табл. 7.1.

Таблица 7.1.

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
Пылевыделение	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.

7.1. Типы воздухораспределителей

Воздухораспределители для подачи воздуха в рабочую зону.

Воздухораспределители: эжекционный панельный штампованный (серия 1.494-38) (рис.7-1) подаёт воздух закрученными и поэтому быстро затухающими струями, состоит из воздухоподающей панели в виде стального листа, имеющего отверстия с лопатками и короба. Лопатки имеют постоянный угол установки, придают вращение выходящей из отверстия струе.

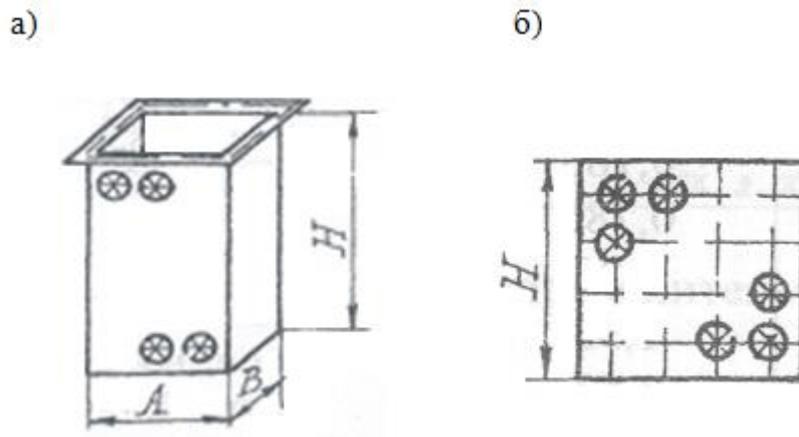


Рис.7-1. Воздухораспределители эжекционные, панельные штампованные ВЭПи.

а – воздухораспределитель ВЭПи ; б – панель воздухоподающая П-ВЭПи-П

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.

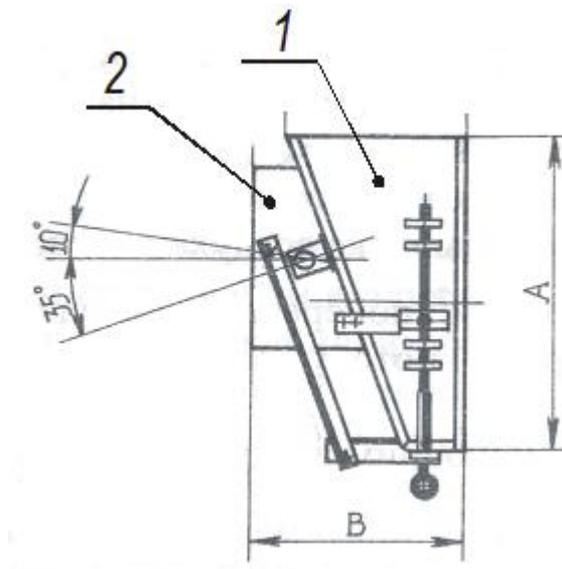


Рис.7-2. Воздухораспределитель для сосредоточенной подачи воздуха прямоструйный типа ВСП

1 –поворотная часть; 2 – прямооточный патрубок прямоугольного сечения

Воздухораспределитель для сосредоточенной подачи воздуха ВСП (серия 5.904-47) (рис.7-2) может подавать приточный воздух:

6. компактной, наклонной струёй в рабочую зону производственных помещений с высоты 6 м и более;
7. 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 $l = 4\sqrt{A_{пом}}$, где $A_{пом}$ – площадь поперечного сечения зоны помещения, обслуживаемая одним воздухораспределителем, $м^2$.

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

Воздухораспределитель с поворотным соплом ВПС (рис.7-3) 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 м³/ч. Скорость выпуска воздуха 5 – 15 м/с.

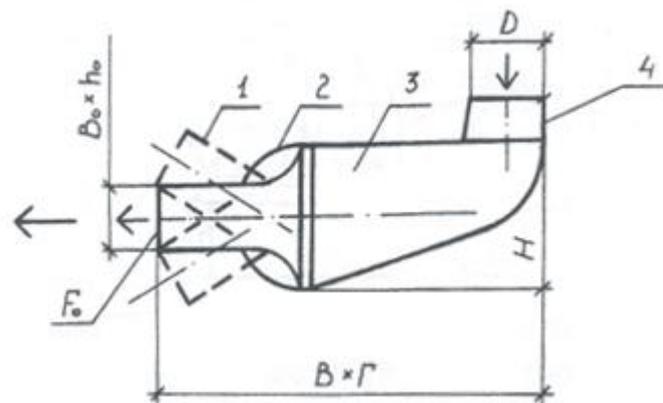


Рис.7-3. Воздухораспределитель с поворотным соплом ВПС.

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.7-4) 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 м от пола. Производительность от 2200 до 52200 м³ /ч. Скорость выпуска воздуха – 5,5 – 12 м/с.

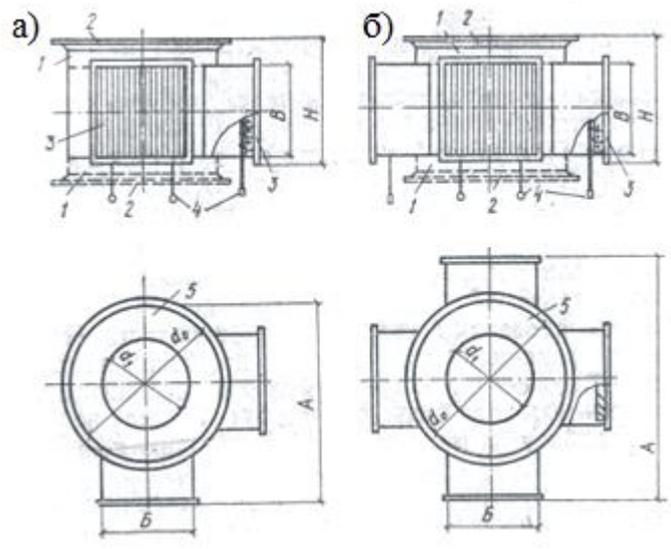


Рис. 7-4. Приколонный регулируемый веерный воздухораспределитель НРВ.

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.

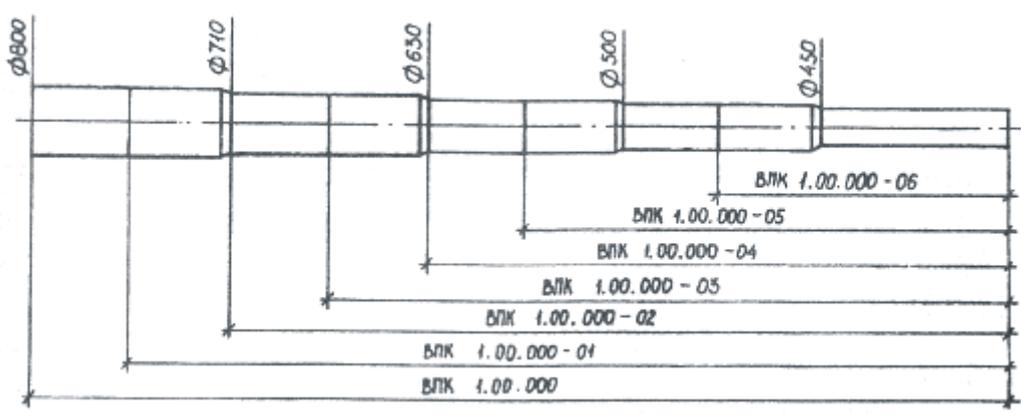


Рис.7-5. Перфорированный воздухораспределитель ВПК1

Воздухораспределитель перфорированный круглый ВПК (рис.7-5) применяется для подачи воздуха в цехи металлопокрытий или иные при

необходимости поддержания в рабочей зоне малой подвижности воздуха. Воздухораспределители ВПК1 и другие его модификации устанавливаются 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.

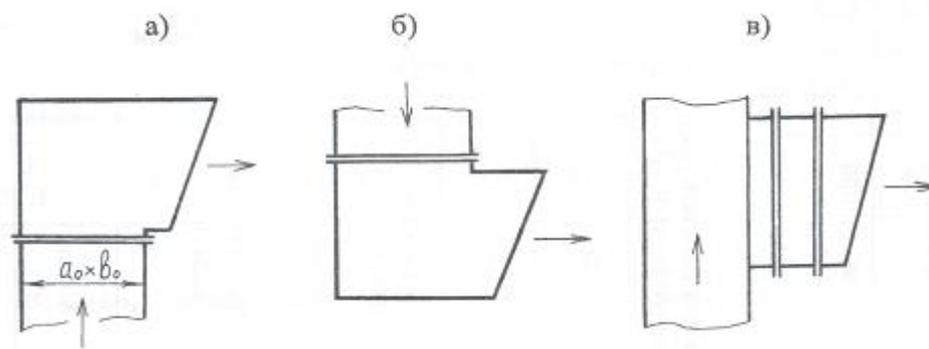


Рис.7-6. Воздухораспределитель ВГК

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

Воздухораспределитель для подачи воздуха компактной струёй ВГК (рис.7-6) 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: $l_n \geq 0,3 \times \sqrt{A_{пом}}$, где $A_{пом}$ – площадь поперечного сечения части помещения, обслуживаемого одним воздухораспределителем, м².

Производительность насадка 5250 – 138000 м³/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, м².

Подача воздуха настилающимися на потолок помещения струями.

Решётка воздухоприточная регулируемая типа РР (рис.7-7) 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 подиночке с минимальным расстоянием между ними 500 мм. Расход воздуха 115 – 1730 м³/ч. Скорость выпуска воздуха 2 – 5 м/с.

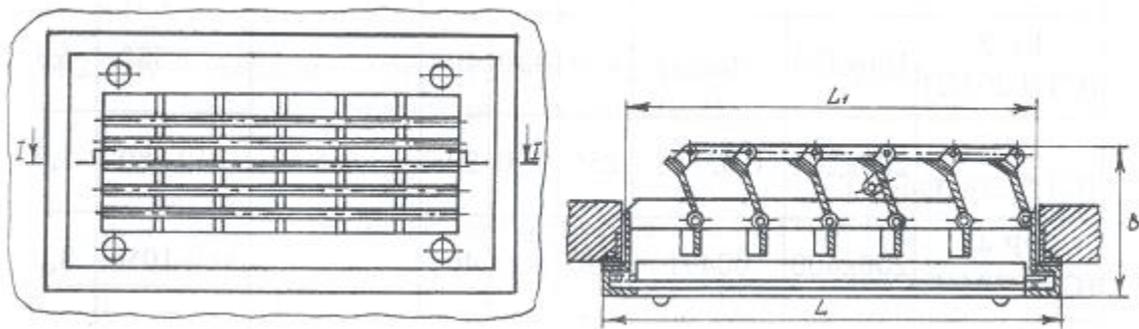


Рис.7-7. Регулируемая решётка типа РР.

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

Регулируемая вентиляционная решётка типа РВ (рис.7-8) способна создавать неполные веерные струи. Применяется в гражданских и промышленных зданиях для раздачи настилающимися и нестеснёнными струями.

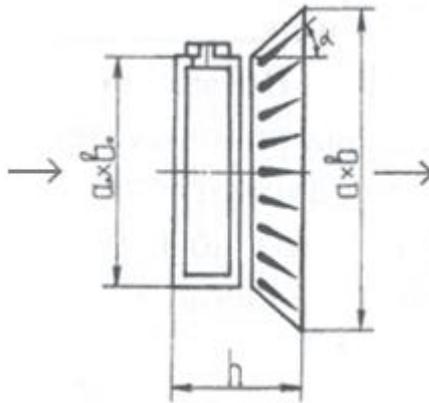


Рис. 7-8. Регулируемая вентиляционная решётка РВ.

1 – коробка; 2 – поворотные направляющие лопатки

Воздухораспределители, монтируемые на потолке.

Воздухораспределители прямоточные регулируемые типа ВР (рис.7-9) 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 $\text{м}^3/\text{ч}$, скорость выпуска – 4 – 12 м/с.

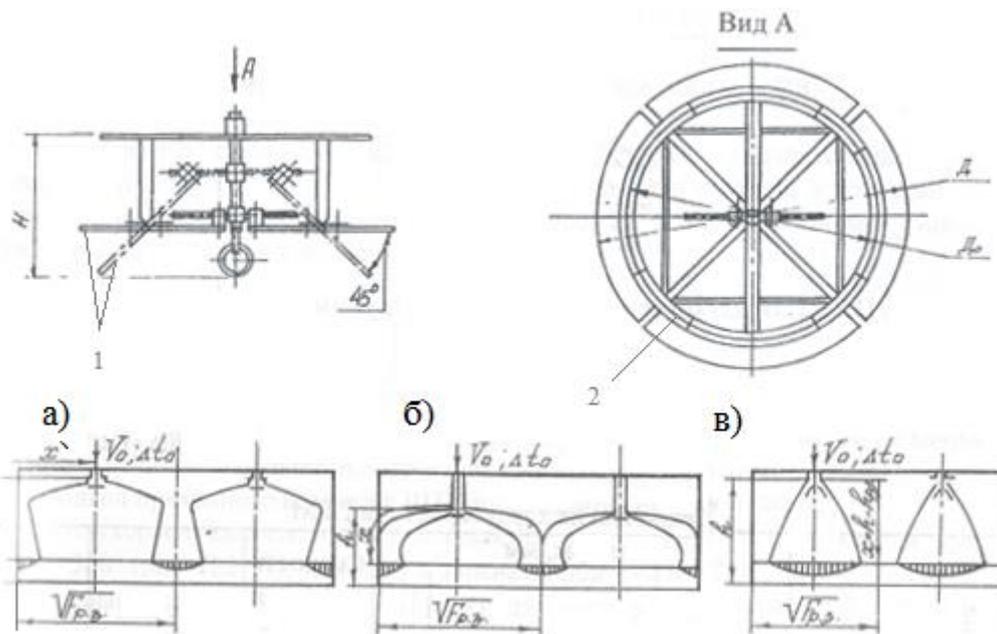


Рис. 7-9. Воздухораспределитель прямоточный регулируемый типа ВР.

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

Плафон регулируемый многодиффузорный ПРМ (рис.7-10) подают воздух в верхнюю зону помещения с высоты не более 8 м.

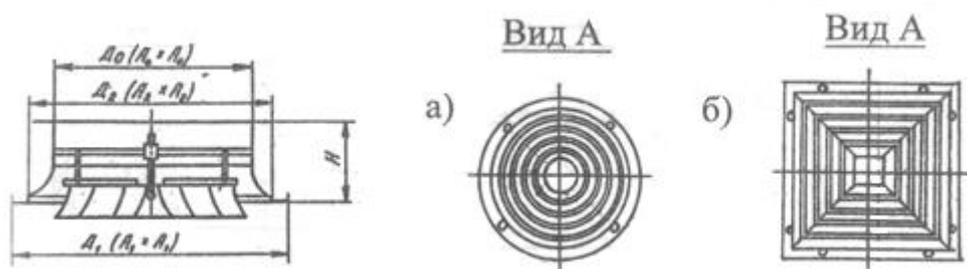


Рис. 7-10. Воздухораспределители ПРМ.

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

Воздухораспределители ВПР (рис.7-11) 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.

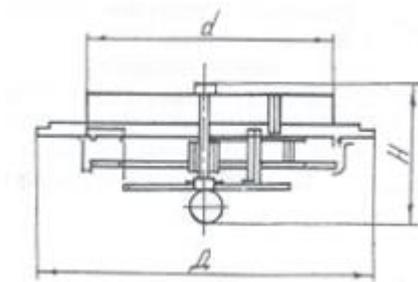


Рис. 7-11. Воздухораспределитель ВПР

Воздухораспределители ВК. (рис.7-12) 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 полную коническую струю. Угол выпуска составляет – 30° . Производительность от 900 до 108000 м³/ч. Скорость выпуска 5 – 15 м/с.

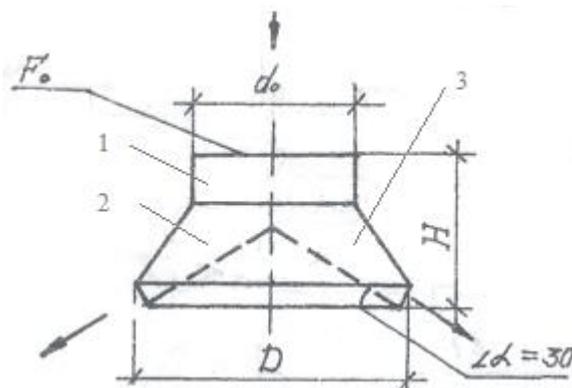


Рис. 7-12. Воздухораспределитель ВК.

1 – приточный воздуховод; 2 – диффузор; 3 – конус – рассекаль воздушного потока

Воздухораспределитель двухструйный шестидиффузорный прямоугольного сечения ВДШп (рис. 7-13) 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 настилающимися веерными струями.

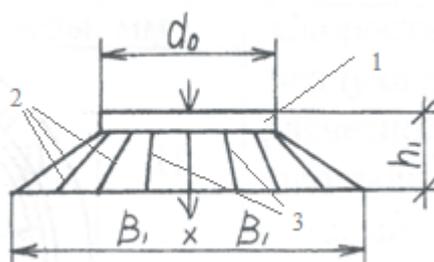


Рис. 7-13. Воздухораспределитель двухструйный шестидиффузорный прямоугольного сечения ВДШп.

1 – соединительный патрубок; 2 - диффузоры, обеспечивающие настиление струи на потолок;

3 – диффузоры для подачи воздуха сверху вниз

Потолочный воздухораспределитель ВРНС, (рис.7-14) 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.

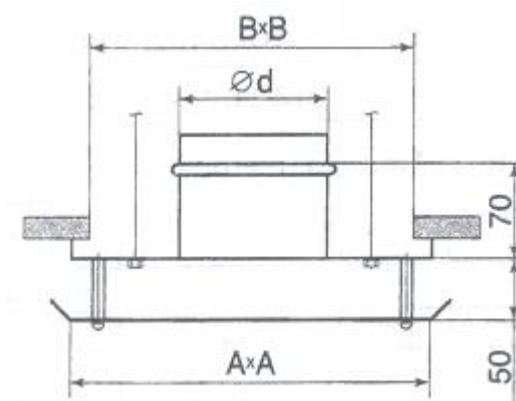


Рис. 7-14. Воздухораспределитель ВРНС

Таблица 7.2.

