

**А.В. Бетин, Н.В. Бондарева, Т.С. Клименко,
М.Н. Мурин, Н.В. Нечипорук**

**ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

2006

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»

А.В. Бетин, Н.В. Бондарева, Т.С. Клименко,
М.Н. Мурин, Н.В. Нечипорук

ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Учебное пособие

Харьков «ХАИ» 2006

Теория и конструкция систем экологической безопасности / А.В. Бетин, Н.В. Бондарева, Т.С. Клименко, М.Н. Мурин, Н.В. Нечипорук. – Учеб. пособие. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2006. – 144 с.

Проанализировано современное состояние проблем экологической безопасности и определены потенциально опасные объекты загрязнения окружающей среды при авариях и катастрофах.

Рассмотрены особенности устройства различных типов систем экологической безопасности для предотвращения загрязнения окружающей среды и обеспечения комфортного пребывания человека в различных условиях, т.е. для поддержания нормируемых параметров окружающей среды: допустимых концентраций вредных веществ в воде (системы водоочистки и водоподготовки), воздухе (системы газоочистки), почве (комплексная переработка токсичных отходов на полигонах); определенных параметров воздуха в жилых, общественных, административных и производственных помещениях (системы вентиляции и отопления).

Описаны методы, с помощью которых достигаются заданные параметры окружающей среды, а также расчетные методики, полученные из анализа физических процессов, характерных для данной системы. Для более детального и наглядного анализа расчетных методик приведены примеры проектирования конкретных систем экологической безопасности.

Для студентов специальностей 7.101311 “Безопасность жизнедеятельности” и 7.0708.01 “Экология и охрана окружающей среды”.

Ил. 71. Табл. 15. Библиогр.: 25 назв.

Рецензенты: канд. техн. наук, доц. В.В. Олейник,
канд. техн. наук, доц. О.А. Стельмах

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время во всем мире складывается экологически кризисная обстановка, при которой разрушаются не только хозяйственные системы, но и окружающая среда (ОС) – среда существования человека. В примерах такого рода нет недостатка. Большинство из них свидетельствует о том, что ошибки в хозяйственной деятельности приобретают черты стихийных бедствий.

В последние десятилетия произошел всплеск техногенных аварий и катастроф. По оценкам специалистов причинами этого являются усложнение структуры и рост числа техногенных объектов, человеческий и природный факторы. Существенное значение во многих случаях имеет изношенность оборудования и просчеты инженерно-технического характера. О последствиях многих техногенных катастроф нельзя было заранее предполагать, так как человечество не имело опыта подобных событий в прошлом.

Хозяйственная деятельность людей может провоцировать возникновение опасных природных явлений – землетрясений, оползней, сейселей, проседаний грунта и т.д. Возможно возникновение вторичных, навешенных техногенных катастроф и аварий, обусловленных действием дальнего и ближнего космоса.

Как правило, аварии и катастрофы приводят к нарушению качества ОС, представляют угрозу существования человеку и биоты.

Уязвимость экосистемы (экосистема – любая совокупность взаимодействующих живых организмов и условий среды; состоит из живого и неживого компонентов) к техногенным и природным авариям и катастрофам потребовала анализа их влияния на человека и ОС в целях обеспечения экологической безопасности как регионов, так и всего мира в целом.

Появившаяся потребность в защите человека и ОС привела к разработке систем экологической безопасности (СЭБ).

СЭБ – это комплекс машин и сооружений, установок и оборудования, предназначенный для предотвращения загрязнения ОС и обеспечения комфортного пребывания человека в различных условиях, т.е. для поддержания нормируемых параметров ОС:

- допустимых концентраций вредных веществ в воде (системы водоочистки и водоподготовки), воздухе (системы газоочистки), почве (комплексная переработка токсичных отходов на полигонах);

- определенных параметров воздуха в жилых, общественных, административных и производственных помещениях (системы вентиляции и отопления).

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Насыщенность современного мира потенциально опасными производствами и материалами, особенно в химической, биологической, нефтехимической промышленности, радиационная опасность атомных электростанций, заводов по переработке и уничтожению радиоактивных веществ повышает вероятность экологических аварий и катастроф, способствует ухудшению качества ОС.