Основные характеристики воздухораспределителей

Тип воздухораспределителя, серия рабочих чертежей.	Углы поворота, град.		Коэффициенты			Примечание.
	относительно горизонтальных	в горизонтальной	скоростной, m	температурный, n	местного сопротивления 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	-	-	0,5	1,5	2,4	

Серия 5.904-6						
Сосредоточенная подача воздуха в верхнюю зону помещения.						
ВГК	+ 10	-	6,5	5,1	1,9	
	- 30	-	6,5	5,1	1,9	
Подача воздуха настилающимися или нестеснёнными струями в верхнюю зону.						
РР Серия 1.494-8	-	-	4,5	3,2	2,2	
РРНП	± 45	± 45	6,7	5,6	2,7	
	90	90	6,8	5,1	1,5	
Подача воздуха на потолок полными веерными струями или смыкающимися коническими струями.						
РВ Серия 5.904-21	0	-	1	0,9	1,5	без экрана
	- 45	-	2,7	2,5	1,7	
ПРМ Серия 5.904-39	0	-	0,7	0,6	1,4	с экраном
	0	-	3,2	2,8	1,3	
ПРМП Серия 5.904-9	0	-	1,2	1,2	1,3	
	0	-	2,5	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	

7.2. Сильнонеизотермические струи или воздушные фонтаны

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 воздухоподдачи 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 :

$$H = \sqrt{\frac{m^2 v_0^2 T_{\text{окр.}} \sqrt{A_0}}{ng \Delta t_0}} \quad (7.1)$$

Выражение (7.1) преобразуется для струй различного вида в более простые формулы:

компактные, конические и веерные струи

$$H = \frac{m \sqrt{A_0}}{\sqrt{ng}} \quad (7.2)$$

плоские струи

$$H \sqrt{\frac{B(\text{м})^4}{(\text{м}^2)^2}} l = h / v_B \quad (7.3)$$

Сильнонеизотермическая струя сохраняет первоначальное направление движения воздушного потока на расстоянии, м:

$$x < 0,45H \quad (7.4)$$

При вертикальной подаче нагретого воздуха сверху вниз струя воздушного фонтана полностью затормаживаются на расстоянии:

- компактные, конические и неполные веерные, м:

$$x = 0,55H \quad (7.5)$$

- плоские, м:

-

$$x = 0,8H \quad (7.6)$$

При вертикальной подаче неизотермичность можно не учитывать, если:

$$x < 0,35H \text{ или } \frac{H}{\sqrt{A_0}} > 100 \quad (7.7)$$

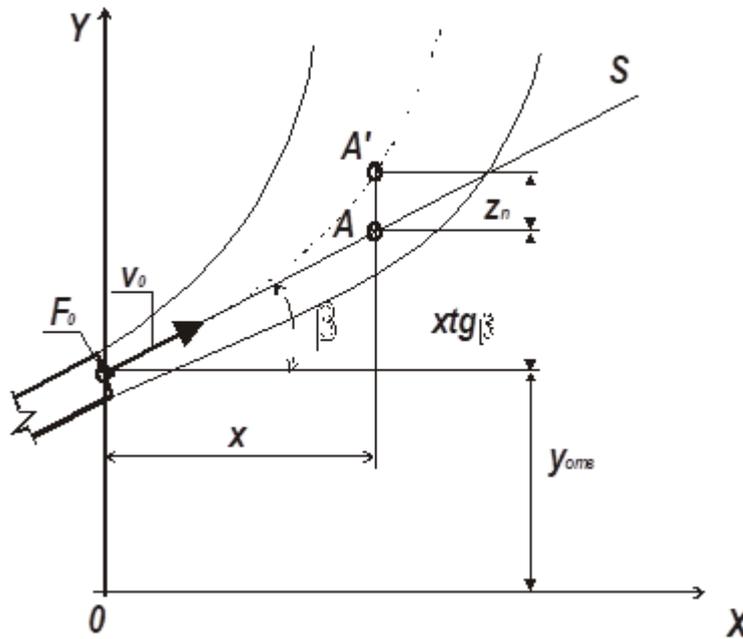


Рис. 7-15. Схема сильнонеизотермической струи, истекающей под углом к плоскости горизонта из приточного отверстия, расположенного на отметке « $y_{отв}$ » относительно плоскости пола помещения.

Уравнение оси сильнонеизотермической струи или фонтана применяется в расчётах воздухопонижения с целью:

- 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;
- «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. 7-15).

Траектория струи определяется двумя составляющими:

- кинетической, определяющей движение в направлении вектора скорости, направленного под заданным углом к горизонту:

$$y = y_{\text{отв}} \pm x \operatorname{tg} \alpha .$$

- гравитационной, определяющей движение струи вверх или вниз от первоначально заданного направления:

для компактных и веерных струй:
$$\pm \frac{1}{H^2 \cos^3 \alpha} x^3$$

для плоских струй
$$\pm 0,4 \sqrt{\frac{x^3}{H^3 \cos^5 \alpha}}$$

Уравнение в общем виде:

для компактных и веерных струй

$$y = y_{\text{отв}} \pm x \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{1}{H^2 \cos^3 \alpha} x^3 \quad (7.8)$$

для плоских струй

$$y = y_{\text{отв}} \pm x \operatorname{tg} \alpha \pm 0,4 \sqrt{\frac{x^3}{H^3 \cos^5 \alpha}} \quad (7.9)$$

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:

- вверх относительно плоскости горизонта – знак «плюс»;
- под горизонт – знак «минус».

Знак перед третьим членом уравнения:

6. «минус», если приток охлаждённый;
 7. «плюс», если вентиляция выполняет функции воздушного отопления.
- отопления.

На рис. 7-16 представлены траектории сильно неизотермических струй для различных вариантов подачи воздуха в помещение.

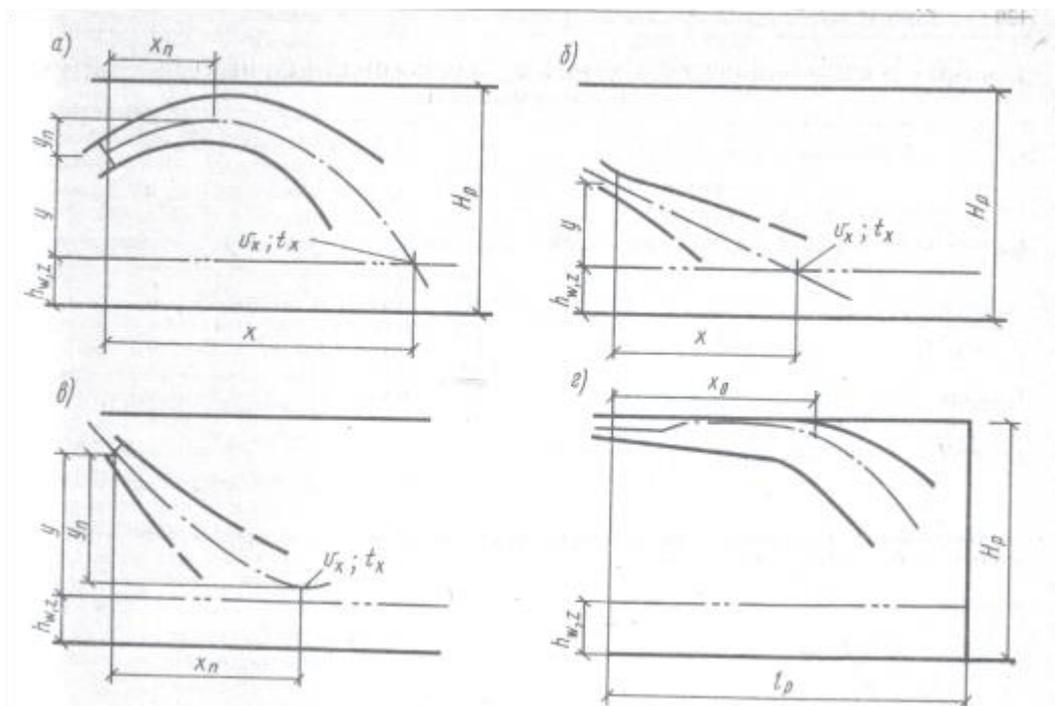


Рис. 7-16. Схемы подачи охлаждённого воздуха вверх под углом к горизонтальной плоскости (а), нагретого воздуха вниз под углом к горизонтальной плоскости – ось струи пересекает РЗ (б), схема настилающей подачи охлаждённого воздуха.

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:

$$l_{кр} = 0,22 \sqrt{A_{п}} \quad (7.10)$$

где: m – коэффициент затухания осевой скорости на основном участке струи;

$A_{п}$ - площадь части поперечного сечения помещения, обслуживаемая одной приточной струёй, м².

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:

$$l_{2p} = 0,31 \sqrt{A} \quad (7.11)$$

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:

$$l_p = 0,62 \sqrt{A} \quad (7.12)$$

Между 2-м критическим сечением и зоной максимальной дальности 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:

$$v_{\max} = 0,86 \sqrt{\frac{A}{A_{\text{рач}}}} \quad (7.13)$$

$$A_{\text{нас}} = 14 A_0 \sqrt{\frac{A_0}{A_{\text{пом}}}} \quad (7.14)$$

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 $B_{\text{пом}} < 2,5 H_{\text{пом}}$;

если $\sqrt{\frac{A_{\text{пом}}}{A_0}} < 11$ то $B_{\text{пом}} < 1,5 H_{\text{пом}}$.

8. Конструирование 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 взрывопожароопасности;
- 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.

8.1. 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:

- утепленного 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 расчетной 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 удаленности 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:

8. при одной и той же толщине стенки круглые воздуховоды прочнее прямоугольных;

9. расход металла на прямоугольные воздуховоды на 16% выше, чем для круглых при одинаковой площади поперечного сечения обоих воздуховодов;

10. 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 8.1.

Таблица 8.1.

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 8.2. 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 8.2.

Нормативные размеры стальных прямоугольных (квадратных) воздуховодов и толщина стенки, мм

Размеры поперечного сечения стальных прямоугольных и квадратных воздуховодов, мм						Толщина , 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		
600x1250	800x1250	1000x1250	1000x1600	1000x2000	1250x1250	0,9
		0	0	0	0	
1250x1600	1250x2000	1600x1600	1600x2000			
0	0	0	0			

Рекомендуемая толщина стенок воздуховодов систем пневмотранспорта представлены в таблице 8.3.

Таблица 8.3.

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

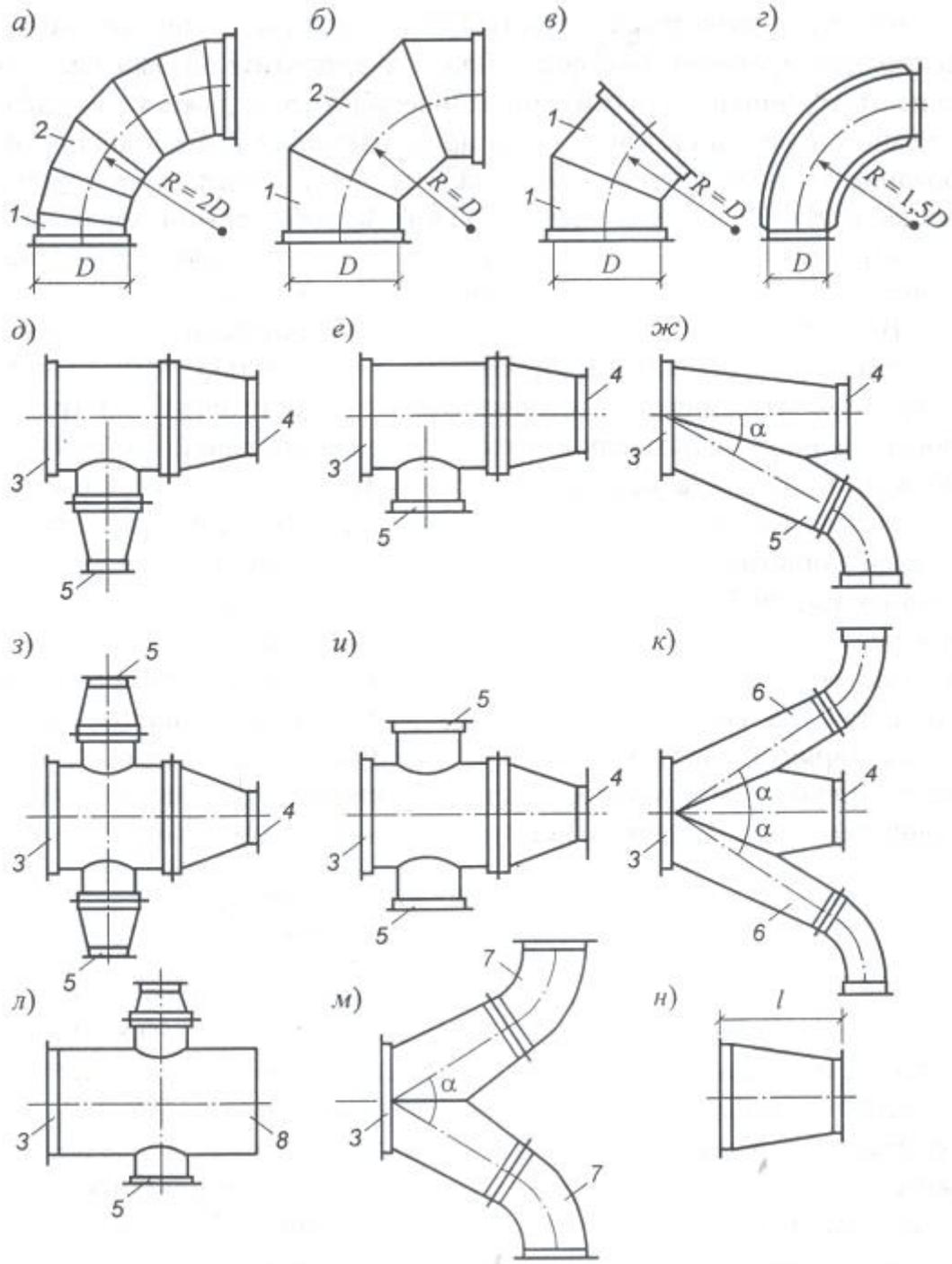


Рис. 8-1. Фасонные части круглых стальных воздуховодов.

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 – итанообразный тройник; н – конфузор (диффузор).

1, 2 – звенья отводов; 3, 4, 5 – фланцы; 6 – ответвления; 7 – полуотводы; 8 – заглушенный торец

Сети воздуховодов состоят из прямолинейных участков и фасонных частей, с помощью которых:

- изменяется направление воздушного потока – отводы (рис. 8-1а, б, в, г) и колена;
- поперечное сечение воздуховода через конфузторы и диффузоры (рис. 8-1и), внезапные сужения и расширения;
- присоединяют ответвления к магистрали через тройники (рис. 8-1д, е, ж) и крестовины (рис. 8-1з, и, к);
- разветвления воздуховода – штанообразные тройники (рис. 8-1л, м).

Сеть воздуховодов 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 воздуховодах может производиться как под углом 90° (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. 8-1д, е, з, и).

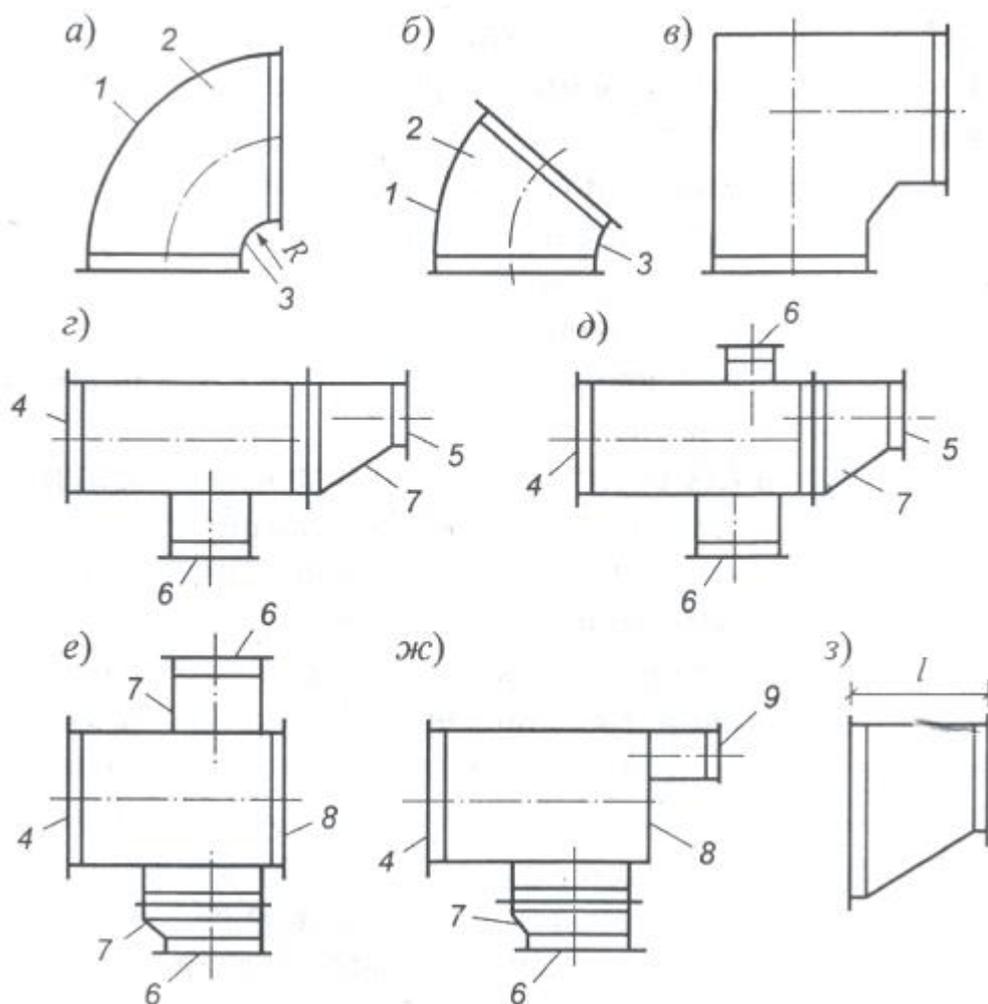


Рис. 8-2. Фасонные части воздуховодов прямоугольного сечения.

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. 8-2. 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»), винилпластовые и др.

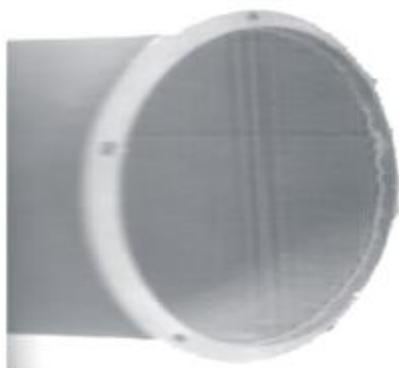


Рис. 8-3. Фланец, насаженный на круглый воздуховод

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. 8-3). Для прямоугольных воздуховодов разработана конструкция, состоящая из угольников и накладок. Угольники стягиваются болтами, накладки – струбцинами с последующей установкой монтажных скоб (рис. 8-4).

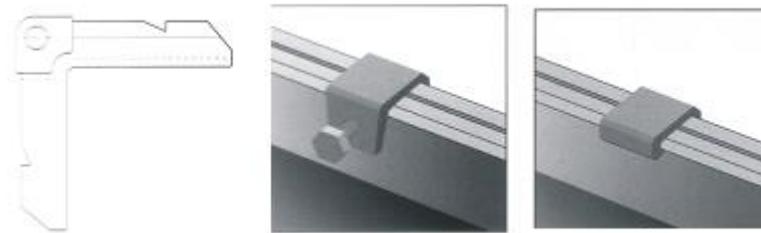


Рис. 8-4. Элементы соединения прямоугольных воздуховодов, аналог фланцевому (угольник, стяжка накладок струбциной, установленная монтажная скоба)

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. 8-5).

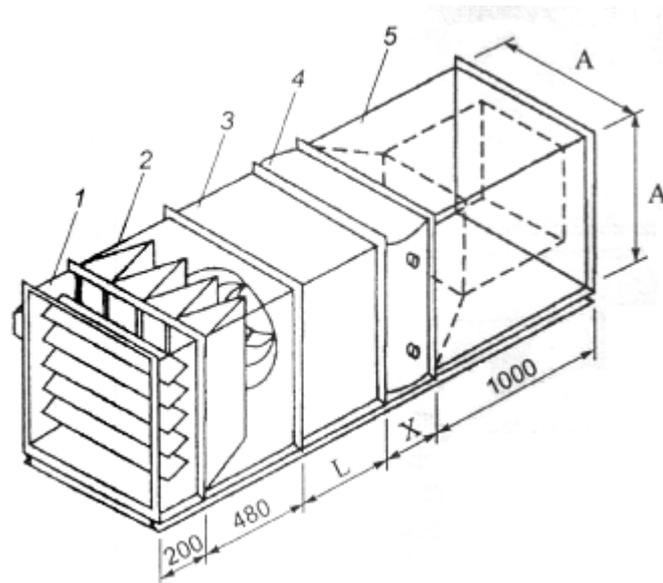


Рис. 8-5. Принципиальная схема модульной приточной установки типа АПК.

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. 8-6).

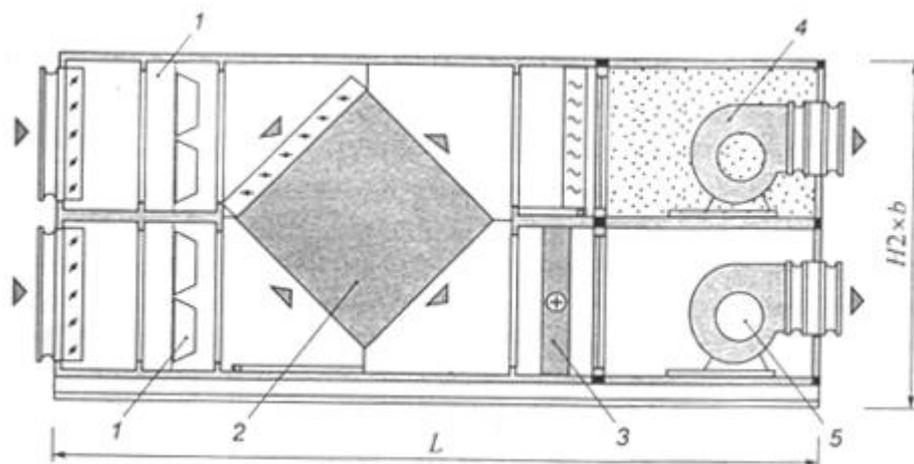


Рис. 8-6. Схема комбинированной приточно-вытяжной камеры с поверхностным теплообменником – теплоутилизатором. 1 – воздушный фильтр карманного типа; 2 – теплоутилизатор – теплообменник поверхностный; 3 – воздухоподогреватель; 4 – вытяжной вентилятор; 5 – приточный вентилятор

Кроме представленного на рис. 8-6 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.8-7). Последний способ размещения характерен для реконструируемых зданий, планировкой которых не

предусмотрено специальных мест для размещения вентиляционного оборудования.

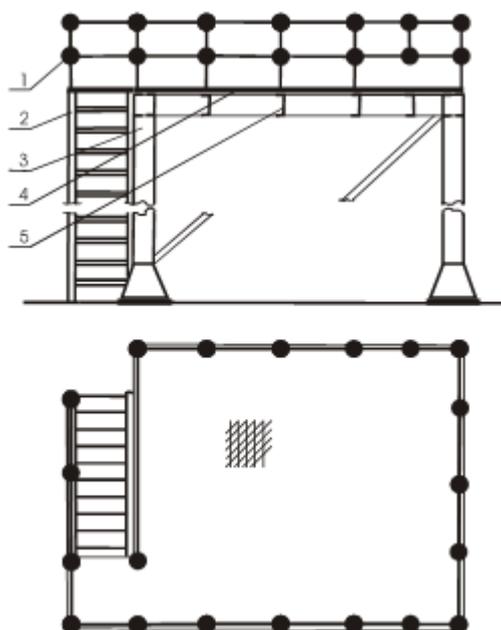


Рис. 8-7. Схема вентиляционной площадки.

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.

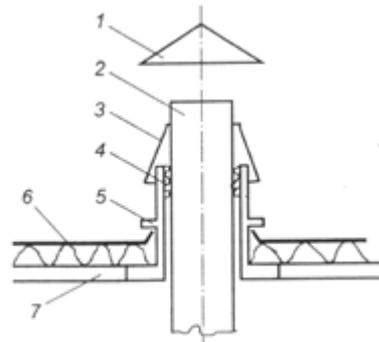


Рис. 8-8. Узел пересечения кровли одиночным выхлопным воздуховодом.

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. 8-8). 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.

9. Очистка приточного воздуха и вентиляционных выбросов от пыли и загрязнений.

9.1. Пылеуловители

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 — полное и полочное.

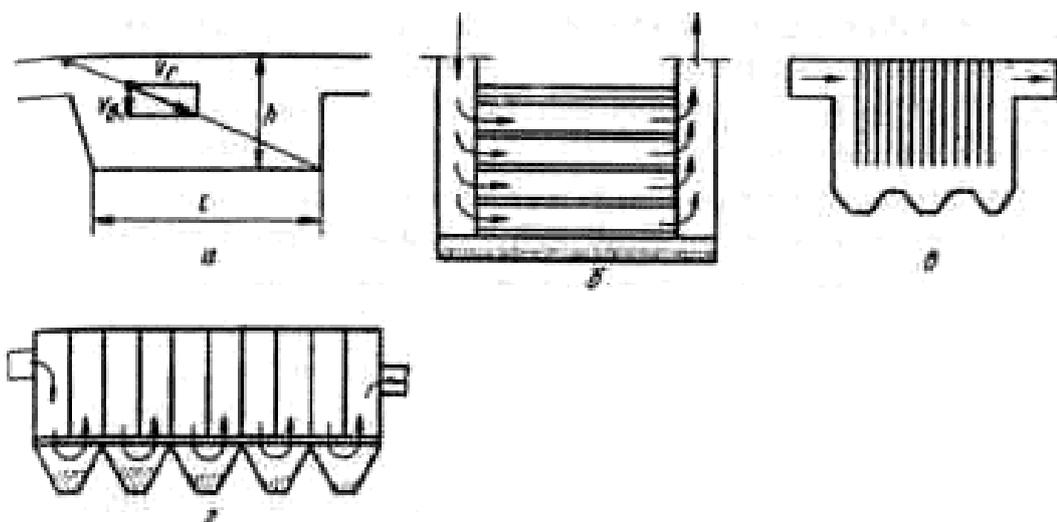


Рис. 9-1. Пылеосадочные камеры: а — простейшего типа; б — полочная; в — с подвешенными стержнями; г — конструкции В. В. Батурина.

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. 9-1). На основании этого построения можно сделать расчет, из которого несложно получить формулу для определения минимальной длины камеры l :

$$l = h / v_{\text{в}} \quad (9.1)$$

где h — высота камеры, м; $v_{\text{в}}$ — скорость движения частицы в вертикальном направлении, м/с.

Из этой зависимости следует, что для уменьшения высоты целесообразно разделить камеру с помощью горизонтальных перегородок. Так устроена полочная пылеосадочная камера (рис. 9-1б). Для удобства удаления пыли полки устраивают наклонными или поворотными. Для осаждения мелких фракций пыли в камере необходимо обеспечить ламинарное движение воздуха, что потребовало бы устройства камер громадных размеров, но это неосуществимо. Для увеличения эффекта осаждения за счет использования сил инерции применяются камеры с подвешенными к потолку цепями, стержнями (рис. 9-1в). В. В. Батурина предложил камеру лабиринтного типа (рис. 9-1г). В этой камере происходит быстрое затухание скоростей в струе, настилающейся на щит. Эффективность очистки в этой камере выше, чем в обычных.

Для улавливания пыли, растворимой в воде применяют пылеосадочную камеру, в которой нижняя часть заполнена горячей водой. Для создания равномерного движения воздуха в пылеосадочной камере при входе в нее устанавливают сетки, решетки и др. Скорость движения воздуха через пылеосадочную камеру обычно не превышает 3 м/с.

Преимуществами пылеосадочной камеры являются простота устройства, несложность эксплуатации, долговечность. Камеры могут быть выполнены из кирпича, бетона и других неметаллических материалов, не подвергающихся коррозии. Гидравлическое сопротивление камер обычно находится в пределах 20-150 Па. Пылеосадочные камеры имеют и существенные недостатки, резко сократившие их применение. В камере осаждаются лишь наиболее крупные фракции пыли. Мелкие фракции выносятся из нее воздушным потоком. Степень очистки в камере не превышает 50-60%. Камеры занимают много места. Для осаждения взрыво- и пожароопасной пыли устройство больших камер не допускается.

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. 9-2). 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 (рис. 9-3) 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.

Процессы, происходящие в циклоне, весьма сложны и зависят от многих факторов, поэтому при теоретических расчетах приходится делать много допущений и упрощений.

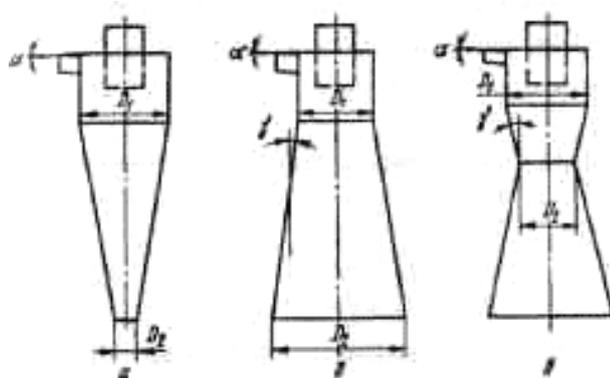


Рис. 9-2. Схемы циклонов: а — коническая часть корпуса в виде прямого конуса; б — коническая часть корпуса в виде обратного конуса; в — коническая часть корпуса составная.

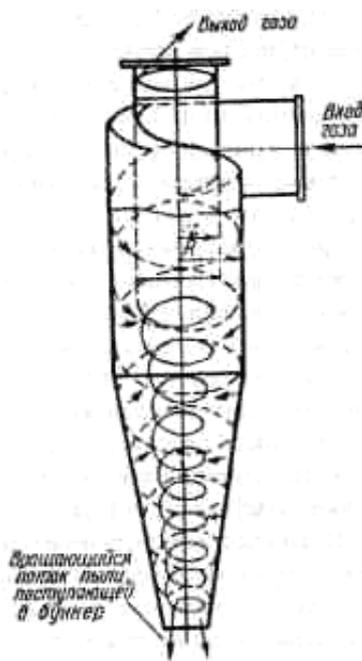


Рис. 9-3. Схема действия циклона.

Работа циклона может быть нарушена из-за подсоса воздуха через пылевыпускные отверстия. Это явление наблюдается как при установке циклона на всасывающей, так и на нагнетательной линии вентилятора. Подсасываемый воздух препятствует процессу сепарации, уносит осажденную пыль из циклона. При величине подсоса 10-15% от расчетного количества воздуха эффективность очистки резко падает.

Применяют большое число различных типов циклонов, которые отличаются формой, соотношением размеров элементов и т. д. Например, различными могут быть соотношение высот цилиндрической и конической частей корпуса, отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру цилиндрической части корпуса. В зависимости от способа подведения воздуха к циклону различают циклоны с тангенциальным и спиральным подводом воздуха. Последние при прочих равных условиях более эффективны.

Применяют циклоны правые (вращение потока по часовой стрелке, если смотреть сверху) и левые (вращение против часовой стрелки). Циклоны делятся на циклоны большой производительности и циклоны высокой эффективности. Первые имеют большой диаметр и обеспечивают очистку значительного количества воздуха, вторые — сравнительно небольшого диаметра (до 500-600 мм). Обычно применяют групповую установку этих циклонов, соединяя их параллельно по воздуху.

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).

Рукавные фильтры используют для очистки больших объемов воздуха со значительной концентрацией пыли. Они обеспечивают тонкую очистку от частиц от 1 мкм и менее. Наряду с циклонами рукавные фильтры являются основным пылеулавливающим оборудованием. Они пригодны для очистки

воздуха от сухой неслипающейся пыли. Пыль, содержащая влагу, масло, быстро нарушает работу фильтра, так как эти вещества заклеивают просветы ткани. Для работы рукавных фильтров характерна цикличность: в процессе фильтрации пыль накапливается в фильтровальной ткани, гидравлическое сопротивление фильтра повышается до некоторого значения, далее происходит регенерация фильтра, которая осуществляется продувкой, встряхиванием.

Известны всасывающие и нагнетательные рукавные фильтры. Первые устанавливаются на всасывающей линии вентилятора. Рукава этих фильтров находятся под разрежением. Нагнетательные фильтры располагаются на нагнетательной линии вентилятора, их рукава находятся под избыточным давлением. Воздух, очищенный в нагнетательных фильтрах, непосредственно поступает в помещение, где находятся фильтры. Это обстоятельство, а также то, что запыленный воздух проходит через вентилятор, сложность регенерации, возможность выбивания пыли в помещение при наличии неплотностей в рукавах, являются недостатками нагнетательных фильтров, из-за которых они не рекомендуются в настоящее время к применению. При очистке воздуха от взрыво- и пожароопасной пыли их применение недопустимо. Недостаток всасывающих фильтров — наличие значительных подсосов воздуха.

Мокрые пылеуловители. В мокрых пылеуловителях эффект действия за счет использования центробежной силы, сил гравитации и др. усиливается тем, что пыль в значительной мере поглощается водяной пленкой (водной поверхностью) и превращается в шлам. В мокрых пылеуловителях опасность взрыва и возгорания устраняется.

Циклон с водяной пленкой ЦВП может служить для очистки воздуха от любых видов нецементирующейся пыли. Его можно использовать в качестве пылеуловителя в установках с трубами - коагуляторами Вентури. ЦВП состоит из цилиндрического корпуса с коническим днищем и воздухоотводящим патрубком и воздухопроводящей улитки (рис. 9-4). Запыленный воздух

подводится к аппарату через патрубок по касательной к корпусу со скоростью около 20 м/с. Поверхность стенок ЦВП орошается водой с помощью сопел, расположенных равномерно в верхней части аппарата.

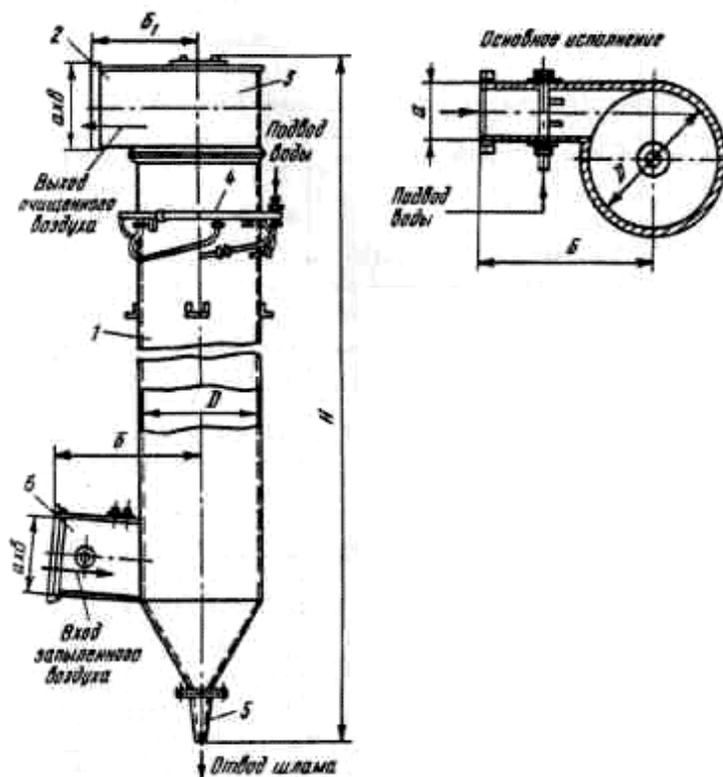


Рис. 9-4. Циклон с водяной пленкой ЦВП: 1 — корпус; 2 — выходной патрубок; 3 — улитка; 4 — коллектор; 5 — конусный патрубок (гидрозатвор); 6 — входной патрубок.

Сопла находятся также во входном патрубке и предназначены для периодического смыва отложенной пыли. Давление воды перед соплами должно быть 2,0 / 2,5 кПа. Удельный расход воды — 0,1-0,3 л/м³.

Степень очистки воздуха в ЦВП — до 90%, фракционная эффективность улавливания частиц размером 5-10 мкм — до 90-95%.

Предусматривается основное и с повышенной скоростью исполнение ЦВП. В циклоне с повышенной скоростью в отличие от циклона основного исполнения в воздухопроводящем патрубке вварена перегородка, в результате

чего ширина входного отверстия уменьшается в два раза. Циклоны с повышенной скоростью имеют большую эффективность, но их гидравлическое сопротивление выше.

Циклон-промыватель СИОТ (рис. 9-5) может быть использован для улавливания известковой пыли, а также в качестве второй ступени в установке трубы Вентури. Запыленный поток поступает через входной патрубок в нижнюю часть аппарата со скоростью 5-20 м/с. Вода подводится во входной патрубок и распределяется с помощью перфорированной трубы, что более надежно, чем использование для этой цели форсунок, которые часто засоряются. Вода увлекается воздухом, входящим в циклон, и под действием центробежной силы отбрасывается на стенки аппарата, образуя там водяную пленку.

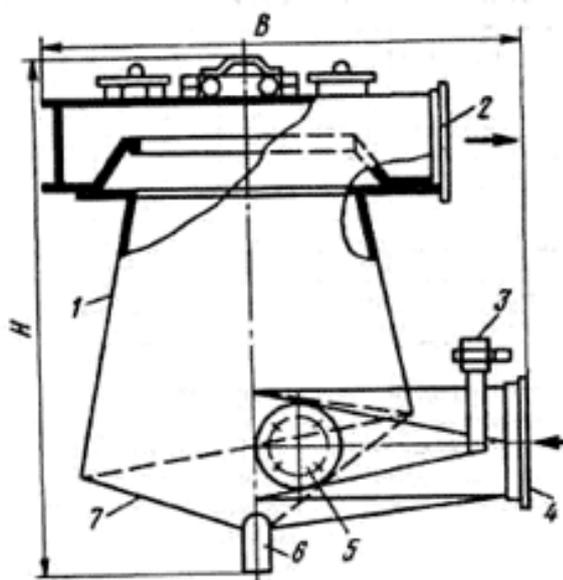


Рис. 9-5. Циклон-промыватель СИОТ: 1 — корпус; 2 — патрубок для выхода воздуха; 3 — водоподводящая труба; 4 — патрубок для входа воздуха; 5 — смотровые люки; 6 — спусковой патрубок; 7 — коническая часть циклона.

В циклоне-промывателе СИОТ наряду с действием центробежной силы большое значение для очистки имеет промывка воздуха водой. Хороший контакт очищаемого воздуха с водой создается благодаря турбулизации и распылению воды в нижней части аппарата. СИОТ при прочих равных условиях имеют габаритные размеры в 2-3 раза меньше, чем габаритные размеры скруббера; эффективность тех и других аппаратов примерно одинакова.

Скоростной пылеуловитель с трубой Вентури. Основная часть установки — труба Вентури, являющаяся первой ступенью. Здесь происходит контакт пылевоздушного потока с тонкораспыленной водой. На последующих ступенях (их может быть несколько) используются скрубберы, циклоны и др. На этих ступенях происходит улавливание пылевых частиц, предварительно скоагулированных на первой ступени. На рис. 9-6 показаны схемы СПУ Вентури.

Пылевоздушный поток поступает в трубу Вентури со значительной скоростью: скорость в горловине составляет обычно 60-120 м/с, в некоторых установках — до 20-30 м/с. Подача воды осуществляется с помощью распылителей, расположенных по окружности конфузора или по оси конфузора перед горловиной. В горловине трубы Вентури создается интенсивная турбулизация, которая обеспечивает хорошее перемешивание пылевоздушного потока с тонкораспыленной водой, смачивание пылевых частиц и их коагуляцию. Воздушный поток, содержащий скоагулированные в трубе Вентури пылевые частицы, поступает затем во вторую ступень, где осуществляется улавливание пыли.

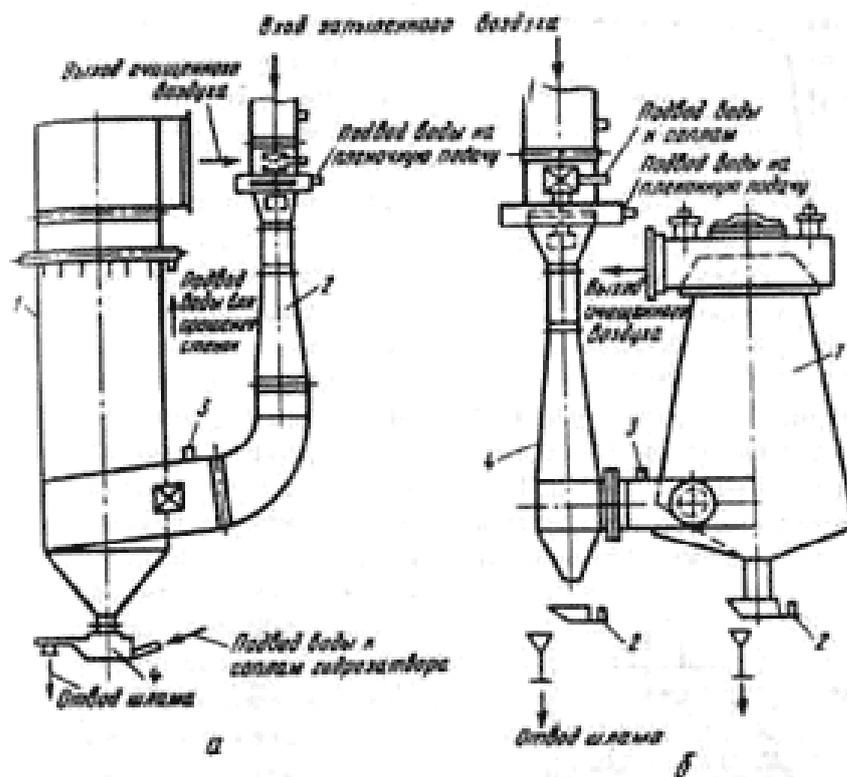


Рис. 9-6. Схемы компоновок установки трубы Вентури: а — с циклоном типа ЦВП: 1 — циклон ЦВП; 2 — труба-коагулятор; 3 — лючок для замеров; 4 — гидрозатвор; б — с промывателем СИОТ: 1 — промыватель СИОТ; 2 — гидрозатвор; 3 — лючок для замеров; 4 — труба-коагулятор.

Большие скорости в горловине трубы Вентури вызывают значительную потерю давления — до 2000-3000 Па, иногда до 6000 Па, в установках со сравнительно небольшими скоростями потеря давления не превышает 300 Па. Для создания необходимого давления в СПУ Вентури служат вентиляторы высокого давления (до 10 кПа). Расход воды в СПУ составляет от 1 до 80 л на 100 м³ очищаемого воздуха. Расход зависит от вида пыли, ее концентрации, а также от конструкции СПУ. Для распыления воды перед форсунками необходим напор 200-300 кПа. Главное преимущество СПУ Вентури —

простота устройства, малые габариты. Трубу Вентури отливают из чугуна или сваривают из листовой стали.

Мокрый пылеуловитель **РИСИ** предназначен для тонкой очистки запыленного воздуха. Он может быть установлен на второй ступени после циклона или другого аппарата, обеспечивающего грубую или среднюю очистку (рис. 9-7). Мокрый пылеуловитель задерживает минеральную пыль, оставшуюся после первой ступени очистки. Очищенный воздух может быть направлен на рециркуляцию. Пылеуловитель состоит из цилиндрической камеры; в нижней ее части имеется бункер конической формы для осаждения шлама. Внутри камеры расположены конус-рассекатель и цилиндрический отражатель. Конус-рассекатель и отражатель имеют на концах плавные переходы к поверхности воды. Это обеспечивает плавное соприкосновение запыленного потока с водной поверхностью под определенным углом. Отражатель соединен с диффузором. В верхней части корпуса для удаления обеспыленного воздуха из пылеуловителя устанавливаются патрубки, воздух проходит через каплеуловитель. Пылеуловитель работает следующим образом. Запыленный воздух по воздуховоду поступает в отражатель. Встречая на своем пути конус-рассекатель, ядро воздушного потока обтекает его со всех сторон, прижимаясь к его поверхности.

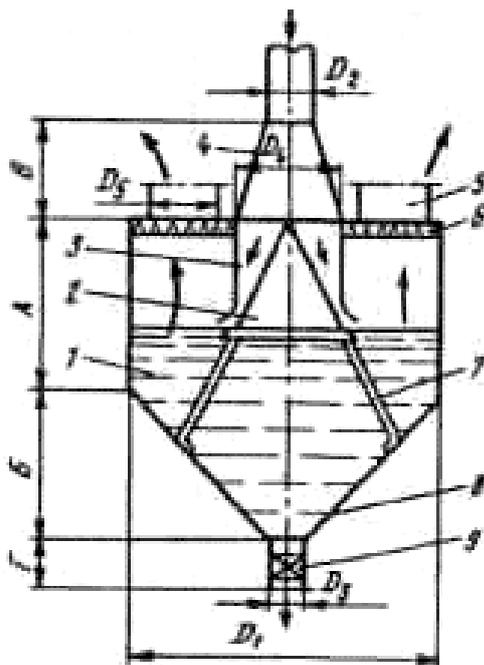


Рис. 9-7. Мокрый пылеуловитель РИСИ: 1 — цилиндрическая камера; 2 — конус-рассекатель; 3 — отражатель; 4 — диффузор; 5 — патрубок для отвода воздуха; 6 — каплеуловитель; 7 — лапки для крепления; 8 — бункер конической формы; 9 — патрубок для стока шлама.

Плавное очертание поверхности конуса-рассекателя у его края обеспечивает соприкосновение запыленного потока с водной поверхностью под небольшим углом. Частицы пыли, находящиеся в потоке, смачиваются водой и оседают на дно бункера. Обеспыленный воздух удаляется наружу.

При применении данного пылеуловителя в качестве второй ступени его устанавливают на нагнетательной линии вентилятора. Степень очистки воздуха в аппарате, как показали испытания, составляет 99,9%. Гидравлическое сопротивление — около 400 Па.

Преимущество аппарата — незначительный расход воды (несколько литров в час). Вода в аппарате расходуется лишь на испарение и на унос влаги с воздухом. Нет необходимости в постоянном обслуживании — шлам удаляют один раз в четыре месяца. В холодное время года при установке аппарата вне помещения или в неотапливаемом помещении принимают следующие меры для предотвращения замерзания воды: изоляция корпуса, подогрев воды, подача

горячей воды. Пылеуловитель может быть изготовлен в любой механической мастерской. Изготавливается он в основном из листовой стали толщиной не менее 2 мм. Внутренние и наружные поверхности окрашиваются. В РИСИ (ныне РГСУ) разработано несколько номеров мокрого пылеуловителя на производительность от 600 до 10000 м³/ч. В табл. 6.15 приведены технические данные аппаратов различных номеров.

Пенно-капельный пылеуловитель **РИСИ¹** предназначен для улавливания мелко- и среднедисперсных органических взрывоопасных пылей, а также пылей, образующих суспензии, которые можно использовать в технологическом процессе. Аппарат (рис. 9-8) состоит из корпуса, дюзы, системы каплеотбойников. Корпус аппарата заполнен жидкостью до определенного уровня. Дюза устроена по принципу трубы Вентури, имеет прорези в горловине трубы. Пылевые частицы задерживаются капельной жидкостью и пенным слоем. Это обеспечивается в результате закручивания пылегазового потока и жидкости, поступающей через прорези в горловину трубы Вентури.

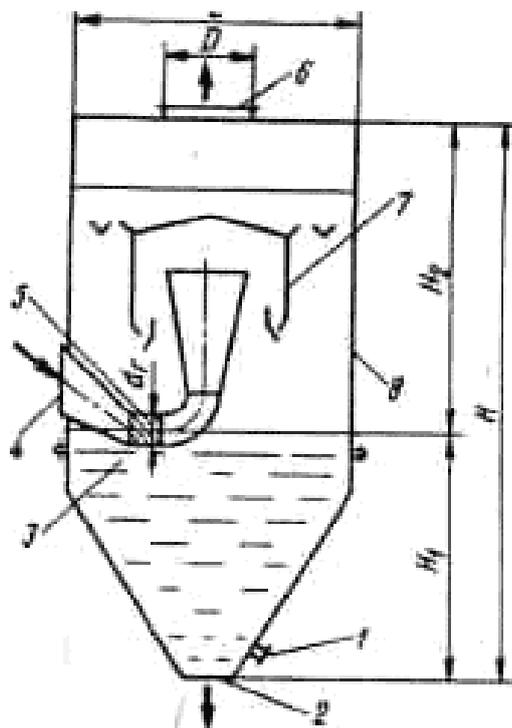


Рис. 9-8. Пенно-капельный пылеуловитель РИСИ: 1 — патрубок для взмучивания шлама; 2 — отверстие для выпуска шлама; 3 — горловина дюзы; 4 — отверстие для впуска запыленного воздуха; 5 — прорези в горловине; 6 — отверстие для выхода очищенного воздуха; 7 — система каплеотбойников; 8 — корпус каплеуловителя.

Периодичность чистки аппарата зависит от свойств и концентрации пыли. Так, при начальной концентрации пыли в очищаемом воздухе 500 мг/м^3 время работы пылеуловителя без замены воды составляет в среднем 100 ч. Гидравлическое сопротивление аппарата в зависимости от расхода воздуха — 910-1720 Па.

Электрические пылеуловители (электрофильтры). Их применение может обеспечить эффективную очистку воздуха от пыли, в первую очередь от мелкодисперсной.

Процесс обеспыливания газа в электрофилт্রে состоит из следующих стадий: пылевые частицы, проходя с потоком газа электрическое поле, получают заряд; заряженные частицы перемещаются к электродам с противоположным знаком; пылевые частицы осаждаются на этих электродах; удаляется пыль, осевшая на электродах. Основные элементы электрофилтра — коронирующие и осадительные электроды. Первый в простейшем виде представляет собой натянутую проволоку в трубке или между пластинами, второй — поверхность трубки или пластины, окружающей коронирующий электрод. В обычных условиях большая часть молекул газа нейтральна. Вследствие действия различных факторов (сильного нагрева, радиоактивного излучения, трения, бомбардирования газа быстро движущимися электронами или ионами и др.) в газе всегда имеется некоторое количество носителей электрических зарядов. Если в электрическом поле между электродами создать определенное напряжение, то носители зарядов, т. е. ионы и электроны, получают значительное ускорение и при их столкновении с молекулами происходит ионизация последних. В результате нейтральная молекула превращается в положительный ион и свободные электроны. Этот процесс называется ударной ионизацией.

Вокруг коронирующего электрода наблюдается голубовато-фиолетовое свечение (корона), откуда произошло название электрода. При коронном разряде выделяются озон и окислы азота. Образовавшиеся в результате ударной ионизации ионы и свободные электроны под действием поля также получают ускорение и ионизируют новые молекулы. Процесс носит лавинообразный характер. Однако по мере удаления от коронирующего электрода процесс затухает.

Носители электрических зарядов, перемещаясь, сталкиваются с пылевыми частицами, взвешенными в газовом потоке, проходящем через электрофилтр, и передают им электрический заряд. Большая часть частиц, проходящих в

межэлектродном пространстве, получает заряд, противоположный знаку осадительных электродов, перемещается к этим электродам и осаждается на них. Некоторая часть частиц получает заряд, противоположный знаку коронирующего электрода, и осаждается на этом электроде. Коронирующий электрод обычно имеет отрицательную полярность, осадительный электрод заземлен. При такой полярности корона более устойчива, отрицательные ионы более подвижны, чем положительные.

В зависимости от числа конструктивных зон бывают электрофильтры однозонные и двухзонные. В однозонных коронирующие и осадительные электроды пространственно не разделены. В двухзонных имеется четкое разделение. Однозонные фильтры применяют для очистки выбросов в атмосферу, двухзонные — для очистки воздуха в системах кондиционирования. В двухзонных фильтрах не происходит выделения озона, присутствие которого не допускается в воздухе, подаваемом в помещения. На рис. 9-9 показаны принципиальные схемы электрофильтров.

В зависимости от формы осадительных электродов известны электрофильтры трубчатые и пластинчатые (рис. 9-9б). Трубчатые электрофильтры состоят из большого числа элементов, имеющих круглое или сотообразное сечение. По оси такого элемента расположен коронирующий электрод. В пластинчатом электроfiltре имеется большое количество параллельных пластин, между которыми находятся натянутые коронирующие электроды.

По мере осаждения пыли на электродах понижается эффективность пылеулавливания. Электроды периодически очищают от пыли встряхиванием или промывкой.

Эффективность очистки в электроfiltре зависит от свойств очищаемого газа, свойств и концентрации пыли, а также от параметров электроfiltра.

Теоретически размер улавливаемых частиц не ограничен. Однако не все частицы в электрофильтре улавливаются. Гидравлическое сопротивление электрофильтров обычно не превышает 150-200 Па. Электроэнергия, потребляемая в электрофильтре, складывается из энергии, затрачиваемой на создание электрического поля, и энергии, расходуемой на преодоление гидравлического сопротивления. Удельный расход электроэнергии в электрофильтрах обычно равен 0,12-0,20 кВт-ч на 1000 м³ очищаемого газа.

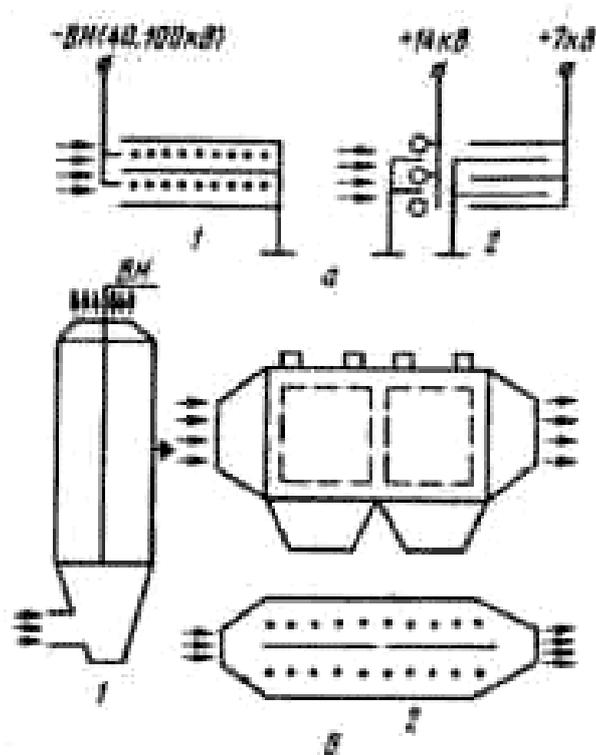


Рис. 9-9. Виды электрофильтров: а — в зависимости от числа конструктивных зон: 1 — однозонные; 2 — двухзонные; б — в зависимости от формы осадительных электродов: 1 — трубчатые; 2 — пластинчатые.

Электрофильтры, как более сложное и дорогостоящее оборудование, обеспечивающее тонкую очистку воздуха, обычно компонуются с другими пылеулавливающими устройствами, устанавливаемыми на начальных ступенях

очистки. Это повышает экономичность использования электрофильтров и обеспечивает более полную очистку.

Воздушные фильтры

В ряде отраслей согласно нормам предусматривается очистка приточного и рециркуляционного воздуха в системах вентиляции и кондиционирования. Очистка производится в воздушных фильтрах. По эффективности они подразделяются на три класса (табл. 9.1).

Принципы очистки воздуха в воздушных фильтрах такие же, как и в фильтрационных пылеуловителях. Обеспыливание воздуха осуществляется при прохождении его через пористый слой. Для повышения эффективности очистки в ряде конструкций предусматривается промасливание фильтра специальным маслом (масляные фильтры).

Таблица 9.1

Классификация воздушных фильтров

Класс фильтров	Размеры улавливаемых частиц, мкм	Эффективность	Эффективность очистки наружного воздуха, %, не менее
I	Все		99
II	Более 1		85
III	Более 10		60

Для очистки небольших количеств воздуха используют ячейковые фильтры различных конструкций, при обеспыливании больших объемов воздуха — самоочищающиеся фильтры. Содержание пыли в приточном или рециркуляционном воздухе значительно ниже, чем в вентиляционных

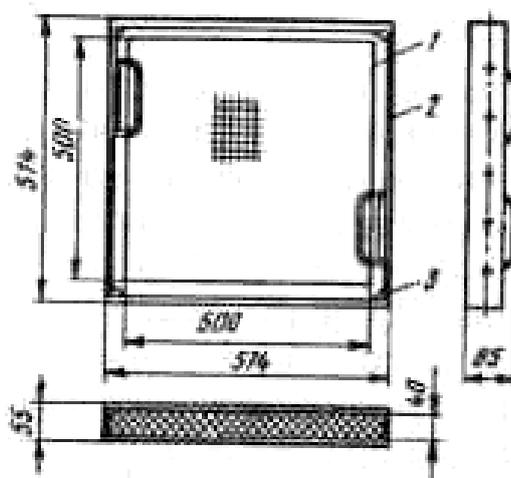
выбросах, и выражается в нескольких миллиграммах на кубический метр. Регенерация производится по мере накопления пыли и увеличения вследствие этого гидравлического сопротивления фильтра до определенного значения (ячейковые фильтры) или систематически (самоочищающиеся фильтры).

Ячейковые масляные фильтры представляют собой металлические разъемные коробки, заполненные фильтрующим слоем. Перед установкой фильтры большинства конструкций промасливают (рис. 9-10).

На предприятиях еще находятся в эксплуатации ячейковые фильтры прежних выпусков, в частности, с фильтрующим слоем из фарфоровых колец Рашига. В настоящее время выпускаются ячейковые фильтры ФяРБ и ФяВБ. Фильтрующий слой ФяРБ образован из гофрированных плетеных сеток. Сетки располагаются таким образом, что размер их ячеек убывает по направлению движения воздуха. Фильтрующий слой промасливается.

Ячейковый фильтр ФяВБ по конструкции аналогичен ФяРБ. Его фильтрующий слой образован винипластовыми гофрированными сетками. ФяВБ может устанавливаться как в промасленном, так и в не-замасленном состоянии.

Ячейки фильтра периодически очищают от накапливающейся пыли. Для этого масляные фильтры промывают в 10-процентном растворе каустической соды при температуре 60-70 °С (ячейки ФяРБ) и до 60 °С (ячейки ФяВБ). Сухие фильтры регенерируют промывкой в воде. Продолжительность работы фильтра между промывками в зависимости от запыленности очищаемого воздуха



приводится ниже.

Рис. 9-10. Ячейковый масляный фильтр: 1 — ячейка; 2 — установочная рамка; 3 — защелка.

Характеристика масляных фильтров дана в табл. 9.1.

Ячейковые фильтры монтируют в плоские или V-образные панели. Последняя схема позволяет экономить место при большом числе устанавливаемых ячеек.

Самоочищающиеся масляные фильтры обычно применяют при очистке более 30 тыс. м³/ч воздуха с запыленностью до 0,5 мг/м³. Эти фильтры компактны, при их применении исключается трудоемкая операция по промывке — в рукавных фильтрах осуществляется непрерывная промывка фильтрующих элементов в масляной ванне. На рис. 9-11 показан самоочищающийся фильтр. Обычно он является секцией кондиционера.

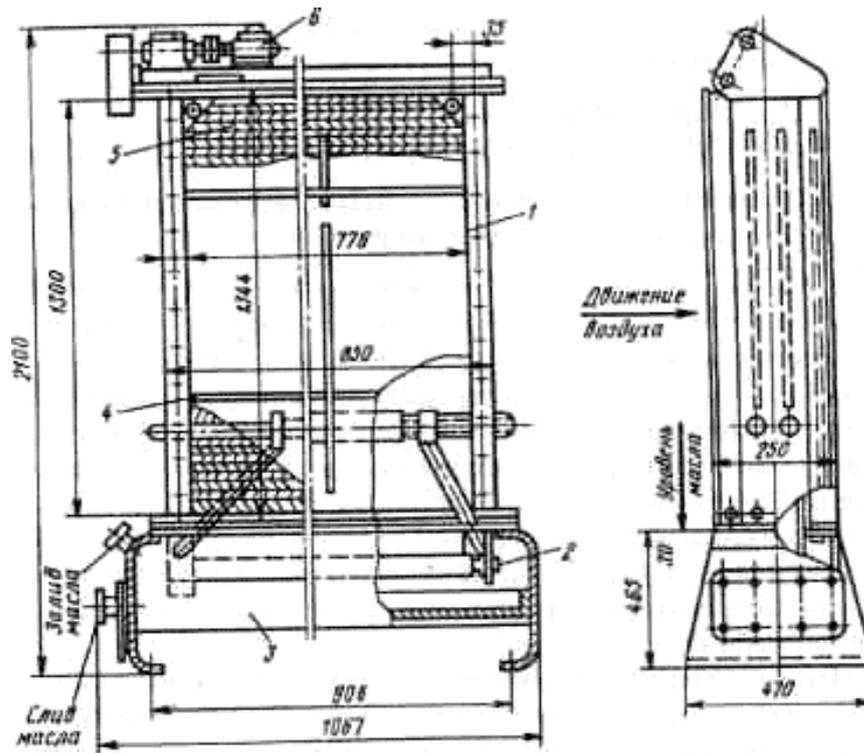


Рис. 9-11. Самоочищающийся масляный фильтр с пружинной сеткой (номинальная производительность $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$): 1 — корпус; 2 — натяжное устройство; 3 — бак для масла; 4 — ограничитель сетки; 5 — пружинные сетки; 6 — привод сеток.

Основной элемент фильтра — бесконечное полотно из пружинной стали. Очистка воздуха происходит при последовательном прохождении его через две движущиеся бесконечные пружинные сетки, смоченные маслом (воздух проходит через четыре плоскости, смоченные маслом). Каждая сетка приводится в движение с помощью двух пар валов, получающих вращение от электродвигателя через редуктор. Необходимо обеспечить равномерное движение воздуха по всему сечению фильтра со скоростью до 3 м/с . При движении пружинных сеток их нижние части погружаются в масляную ванну и при этом очищаются от осевшей на них пыли. Масло в ванне периодически сменяется. В самоочищающихся фильтрах применяют масло трансформаторное, веретенное, трансформаторное и др. Сорт масла должен соответствовать

температурным условиям времени года согласно рекомендации завода-изготовителя.

10. Приточные струи.

10.1. 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. 10-1 и 10-2.

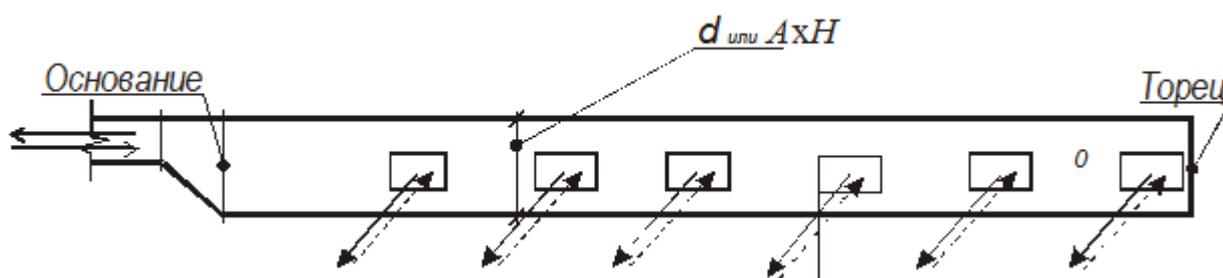


Рис. 10-1. Схема воздуховода равномерной раздачи (всасывания) с отверстиями в стенке

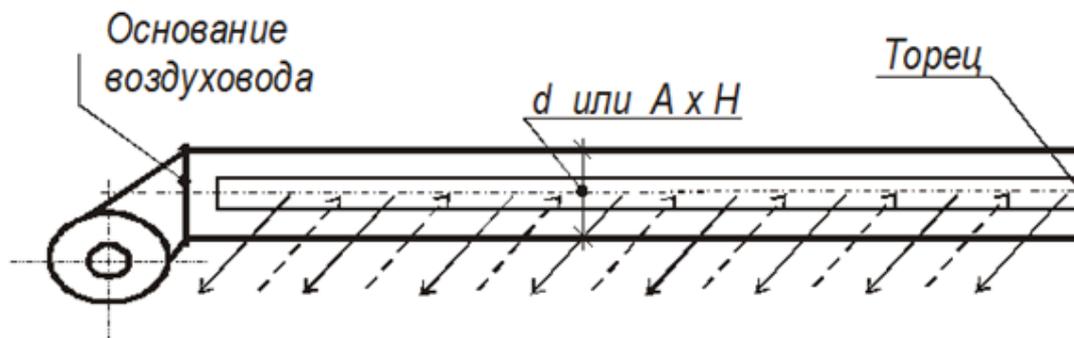


Рис. 10-2. Схема воздуховода равномерной раздачи (всасывания) со щелью в стенке

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. 10-3.

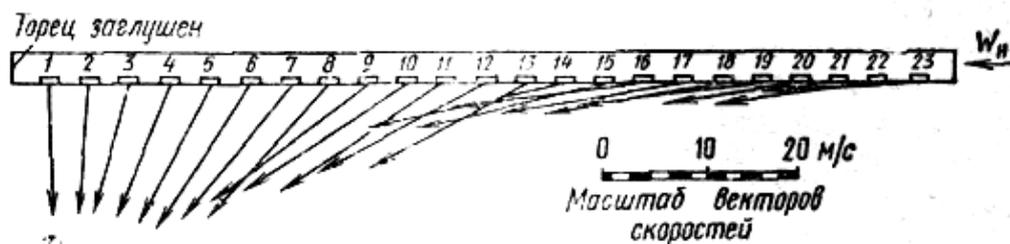


Рис. 10-3. Векторы скоростей приточных струй из отверстий воздуховода равномерной раздачи

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.

Этюры статического, динамического и полного давлений по длине приточного и вытяжного воздуховодов постоянного поперечного сечения.

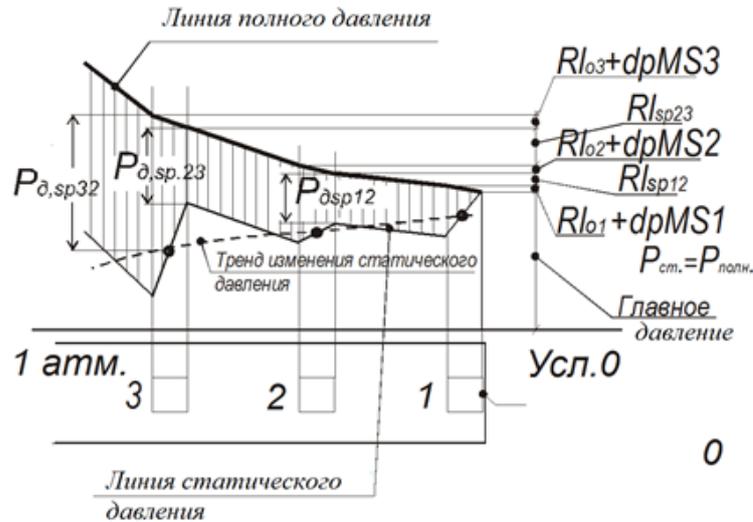


Рис. 10-4. Эпюры полного динамического и статического давлений по длине воздуховода равномерной раздачи постоянного поперечного сечения

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.10-5) 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.

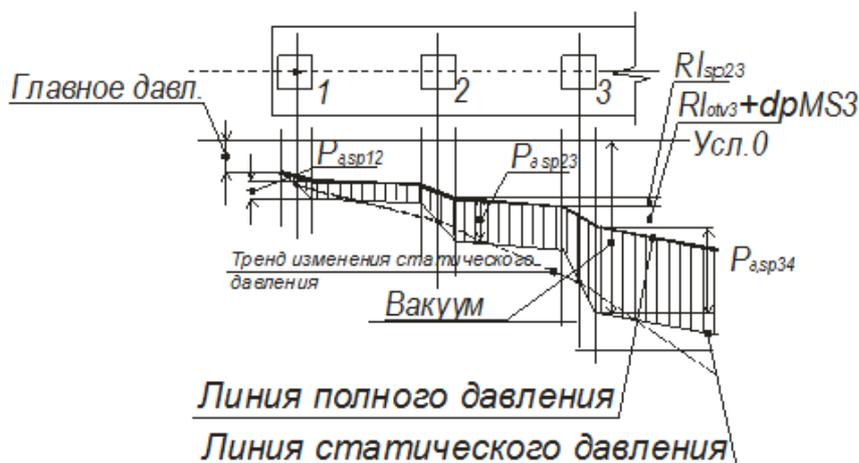


Рис. 10-5. Эпюры полного динамического и статического давлений по длине воздуховода равномерного удаления воздуха постоянного поперечного сечения

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.

10.2. 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. 10-6.

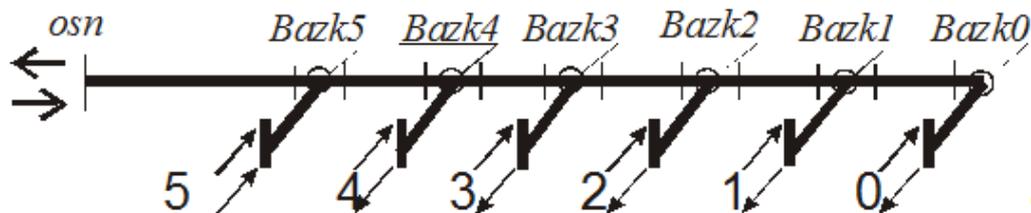


Рис. 10-6. Аэродинамическая схема воздуховодов равномерных подачи и удаления воздуха постоянного и переменного поперечного сечения

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. 10-6 аксонометрическая схема воздуховода с отверстиями в стенке аналогична аксонометрической схеме прямолинейной магистрали в сети воздуховодов, к которой присоединены под прямым углом ответвления. Роль ответвлений, в рассматриваемом случае, выполняют потоки воздуха, перемещающиеся через отверстия. Потери давления от слияния – разделения потоков, характеризуемые 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.10-6) **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 воздуховодов 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.

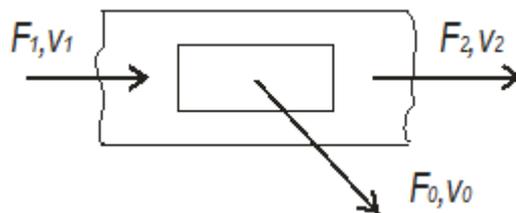


Рис.10-7. К определению КМС при разделении потока, движущегося вдоль оси воздуховода на потоки, поступающие через отверстия в стенке в помещение.

Таблица 10.1.

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.

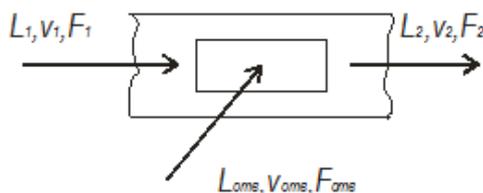


Рис. 10-8. К определению КМС при слиянии потоков, поступающего в воздуховод через отверстие и движущегося вдоль его оси

Таблица 10.2.

Значения коэффициентов местного сопротивления при слиянии потоков, поступающего через отверстие в стенке и движущегося вдоль прямолинейного воздуховода

$F_{отв}/F_1$	Значения $\zeta_{отв}$ (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 10.1.

У вытяжных рядовых отверстий (табл. 10.2) 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 10-1.

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 $K_{жс} = 0,9$:

$$dp_{реш} = 0,5 \zeta_{реш} \left(\frac{v_{отв}}{K_{жс}} \right)^2 \rho = 0,5 \cdot 2,8 \cdot \left(\frac{2,987}{0,9} \right)^2 \cdot 1,213 = 18,706 \text{ Па}$$

- потери в первом боковом отверстии:

Отношение площади отверстия к площади поперечного сечения воздуховода: $n = \frac{0.093}{0.246} = 0,378; \zeta = 18,808;$

$$dp_{отв} = 18,808 \cdot 0,5 \cdot 0,564^2 \cdot 1,213 = 3,628 \text{ Па}$$

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:

$$p_{полн} = p_{ст} = 18,706 + 3,628 = 22,334 \text{ Па}$$

Пояснение. Потерями на отрезке воздуховода 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
$\zeta,$	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
$dp_{прох}, \text{ Па}$	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 отверстию, 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 отверстию 2. Полные давления в прочих отверстиях рассчитываются аналогично.

№ отв.	1	2	3	4	5	6
$p_{\text{полн}}$, 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
$p_{\text{стат}}$, 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
$b_{\text{отв}}, \text{мм}$	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.

11. Пневматический транспорт.

11.1. Определение, классификация.

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° ;

- 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 воздуховодов: *с центральными сборниками отходов или пыли* и *разветвлённые*, в сети воздуховодов 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:

$$\mu_p = G_M/G_B \quad (11.1)$$

где G_M - массовый расход транспортируемого материала, кг/с;

G_B - 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.

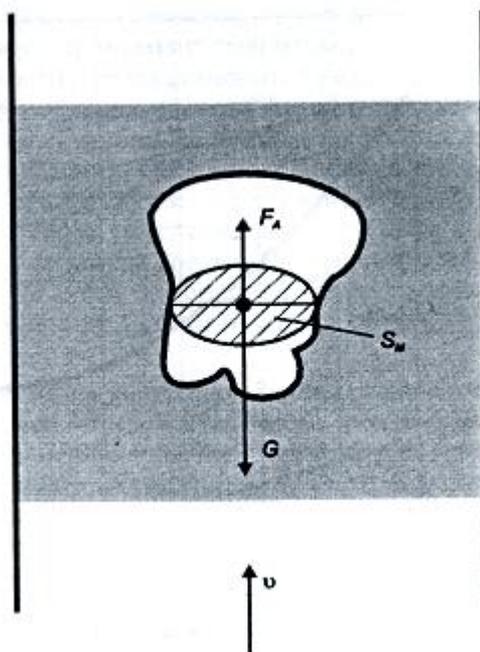


Рис. 11-1. К определению скорости витания

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 подъемная 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. 11-1).

Сила тяжести G:

$$G = V \rho g \quad (11.2)$$

где V — объем частицы, м^3 ; ρ — плотность частицы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Сила воздействия воздушного потока:

$$F_a = 0,5 c_{\text{л}} \rho_{\text{в}} S_{\text{м}} (v - v_{\text{м}})^2 \quad (11.3)$$

где $c_{л}$ - коэффициент лобового сопротивления; $S_{м}$ - площадь миделевого сечения; $v_{м}$ - скорость частицы.

Если $F_a = P$, то частица находится во взвешенном состоянии и её скорость $v_{м} = 0$. 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:

$$F_a = 0,5 c_{л} \rho_{в} S_{м} v_s^2 \quad (11.4)$$

Коэффициент сопротивления $c_{л}$ показывает, какая часть кинетической энергии расходуется на создание силы воздействия воздушного потока на частицу. Величина $c_{л}$ зависит от характера обтекания, формы и состояния поверхности частицы, от ее положения по отношению к потоку и размеров воздуховода. Определение $c_{л}$ 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:

$$v_s = 0,14 \sqrt{\frac{\rho_m}{\left(0,02 + \frac{a}{h}\right) \rho_v}} \quad (11.5)$$

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; ρ_v 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_{mp} - 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:

$$v_{mp.} = 1,3\sqrt[3]{\rho_{м.}} \quad (11.6)$$

$v_{тр}$ – 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.

$$A = v_{м}/v \quad (11.7)$$

где $v_{м}$ - 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 11.1.

Таблица 11.1.

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:			Сортированная технологическая щепа (длиной до 35 мм)	0,7	11
Мелкие	0,9	7			
Крупные	0,85	8			
Стружка:			Крупная несортированная щепа (длиной более 40 мм)	0,6	12
Мелкая	0,85	9			
Крупная	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 $\mu_{пр}$, произойдет 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:

$$V_{верт} = V_{гор} + v_s \quad (11.8)$$

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 воздуховодов. При характерных для реальных систем пневмотранспорта длинах вертикальных участков, увеличение концентрации в их конце не достигает предельного значения и закупорка воздуховода не происходит.

Транспортирующая скорость воздуха для перемещения древесных материалов и отходов может быть определена по эмпирической формуле, предложенной Ленинградской лесотехнической академией:

$$v_{гор.} = c \left(4\mu \frac{v}{v_m} + 0,01\rho_m + b \right) \quad (11.9)$$

где $v_{гор.}$ - транспортирующая скорость движения воздуха в горизонтальном участке воздуховода, м/с; c - коэффициент, учитывающий снижение скорости перемещения материала в местных сопротивлениях системы:

- внутрицеховые системы с частым расположением отводов $c = 1,1 \dots 1,15$;
- межцеховые 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. 11.1).

Формула 11.9 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 $\Delta p_{\text{под}}$. Согласно термодинамике, потери давления создают работу $L_B \cdot \Delta p_{\text{под}}$.

$gG_M \cdot z = L_B \cdot \Delta p_{\text{под}}$, где L_B - 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:

$$\Delta p_{\text{под}} = \frac{gG_{M.}}{L_{B.}} z = g \frac{G_{M.}}{G_{B.}} z \rho_{B.} = g \mu \rho_{B.} z \quad (11.10)$$

где μ - массовая концентрация транспортируемой смеси кг/кг;

ρ_B - 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:

$$\Delta p_{\text{разг.}} = \frac{v_{\text{м.}}}{v} \frac{v^2}{2} \rho_{\text{в.}} \quad (11.11)$$

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. 11.2).

Таблица 11.2.

Условный коэффициент местного сопротивления отводов $\zeta_{\text{о, усл}}$ при угле поворота $\alpha = 90^\circ$ и радиусе закругления $R = 2d$

Массовая концентрация смеси μ	Значения $\zeta_{\text{о, усл}}$					
	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:

$$\Delta p_{\text{см}} = \Delta p(1 + K\mu) \quad (11.12)$$

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:

$$K = K_T \sqrt{\frac{d}{0.3}} \quad (11.13)$$

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 (11.13) составлена таблица 11.3 рекомендуемых значений коэффициентов K .

Таблица 11.3.

Коэффициент К для горизонтальных участков пневмотранспортных систем

Транспортируемый 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 щепка	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.11-2. Сами коллекторы-сборники изображены на рис.11-3 и рис.11-4.

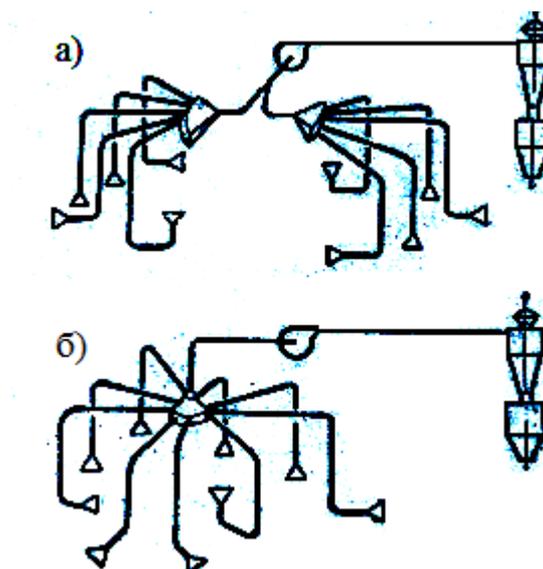


Рис. 11-2. Схемы внутрицеховых систем пневмотранспорта с коллекторами – сборниками

а - горизонтальными; б - типа «люстра»

Системы состоят из ответвлений, присоединённых к коллектору – сборнику, работающему в режиме камеры постоянного статического давления, транзитных всасывающего и напорного воздуховодов, 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.

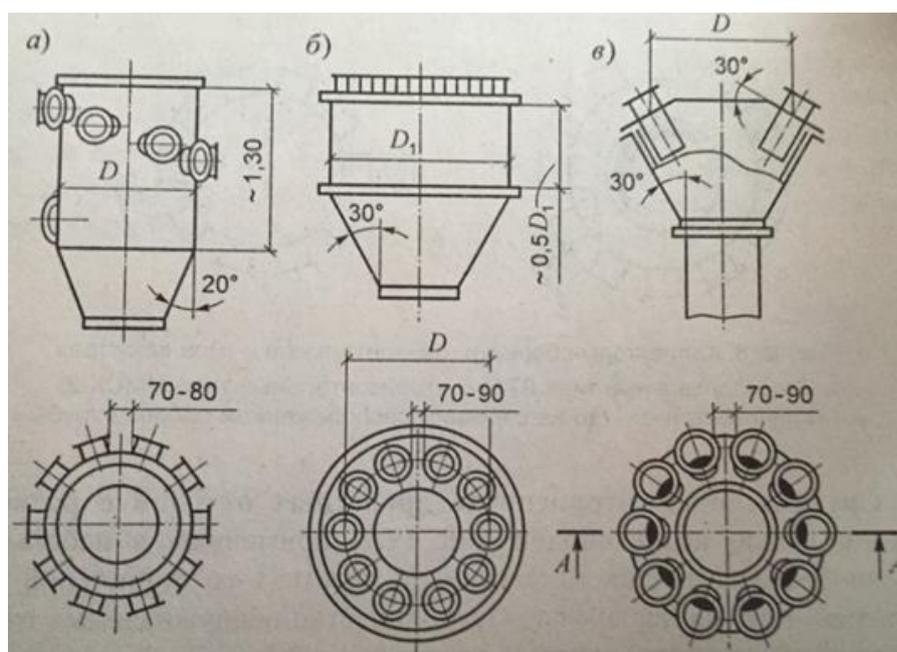


Рис. 11-3. Сборники отходов вертикального типа

а. с боковым подключением ответвлений; б. с верхним подключением ответвлений; в. конический

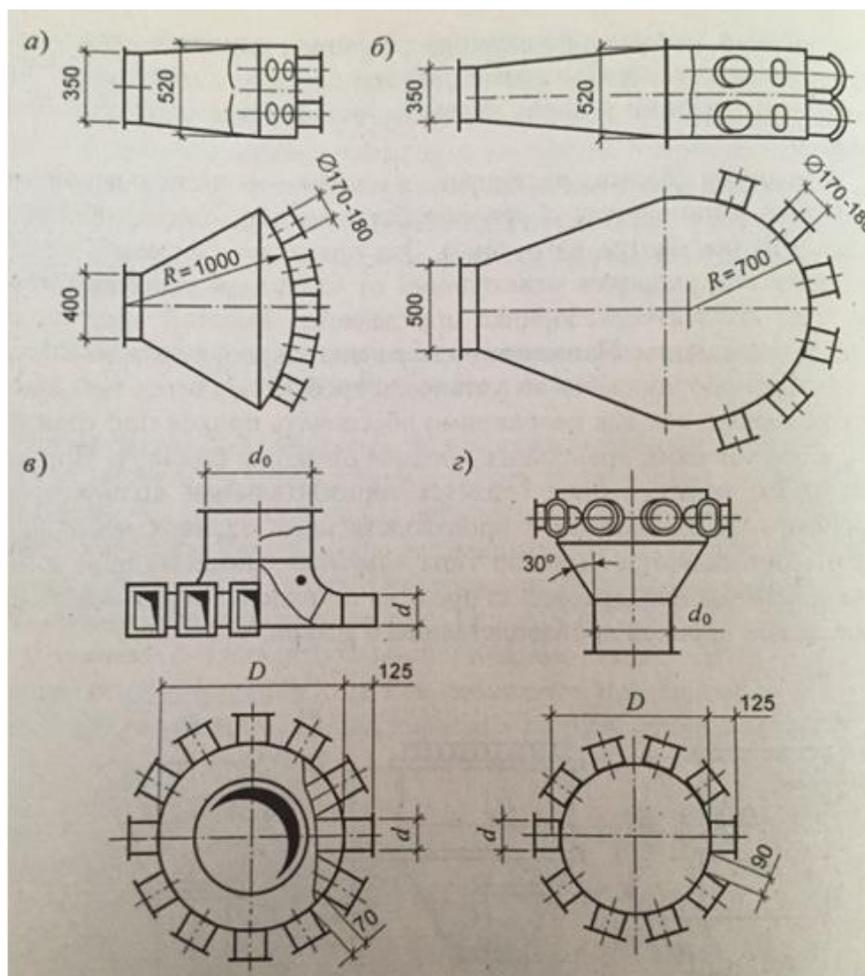


Рис. 11-4. Сборники отходов горизонтального и типа «люстра»

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.11-3 и рис.11-4 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. 11-5) 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.

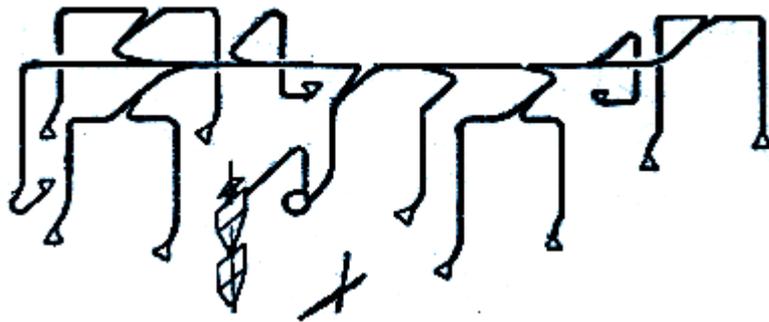


Рис. 11-5. Схема системы с разветвлённой системой воздуховодов

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 11.4.

Таблица 11.4.

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

11.2. Элементы систем пневмотранспорта.

Трубопроводы. В системах пневмотранспорта и аспирации с $\mu < 0,5$ кг/кг используются воздуховоды из тонколистовой стали. В таблице 11.5 приведены рекомендуемые толщины листовой стали.

Таблица 11.5.

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 11.6.

Таблица 11.6.

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 воздуховодов часто осуществляется гибкими рукавами из металла или других материалов.

Приёмники древесных отходов, шиберы, устанавливаемые на ответвлениях.

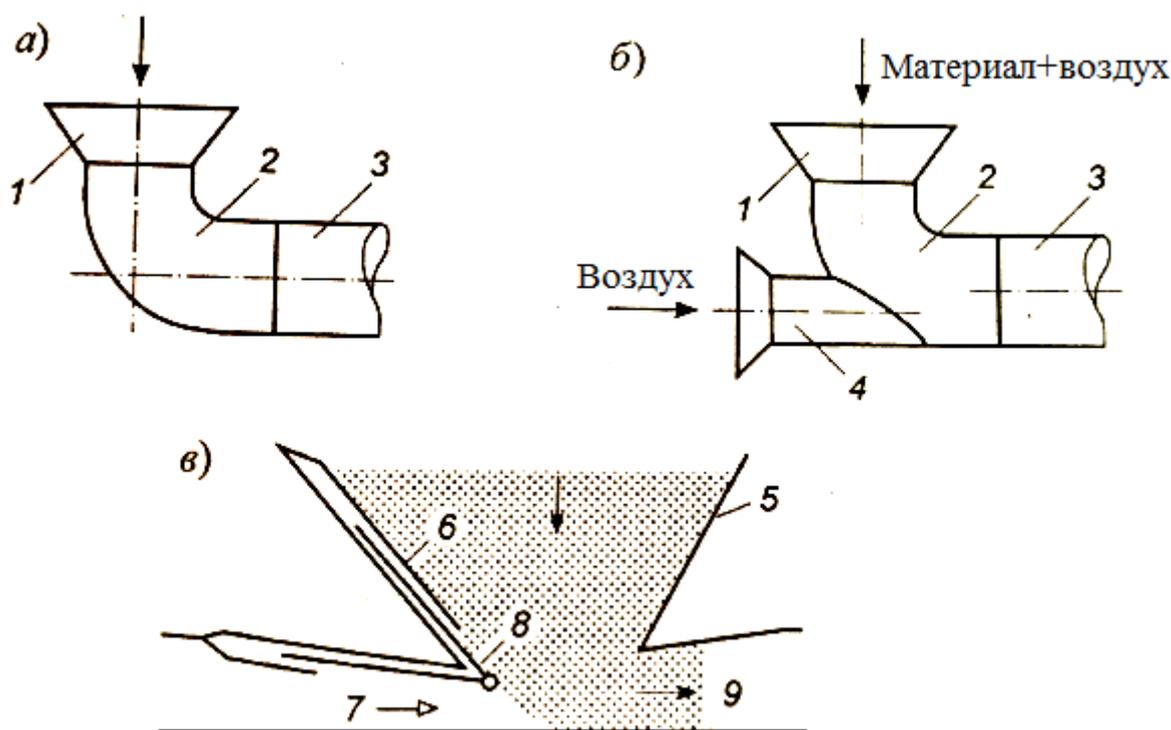


Рис. 11-6. Виды загрузочных воронок, применяемых в системах пневматического транспорта дисперсных материалов

а. обычная: 1 – раструб для загрузки материала с углом раскрытия $\alpha \leq 60^\circ$; 2. отвод 90° с закруглением $R/d = 2 \dots 3$. воздуховод системы пневмотранспорта.

б. с транзитным потоком воздуха. 1 – раструб, аналогичный случаю «а»; 2 – тройник; 3 – воздуховод 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. 11-6в). Обычные воронки (рис. 11-6а) 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 грузочная 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. Этого 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.

Шибера 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.

11.3. Особенности расчёта.

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 11.6). 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:

$$L_{\text{расч}} = 1,15 \Sigma L_{\text{отв}} \quad (11.14)$$

где $L_{\text{отв}}$ - объём отсасываемого воздуха от каждого присоединённого к коллектору – сборнику станка, м³/ч.

12. Расчётная потеря давления в системе:

$$\Delta p_{\text{расч.}} = 1,1(\Delta p_{\text{отв}} + \Delta p_{\text{маг}} + \Delta p_{\text{под}} + \Delta p_{\text{цикл}}) \quad (11.15)$$

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 11.4) 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 производится в циклоне Клайпедского ОЭКДМ.

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 равной 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 11.7.

**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	приёмник отходов – 0,8
2 отвода 90 ⁰ ; R/d=2 – 0,15x2=0,30	3 отвода 90 ⁰ ; R/d=2 – 0,15x3=0,45
отвод 45 ⁰ R/d=2 – 0,09	внезапное расширение – 1,0
внезапное расширение – 1,0	Сумма: $\Sigma\zeta = 2,25$
Сумма: $\Sigma\zeta = 2,39$	

Полировальный станок:	Шлифовально-ленточный станок:
приёмник отходов – 1,1	приёмник отходов – 1,1
1 отвод 90 ⁰ ; R/d=2 – 0,15	2 отвода 90 ⁰ ; R/d=2 – 0,15x2=0,30
1 отвод 15 ⁰ ; R/d=2 – 0,05	внезапное расширение – 1,0
внезапное расширение – 1,0	Сумма: $\Sigma\zeta = 2,40$
Сумма: $\Sigma\zeta = 2,30$	
Шипорезный станок:	Напольный отсос:
приёмник отходов – 0,8	приёмник отходов – 1,0
2 отвода 90 ⁰ ; R/d=2 – 0,15x2=0,30	1 отвода 90 ⁰ ; R/d=2 – 0,15
1 отвода 30 ⁰ ; R/d=2 – 0,09	внезапное расширение – 1,0
внезапное расширение – 1,0	Сумма: $\Sigma\zeta = 2,15$
Сумма: $\Sigma\zeta = 2,19$	

3. Определяется расчётная величина потерь давления для подбора диаметра ответвлений (таблица 11.8).

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:

$$d_{тр} = (4 L / (3600 \pi v_{тр}))^{0,5} = (850 / 900 \cdot \pi \cdot 17,0)^{0,5} = 0,1329 \text{ м}$$

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:

$$P_d = v^2 \rho_{\text{возд}} / 2 = 19,24^2 \cdot 1,2 / 2 = 222,16 \text{ Па}$$

- выбираем по таблице 14.3 учебника Тертичника Е.И. Вентиляция, 2015г значение $\lambda/d = 0,164$

$$\text{- вычисляем величину } (\lambda/d) l + \Sigma \zeta = 0,164 \cdot 12,2 + 2,39 = 4,391$$

- 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 11.8.

Определение величины расчётной потери давления для подбора диаметра ответвлений к местным отсосом деревообрабатывающих станков

№№ отв.	Заданные величины			Принимаемые величины		
	L м ³ /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 11.8.

P_d , 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 11.9.

Таблица 11.9.

Аэродинамическая увязка ответвлений от местных отсосов
деревообрабатывающих станков к центральному сборнику отходов

№№ уч.	L , м ³ /час	l , м	ζ	$(\lambda/d) l + \zeta$	P_d	$v_{\text{тр}}$	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 11.9.

$d_{ст}$	$v_{ф}$	λ/d	$(\lambda/d) 1 + \zeta$	$P_{д}^{ст}$	$P_{ф}$	ΔP	Невязка, $\Delta\%$
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 $[(\lambda/d) 1 + \zeta]$, определённая в предыдущем расчёте, останется неизменной:

$$P_{д} = \Delta P_{расч} / [(\lambda/d) 1 + \zeta] = 1110/3,067 = 361,92 \text{ Па}$$

2. находим скорость в воздуховоде, соответствующую вычисленной величине динамического давления:

$$v_{тр} = (2 P_{д} / \rho_{возд})^{0,5} = (2 \cdot 361,92 / 1,2)^{0,5} = 24,56 \text{ м/сек}$$

Скорость воздуха в предыдущем расчёте 23,82 м/с, новая скорость не вышла за пределы расчётного диапазона.

3. определяем величину диаметра воздуховода:

$$d = [L / (900 \cdot \pi \cdot v_{\text{тр}})]^{0,5} = [1320 / (900 \cdot 3,142 \cdot 24,56)]^{0,5} = 0,138 \text{ м}$$

Принимаем расчётную величину стандартного диаметра равной 140 мм.

Примечание: требуемая скорость вышла за пределы скоростного диапазона, при котором в предыдущем расчёте вычислялись $[(\lambda/d) 1 + \zeta]$, 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:

$$P_{\text{д}}^{\text{ст}} = v^2 \rho_{\text{возд}} / 2 = 23,82^2 \cdot 1,2 / 2 = 340,44 \text{ Па}$$

- величина $(\lambda/d) 1 + \zeta = 0,141 \cdot 6,75 + 2,25 = 3,2$

- фактические потери давления:

$$P_{\text{ф}} = P_{\text{д}}^{\text{ст}} [(\lambda/d) 1 + \zeta] = 340,44 \cdot 3,2 = 1089,4 \text{ Па.}$$

- давление, которое необходимо погасить в диафрагме:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{расч}} - P_{\text{ф}} = 1110 - 1089,4 = 20,59 \text{ Па}$$

- невязка давлений составляет:

$$\Delta\% = (\Delta P / \Delta P_{\text{расч}}) 100 = (20,59 / 1110) \cdot 100 = 1,85\%$$

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 $[(\lambda/d) 1 + \zeta]$, определённая в предыдущем расчёте, останется неизменной:

$$P_d = \Delta P_{\text{расч}} / [(\lambda/d) 1 + \zeta] = 1110/3,3 = 333,33 \text{ Па}$$

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 $(\lambda/d) 1 + \zeta = 0,059 \cdot 17,3 + 2,4 = 3,42$

• фактические потери давления:

$$P_{\text{ф}} = P_d^{\text{ст}} [(\lambda/d) 1 + \zeta] = 316,02 \cdot 3,42 = 1080,79 \text{ Па}$$

• 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 11.9 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.

Конусную диафрагму можно подобрать по данным Справочника проектировщика. 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 $l = (d - d_d) / 2 \text{tg} \alpha = (160 - 103,7) / (2 \cdot 3,364) = 77,3$ 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° R/d = 2,0 – 4*0,15 = 0,6

-отвод 45° 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):

$$\Delta p_{\text{подъёма}} = g \mu \rho z = 9,81 \cdot 0,2 \cdot 1,2 \cdot 6,7 = 15,77 \text{ Па}$$

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 клиноременной передачей, укомплектованный электродвигателем АИР160М4, мощностью 18,5 кВт и частотой вращения 1500 об/мин. Клиноременная 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.

12. Воздушное душирование.

12.1. Определение, классификация, расчётные параметры воздуха.

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 СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха (см. табл. 12.1) 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 12.1.

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	1	28	24	21	16	-
		2	-	28	26	24	20
		3	-	-	28	26	24

	рабочей зоны,	3,5	-	-	-	27	25
Средней тяжести - II	соответствующей нормам	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 $0,4^{\circ}\text{C}$ на каждый градус разности от значения, приведенного в таблице, но она не должна быть ниже 16°C . 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 1×1 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 $0,1 \text{ м}^2$. Струя направляется на рабочее место горизонтально, либо сверху под углом $\sim 45^{\circ}$.

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. 12.1). Если облучение имеет место из открытого загрузочного отверстия промышленной печи площадью А, м², интенсивность облучения на рабочем месте может быть вычислена с помощью выражения:

$$q_{р.м.} = 5,77\varphi_{р.м.}\varphi_{от.}[(273 + t_{печи})/100]^4 \quad (12.1)$$

где $\varphi_{р.м.}$ - коэффициент облучённости рабочего места плоскостью загрузочного отверстия, расположенного от рабочего места на расстоянии x , 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 (12.1) приобретает вид:

$$q_{р.м.} = 5,77\varphi_{р.м.}[(273 + t_{поверх.})/100]^4 \quad (12.2)$$

В прочих случаях облучённость измеряется *актинометром*. Интенсивности облучённости на различных рабочих местах представлены в таблице 8.2.

Таблица 12.2.

Интенсивность теплового облучения на рабочих местах для некоторых видов производств

Производство	Профессия рабочих	Интенсивность теплового излучения, Вт/м ²
Доменный цех	Горновые, чугушники, желобщики	700 – 2100
Мартеновский цех	Сталевары, разливщики, ковшовые	700 – 2100
	Машинисты завалочных машин	1400 – 3500
Прокатный цех	Сварщики нагревательных колодцев	350 – 560
	Сварщики методических печей	280 – 840
	Вальцовщики, резчики, контролёры	1000 - 2100
Электросталеплавильный цех	Сталевары, разливщики, 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	Прессовщики	350 - 2100

изделий		
---------	--	--

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 .

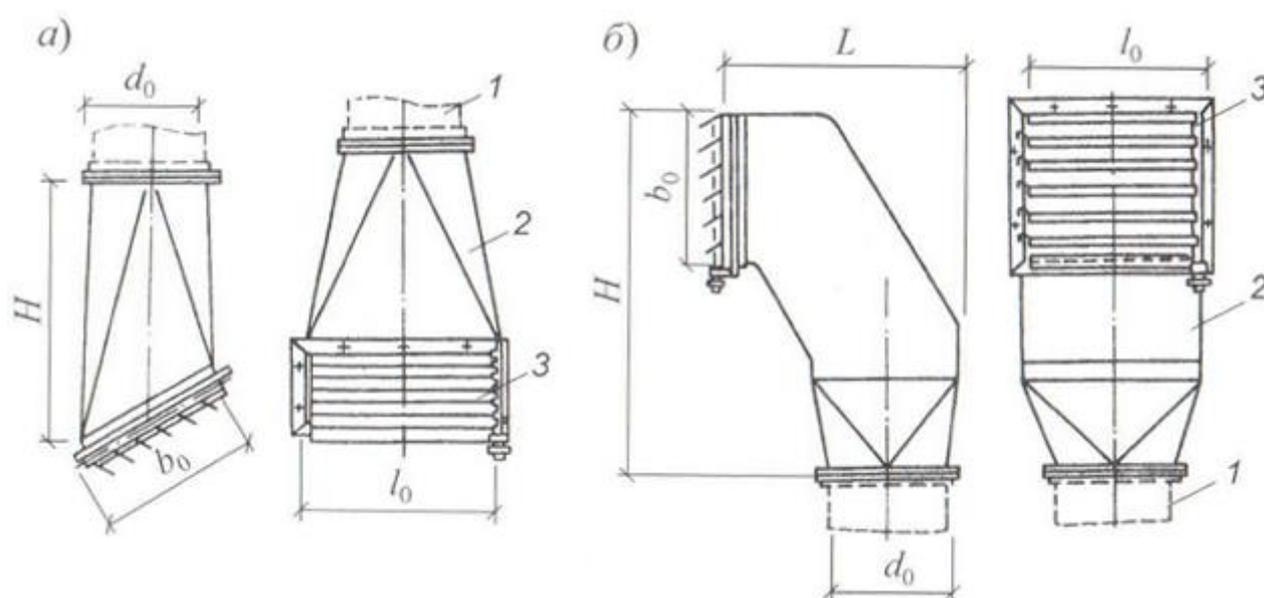


Рис. 12-1. Патрубки марки ПД для воздушного душирования с верхней и нижней подачей воздуха.

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 лопатки 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.

12.2. Расчёт параметров приточных струй. Алгоритм подбора душирующих патрубков

При подборе душирующего патрубка исходят из необходимости обеспечения расчётных параметров воздуха на площадке 1x1 м в пределах поперечного сечения струи, истекающей из притонного 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 1x1 м должна располагаться поперечном сечении всей струи.

Протяжённость начального участка по скорости определяется по формуле 12.3 из учебника Тертичника Е.И. Вентиляция, 2015г.:

$$x_{нач,уч} < m\sqrt{A_0} \quad (12.3)$$

где m – коэффициент затухания осевой скорости; A_0 – площадь приточного отверстия, м².

Возрастание радиуса компактной струи в направлении движения воздушного потока определяется соотношением:

$$\frac{r_x}{r_0} = 1 + 0,125 \frac{x}{r_0} \quad (12.4)$$

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:

$$\frac{0,71}{0,5\sqrt{A_0}} = 1 + 0,125 \frac{x}{0,5\sqrt{A_0}} \quad (12.5)$$

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:

$$A_0 = 2,0164 - 0,71x + 0,0625 x^2 \quad (12.6)$$

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 :

$$v_0 = v_{\text{норм}} \frac{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}}{1 + 0,0425 \frac{x}{r_0} + 0,0036 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2} \quad (12.7)$$

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:

$$t_0 = t_{pm} \pm \Delta t_0 \quad (12.8)$$

$$\Delta t_0 = \Delta t_{cp} \frac{1 + 0,125 \frac{x}{r_0}}{1 + 0,045 \frac{x}{r_0} + 0,005 \left(\frac{x}{r_0} \right)^2} \quad (12.9)$$

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:

$$R = 0,082 x \sqrt{\ln(2m\sqrt{A_0})} \quad (12.10)$$

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 12.10, решая это уравнение относительно A_0 , получим:

$$A_0 = \frac{\left(e^{\frac{-0,14872110^{-27} 0,466110^{28} x^2 - 0,252110^{30}}{x^2}} \right)^2}{m^2} \quad (12.11)$$

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:

$$v_x = \frac{mv_0 \sqrt{A_0}}{x} e^{-0,5 \left(\frac{y}{0,082x} \right)^2} \quad (12.12)$$

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 патрубка, 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:

$$> \text{Int}((m*v_0*A_0^{0.5}/x)*\exp(-0.5*(y/(0.082*x))^2),y=0..0.71)=$$

$$=\text{int}((m*v_0*A_0^{0.5}/x)*\exp(-0.5*(y/(0.082*x))^2),y=0..0.71);$$

$$\int_0^{0.71} \frac{mv_0 A_0^{0.5} e^{(-74.36049970 \frac{y^2}{x^2})}}{x} dy = 0,1027717593 mv_0 \sqrt{A_0} \operatorname{erf} \left(6,122509935 \frac{1}{x} \right);$$

- среднее значение скорости, м/с, в пределах расчётной площадки получается, в делением выражения на 0,71 м:

$$v_{ср,р.м} = 0,14475 mv_{ось,р.м} \sqrt{A_0} \operatorname{erf} \left(\frac{6,1225}{x} \right) \quad (12.13)$$

- осевая скорость в центре расчётной площадки, м/с:

$$v_{ось,р.м} = \frac{v_{ср,р.м}}{0,14475 m \sqrt{A_0} \operatorname{erf} \left(\frac{6,1225}{x} \right)}$$

- требуемая скорость притока, м/с:

$$v_0 = \frac{xv_{ось,р.м}}{m\sqrt{A_0}} \quad (12.14)$$

Аналогично, определяем избыточную температуру в центре расчётной площадки определяется в соответствии с теоремой о среднем:

- интеграл по кривой избыточной температуры в поперечном сечении струи:

$$\Delta t = \frac{n\Delta t_0 \sqrt{A_0}}{x} e^{-0,4\left(\frac{y}{0,082x}\right)^2}$$

$$\begin{aligned} > \text{Int}((n*dt*A0^{0.5}/x)*\exp(-0.4*(y/(0.082*x))^2),y=0..0.71)= \\ =\text{int}((n*dt*A0^{0.5}/x)*\exp(-0.4*(y/(0.082*x))^2),y=0..0.71); \end{aligned}$$

$$\int_0^{0.71} \frac{n dt A_0^{0.5} e^{(-59.48839976 \frac{y^2}{x^2})}}{x} dy = .1149023199 n dt \sqrt{A_0} \text{erf}\left(5.476139362 \frac{1}{x}\right);$$

- среднее значение избыточной температуры на рабочем месте через деление интеграла на интервал интегрирования 0,71 м:

$$\Delta t_{ср,р.м} = 0,16183 \text{erf}\left(\frac{5,47614}{x}\right) n \Delta t_{ось,р.м} \sqrt{A_0}$$

- избыточная температура в центре расчётной площадки на рабочем месте:

$$\Delta t_{ось,р.м} = \frac{\Delta t_{ср,р.м}}{0.16183 \text{erf}\left(\frac{5.47614}{x}\right) n \sqrt{A_0}} \quad (12.15)$$

- избыточная температура на выходе из душирующего патрубка:

$$\Delta t_0 = \frac{x \Delta t_{ось,рм}}{n \sqrt{A_0}} \quad (12.16)$$

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, Matlab, 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;

$$L = 3600 v_{прит} A_0 \quad (12.17)$$

- расход холода для охлаждения притока в тёплый период года:

$$Q_{холода} = c_e \rho_e L (t_n^A - t_0) \quad (12.18)$$

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:

$$Q_{теплоты} = c_v \rho_v L (t_0 - t_n^B) \quad (12.19)$$

где t_n^B - температура наружного воздуха по параметрам Б для холодного периода года.

Пример 12-1.

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 +29⁰С, в холодного и переходного +16 ⁰С. Наружного для холодного периода – (-27)⁰С, тёплого – (+24,6)⁰С. 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...22⁰С при температуре рабочей зоны + 29...÷31 ⁰С. Принимаем в качестве расчётных значений на рабочих местах: скорость – 3,5 м/с, температуру – 22⁰С. Согласно I-d диаграммы, адиабатически наружный воздух можно охладить до + 18,5⁰С, с учётом подогрева воздуха в вентиляторе

на + 0,5⁰С, минимальная при адиабатическом охлаждении температура воздуха на выходе из душирующего патрубка составит + 19⁰С.

Выписываем характеристики типоразмеров душирующих патрубков типа УДВ, пригодных для данного случая душирования.

Воздухораспределитель	Марка	Размеры, мм			Расчётная площадь F ₀ , 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:

$$A_{0,2} = 2,0164 - 0,71x + 0,0625 x^2 = 2,0164 - 0,71 \cdot 2,4 + 0,0625 \cdot 2,4^2 = 0,672$$

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: $r_{\text{усл}} = \sqrt{A_0} = \sqrt{0,68} = 0,825 \text{ м}$

- 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 1x1 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: $L = 3600v_0A_0 = 3600 \cdot 4,2 \cdot 0,68 = 10281 \text{ м}^3 / \text{ч}$.

Искусственный холод не требуется.

В холодный период года расход по притоку сохраняется, но температура притока составит:

$$t_0 = t_{pm} + \Delta t_0 = 16 + 8,14 = 24,14^\circ \text{C}$$

Расход теплоты, кДж/ч:

$$Q = c_e \rho L (t_0 + t_n) = 1,005 \cdot 1,2 \cdot (24,14 + 27) = 646477 \text{ кДж} / \text{ч}$$

Вариант 2. Подбор патрубка для рабочего места, находящегося на расстоянии в 4,6 м от душирующего патрубка. Душирование выполняется основным участком струи.

$$A_0 = \frac{\left(e^{-0,148721 \cdot 10^{-27} \frac{0,4661 \cdot 10^{28} x^2 - 0,2521 \cdot 10^{30}}{x^2}} \right)^2}{m^2} = \frac{\left(e^{-0,148721 \cdot 10^{-12} \frac{0,4661 \cdot 10^{28} \cdot 4,6^2 - 0,2521 \cdot 10^{30}}{4,6^2}} \right)}{6^2} = 0,24 \text{ м}^2$$

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 УДВ-2 происходит основным участком струи.

Скорость в центре расчётной площадки:

$$v_{ось, pm} = \frac{v_{ср, pm}}{0,14475 \operatorname{erf} \left(\frac{6,1225}{x} \right) \cdot x} = \frac{3,5}{0,14475 \cdot 0,94 \cdot 4,6} = 5,592 \text{ м} / \text{с}$$

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:

$$\Delta t_{ось,рм} = \frac{\Delta t_{ср,рм}}{0,16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5,47614}{x}\right)} = \frac{-7}{0,16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5,47614}{4,6}\right)} = -10,36^\circ \text{C}$$

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:

$$Q = c_s \rho L (t_n - t_0) = 1,005 \cdot 1,2 \cdot 9513 \cdot (24,6 - 9,16) = 130560 \text{ кДж/ч}$$

Холодный период года.

Избыточная температура в центре расчётной площадки:

- средняя избыточная температура на рабочем месте:

$$\Delta t_{cp,pm} = 22^{\circ} - 16^{\circ} = 6^{\circ} C$$

- разность температур в центре расчётной площадки и рабочей зоны:

$$\Delta t_{ось,pm} = \frac{\Delta t_{cp,pm}}{0,16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5,47614}{x}\right) x} = \frac{6}{0,16183 \operatorname{erf}\left(\frac{5,47614}{4,6}\right) \cdot 4,6} = 8,88^{\circ} C$$

Избыточная температура на выходе из насадка:

$$\Delta t_0 = \frac{x \Delta t_{ось,pm}}{n \sqrt{A_0}} = \frac{4,6 \cdot 8,88}{4,9 \sqrt{0,38}} = 13,52^{\circ} C$$

Температура на выходе из насадка: $t_0 = t_{pz} + \Delta t_0 = 16 + 13,52 = 29,52^{\circ} C$

Расход теплоты:

$$Q = c_e \rho L (t_u - t_0) = 1,005 \cdot 1,2 \cdot 9513 \cdot (29,52 + 27) = 648435 \text{ кДж / ч}$$

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:

$$Q_{\text{ч}} + \alpha_{\text{к}}(t_{\text{р.з.}} - \tau_{\text{ч}}) F_{\text{ч.к.}} + c_{\text{пр.1}} \varphi_{\text{ч-п.}} b_{\text{ч-п.}}(\tau_{\text{п.}} - \tau_{\text{ч}}) F_{\text{ч.л.}} + \\ + c_{\text{пр.2}} (1 - \varphi_{\text{ч-п.}}) b_{\text{ч-в.п.}}(\tau_{\text{в.п.}} - \tau_{\text{ч}}) F_{\text{ч.л.}} = 0 \quad (12.20)$$

где $Q_{\text{ч}}$ - 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 четвертых степеней абсолютных температур в К к разности температур в $^{\circ}\text{C}$; $\varphi_{\text{ч-п.}}$ - коэффициент облученности «человек – нагретая поверхность»; $\tau_{\text{п.}}$ – температура нагретой поверхности, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{р.з.}}$ – температура воздуха в рабочей зоне, $^{\circ}\text{C}$; $\tau_{\text{в.п.}}$ – температура внутренних поверхностей прочих ограждений помещений, $^{\circ}\text{C}$; $\tau_{\text{ч.}}$ – 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:

$$\alpha_{\text{к}} = 10,29\sqrt{V} \quad (12.21)$$

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:

$$v = 0,00944 \alpha_{\text{к.}}^2 \quad (12.22)$$

13. ВОЗДУШНЫЕ ЗАВЕСЫ

13.1. Назначение, 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.13-1. При необходимости подогрева подаваемого в завесу воздуха, дополнительно, устанавливают калориферы.

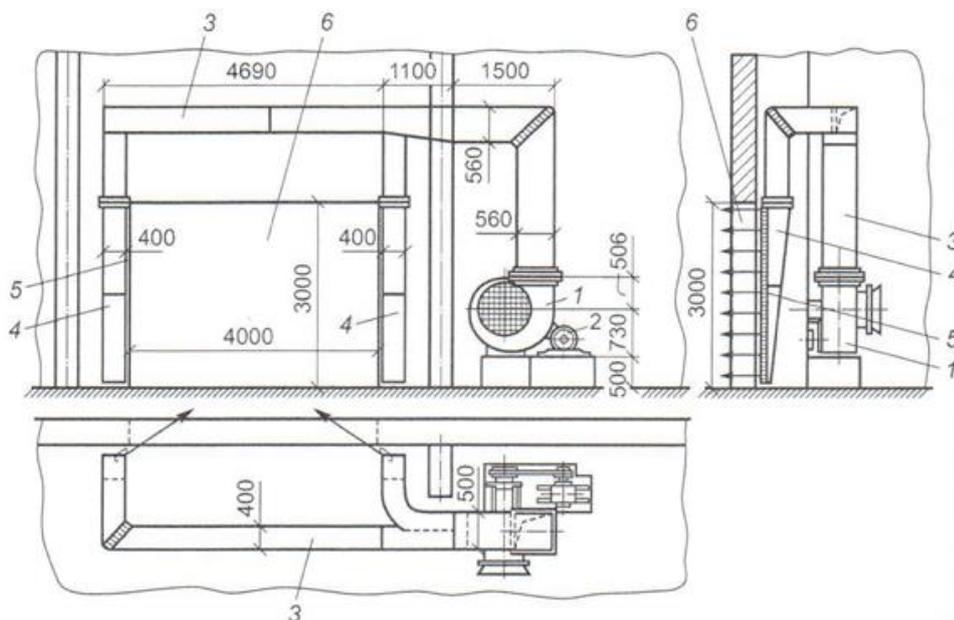


Рис.13-1. Принципиальная схема воздушной завесы с двухсторонней подачей воздуха

1 – воздуховод; 2 – вентилятор; 3 – калорифер; 4 – воздуховод равномерной раздачи; 5 – щелевой насадок; 5 – 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.13-2а);

- 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.13-2г).

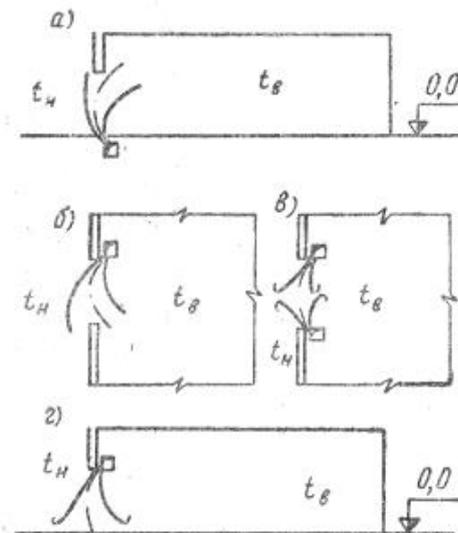


Рис.13-2. Схемы воздушных завес с различным направлением воздушной струи

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:

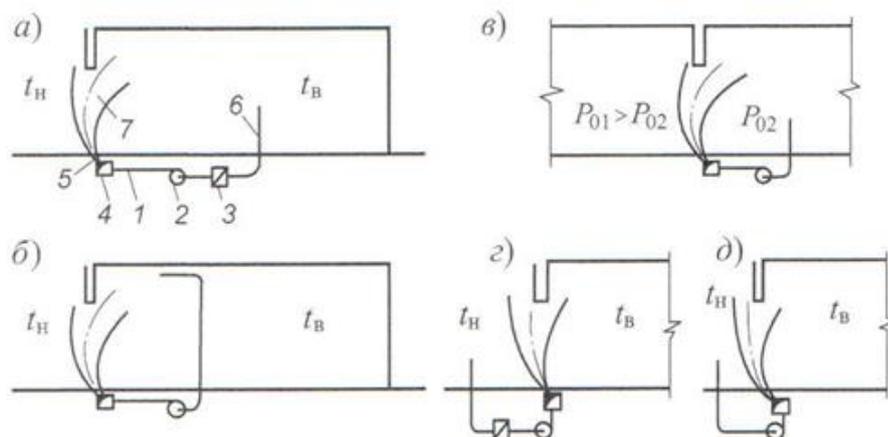


Рис.13-3. Схемы воздушных завес с различными способами организации воздухозабора и различной температурой подаваемого воздуха

1–5 – см. подписи к рис.11.1; б – 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.13-3а) устраивают:

- в помещениях с постоянными рабочими местами вблизи защищаемых завесами ворот в наружных стенах;
- помещениях с повышенными требованиями к воздушной среде;
- для защиты технологических проёмов в наружных стенах.

- с внутренним воздухозабором без подогрева подаваемого воздуха (рис.13-3б) устраивают:

- у наружных проёмов в наружных ограждениях помещений, в которых допускается некоторое периодическое понижение температуры;

- в помещениях со значительными теплоизбытками;
- у проёмов во внутренних ограждениях.
- с наружным воздухозабором и подогревом подаваемого воздуха (рис.13-3г) устраивают воздушные завесы постоянного действия, используемые в качестве приточных вентиляционных установок:
- с наружным воздухозабором без подогрева подаваемого воздуха (рис.13-3д) у проёмов помещений со значительными теплоизбытками.

Наиболее широко применяются воздушные завесы с боковой двухсторонней подачей воздуха. Завесы с подачей воздуха сверху вниз устраивают у проёмов 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.

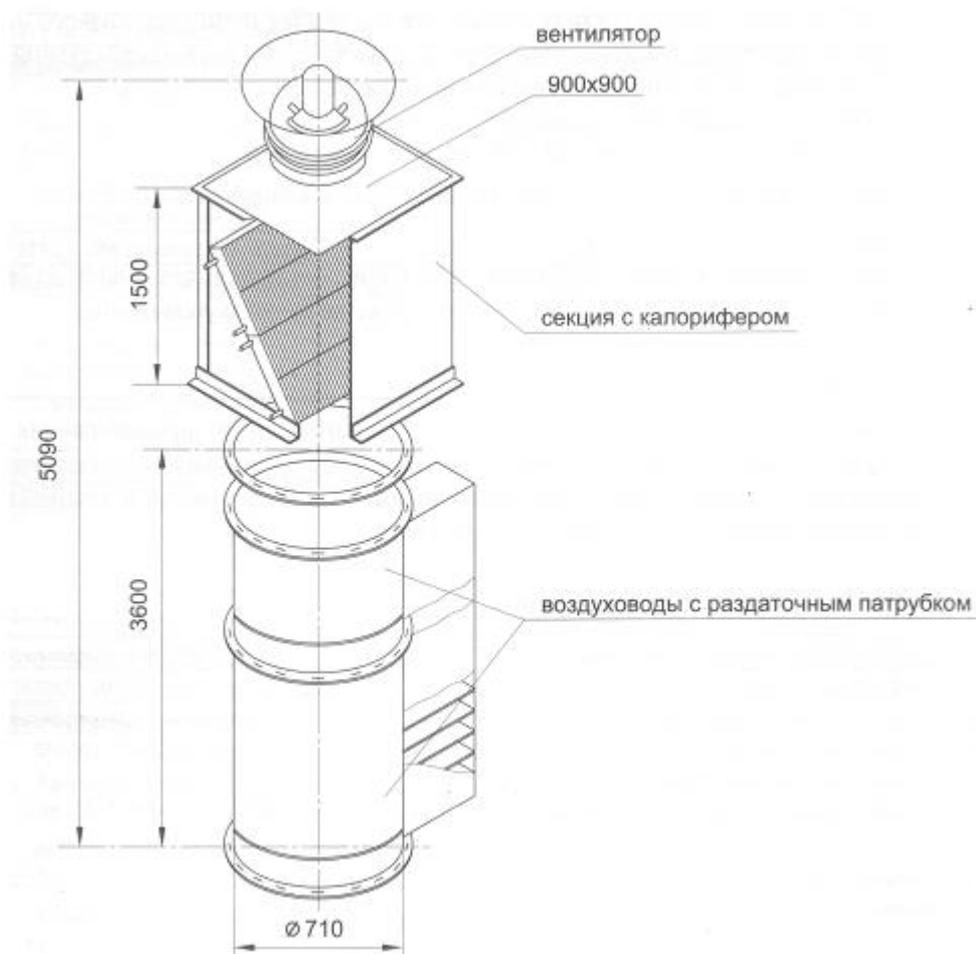


Рис.13-4. Конструкция несущего стояка воздушной завесы заводского изготовления

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.13-1) 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.13-4). Основанием для монтажа калорифера и вентилятора служит воздухораспределительный короб усиленной конструкции. Воздухозабор осуществляется из помещения (рис.13-5). Воздухораспределительные короба равномерной раздачи размещают таким образом, чтобы воздушная струя не прерывалась открытыми створками ворот.

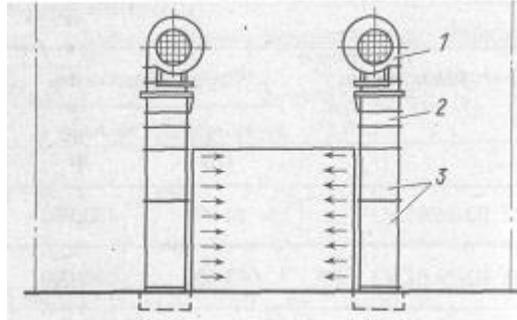


Рис.13-5. Двухсторонняя, серийно-изготавливаемая воздушно-тепловая завеса

1 – вентилятор; 2 – калорифер; 3 – воздухораспределительный короб

Устройство воздушных завес обязательно:

- 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;
- у наружных дверей, ворот и проемов помещений с мокрым режимом;
- при обосновании, у проемов во внутренних стенах и перегородках производственных помещений для предотвращения перетекания воздуха из одного помещения в другое;
- 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.13-б).

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 проёмов.

Температуру воздуха, подаваемого воздушно-тепловыми завесами, принимают не выше 50°C у наружных дверей и не выше 70°C у наружных ворот и проёмов.

Расчётную 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.

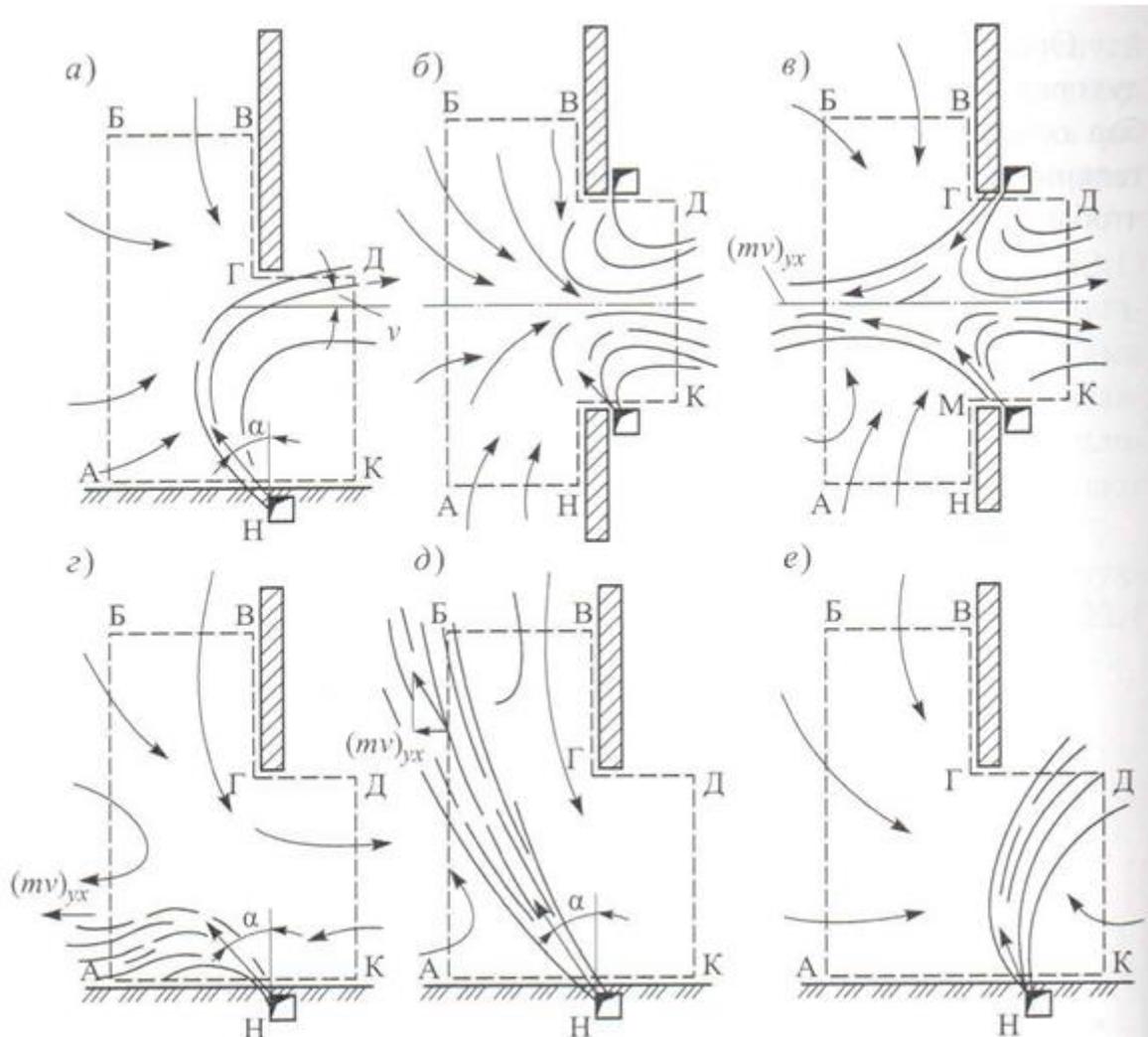


Рис.13-6. Траектории струй воздушных завес в зависимости от угла между вектором скорости и плоскостью проёма

На рис. 13-6, 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 13.1.

Таблица 13.1.

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: $G_{np} = 3600 \mu A_{\text{проёма}} \sqrt{2 \Delta p \rho_{\text{нар}}}$, где μ – коэффициент расхода проёма, учитывающий особенности процесса пересечения воздушным потоком проёма, зависит от варианта оформления кромок (рис. 13-8); G_{np} – 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. 13-8а и 13-8б.

Как следует из рис.13-6, 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.

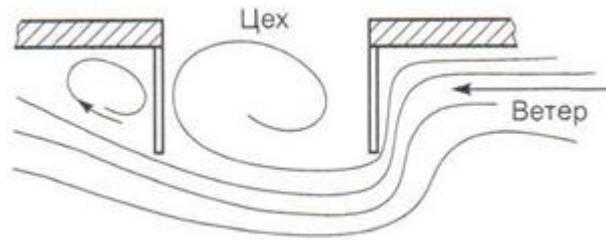


Рис.13-7. Защита завесы от действия ветра, параллельного с фасадом направления открывающимися наружу створками распашных ворот

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.13-7.

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. 13-8.

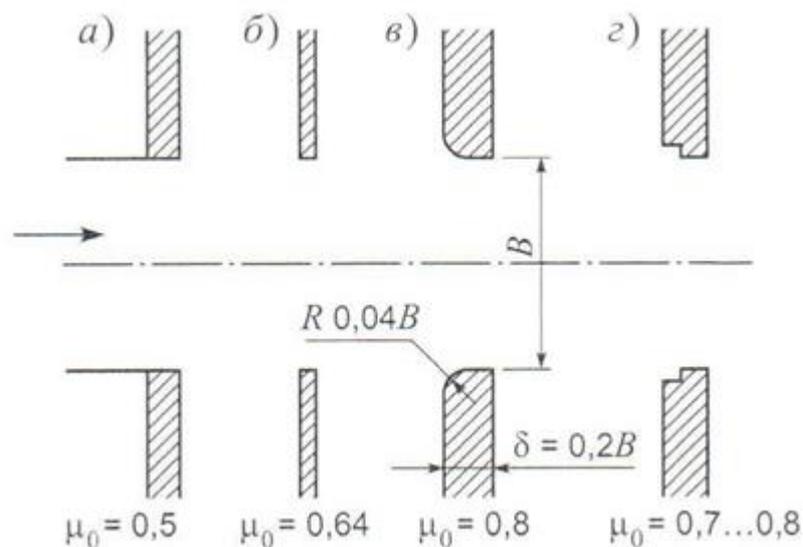


Рис. 13-8. Варианты оформления кромок ворот и коэффициенты расхода проёмов, не защищённых воздушной завесой

а – проём с распахнутыми створками ворот, наиболее распространённый; б – проём в тонкой стенке; в – проём с закруглёнными входными кромками; г – проём с конструктивными отступами

Расчёт воздушных завес шиберующего типа. Если не защищать проём воздушной завесой, расход воздуха через него можно определить, как:

$$G_{np} = 3600 \mu_o A_{\text{проёма}} \sqrt{2 \Delta p \rho_{\text{нар}}} \quad (13.1)$$

где μ_o – коэффициент расхода проёма, учитывающий особенности оформления кромок проёма; G_{np} – 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_{np1} , кг/ч. В формуле это учитывается условным коэффициентом расхода μ , меньшим по величине, нежели μ_o .

$$G_{np1} = 3600 \mu A_{\text{проёма}} \sqrt{2 \Delta p \rho_{\text{нар}}} \quad (13.2)$$

При заборе воздуха для воздушной завесы G_z , кг/ч, из помещения приток через проём увеличится на величину отбора воздуха из него.

$$G_{np2} = G_{np1} + G_3 \quad (13.3)$$

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 .

$$q = \frac{G_{завесы}}{G_{np-i}} \quad (13.4)$$

где $G_{завесы}$ - 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.

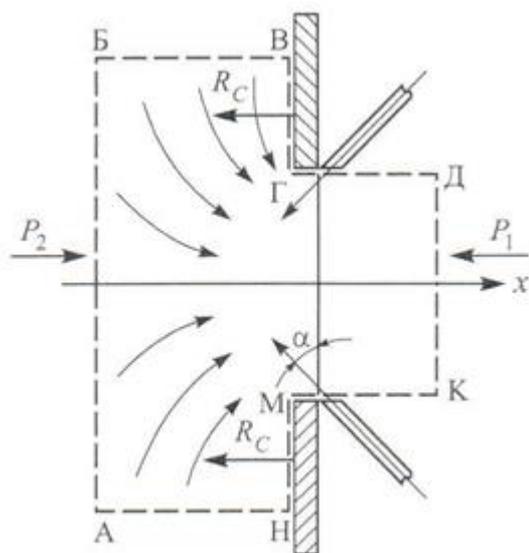


Рис.13-9. К определению соотношений между q , μ_0 и μ

Для получения зависимости, связывающей q , μ_0 и μ , проводится контрольная поверхность АВГДКМН (рис.13-9): 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):

$$- A_{\text{ц}} v_{\text{з}} \rho \sin \alpha$$

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 $-(F_e P_1)$.

Реакция горизонтальной поверхности земли и объёмные силы не учитываются, так как проекции этих сил на ось x равны нулю. Приравнявая приращения количества движения действующим силам и пренебрегая силами трения, получим:

$$A_{\text{в}} \mu \psi v_{\text{сж}}^2 \cos \vartheta + A_{\text{ц}} v_{\text{з}} \sin \alpha = P_2 A - R(A - A_{\text{в}}) - P_1 A_{\text{в}} \quad (13.5)$$

где - $A_{\text{в}}$ - площадь ворот;

$A_{\text{ц}}$ - 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;

$v_{сж}$ – средняя скорость в сжатом сечении над воротами;

$v_э$ - начальная скорость выхода из щели воздухораспределителя воздушной завесы;

$\rho_э$ – 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:

$$P_2 = P_1 + \frac{v_{сж.}^2}{2} \rho_{см.} (\varphi + \zeta_{см.}) \quad (13.6)$$

где φ – коэффициент, учитывающий неравномерность поля скоростей;

$\zeta_{см.}$ - коэффициент, учитывающий потерю энергии при смешивании потоков наружного воздуха и воздуха завесы.

Решая совместно уравнения (13.5) и (13.6) и поделив обе части равенства на $A_э v_{сж}^2 \rho_{св}$ получим:

$$\mu + \frac{A_{ц} v_3 \rho_3}{A_2 v_{сж}^2 \rho_{см}} \sin \alpha = \frac{\varphi + \zeta_{см}}{2} + \frac{P_2 - R}{A_2 v_{сж}^2} (A - A_6) \quad (13.7)$$

где 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 (13.7), не могут быть найдены теоретически и определяются экспериментально.

Проведя преобразования уравнения (13.7), введя некоторые константы, полученные экспериментально, получим:

$$q^2 \mu^2 \frac{A_6 \rho_{см}}{A_{ц} \rho_3} \sin \alpha + \mu - \mu_0 = 0$$

Решая которое относительно μ и беря положительное значение корня, получим:

$$\mu = \frac{\sqrt{1 + 4\mu_0 q^2 D} - 1}{2q^2 D} \quad (13.8)$$

где $D = \frac{A_6 \rho_{см}}{A_{ц} \rho_3} \sin \alpha$

Уравнение (13.8) может применяться для вычисления μ . Из него можно и получить расход в воздушной завесе, позволяющий получить требуемое значение μ :

$$q = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{\mu_0 - \mu}{\frac{F_{\text{в.}} \rho_{\text{см.}} \sin \alpha}{F_{\text{ш.}} \rho_3}}} = \frac{1}{\mu} \sqrt{\frac{\mu_0 - \mu}{D}} \quad (13.9)$$

где $A_{\text{в}}$ – площадь защищаемого завесой проёма, м²; $A_{\text{ш}}$ – 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:

$$G_3 = 3600q \mu A_{\text{в}} \sqrt{\Delta p \rho_{\text{см}}} \quad (13.10)$$

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:

$$G_3 = \Delta G_{\text{мех}} \cdot \frac{q}{1-q} \cdot \frac{\mu A_B}{\Sigma(\mu_{\text{п}}) + \Sigma(\mu A_B)} \quad (13.11)$$

• при заборе воздуха для завесы снаружи:

$$G_3 = \Delta G_{\text{мех}} \cdot q \cdot \frac{\mu A_B}{\Sigma(\mu_{\text{п}}) + \Sigma(\mu A_B)} \quad (13.12)$$

где $\Sigma(\mu_{\text{п}} A_{\text{п}})$ – 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 13.8 – 13.11 справедливы для рационально устроенных воздушных завес.

В справочной литературе приводится таблица коэффициентов расхода проёмов μ завес шибберного 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:

$$t_3 = t_n + \frac{t_{\text{смеси}} - t_n}{q(1 - \bar{Q})} \quad (13.13)$$

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:

$$Q_3 = 0,278 \cdot c_{\text{возд}} (t_3 - t_{\text{нач}}) \quad (13.14)$$

где $t_{\text{нач}}$ – температура воздуха на отметке входа воздуха в калорифер или всасывающее отверстие вентилятора.