К потенциально опасным объектам загрязнения ОС при авариях и катастрофах следует отнести:

1. Заводы по производству хлора, фосгена, аммиака, азотных удобрений и т.д., нефтехимические и резинотехнические производства, предприятия лесотехнического и целлюлозно-бумажного комплекса, склады на этих объектах.

2. Транспортные средства – авто, железнодорожные, водные; трубопроводный транспорт.

3. Военно-химические объекты – склады и полигоны, заводы по производству и уничтожению химического оружия и боеприпасов.

4. Объекты, где находятся радиоактивные вещества.

5. Склады сельскохозяйственной продукции.

6. Склады и резервуарные парки горючих и легковоспламеняющихся жидкостей.

По данным Организации Объединенных Наций с 1970 по 1985 гг. на промышленных предприятиях в мире произошло 200 тыс. аварий, причинивших урон здоровью людей и ОС. С тех пор уровень аварийности не только не уменьшился, но из года в год продолжает расти. Из 5 тыс. наиболее серьезных аварий последнего времени 90 ... 95% произошли в промышленно развитых странах. В среднем ежегодно в западных странах на 100 млн жителей приходится одна авария, которая уносит до 16 жизней.

В районах с высоким уровнем возникновения опасных природных явлений, где расположены потенциально опасные объекты – ядерные установки, химические производства, пожаро- и взрывоопасные, биологически опасные объекты и гидротехнические сооружения, риск техногенных катастроф, загрязнения ОС, угроза жизни и здоровью населения становятся значительно более вероятными.

При возникновении природных катастроф просчеты от размещения производственных объектов в зонах повышенного природного риска, изношенность оборудования провоцируют техногенные аварии, усиливают загрязнение или повреждение природной среды, увеличивают угрозу для жизни и здоровья людей.

Защита от аварий, катастроф и их последствий строится и разрабатывается на основании теоретических исследований, которые формируют систему критериев безопасности. К ним относятся критерии аварийности, поражающие факторы и риск.

Критерии аварийности характеризуют причины, вызывающие аварии на различных технических объектах. На трубопроводах причинами аварий могут быть дефекты сварных швов или изношенность оборудования, приводящие к утечкам транспортируемых веществ. В технологических процессах причины аварий могут быть связаны с повышением давления и температуры в реакционных аппаратах.

Многие современные потенциально опасные производства спроектированы так, что разрушение объекта возможно один раз за 10000 лет с учетом реальной надежности механизмов, приборов и человеческого фактора. Такое положение верно, если объект единственен, но если предположить, что их 1000, то каждые 10 лет можно ожидать одну аварию на любом из них.

Поражающими факторами при авариях служат выбросы в ОС токсичных, радиационных и биологических материалов и веществ.

Необходимо также представлять, какие из перечисленных факторов имеют основное значение в сложившейся ситуации. Например, при радиационных авариях следует оценивать риск облучения от первичного радиоактивного облака и поражающее загрязнение радионуклидами водоемов, почв и технических объектов. При химическом загрязнении необходимо оценивать риск не только летальных исходов и пороговые значения токсиканта в воздухе, но и долговременные последствия, связанные с миграцией и трансформацией веществ в ОС.

Учет действия поражающих факторов в длительном масштабе времени посредством контроля за здоровьем людей, состоянием наземной и водной флоры и фауны дает возможность определить величину риска экологических техногенных аварий.

Чтобы реально представлять угрозу экологических катастроф, нужно учитывать все негативные стороны аварийных ситуаций: частоту и масштабы аварий, вероятность генетических нарушений, болезни, смертность населения, ущерб экономике, вид и уровень загрязнения природных и техногенных объектов.

По данным Минприроды Российской Федерации экологические аварии составляют в разные годы 15 ... 17% от всех техногенных аварий. Катастроф с экологическими последствиями значительно больше, так как к ним относят не только первичные выбросы радиоактивных, токсичных и биологических веществ, но и тепловое воздействие на экосистемы, а также вторичные выбросы токсичных веществ при взрывах и пожарах биологически опасных веществ при разрушении зданий и сооружений.

Всевозможные эпидемии и заболевания, возникающие среди населения при авариях, могут быть связаны не только с ухудшением санитарно-гигиенических условий проживания, но и быть обусловлены высвобождением в ОС в составе аэрозолей микроорганизмов, населявших разрушенные объекты. Аналогичные явления наблюдаются при демонтаже старых зданий. Например, возможны различные аллергические состояния (риниты, астма, бронхиты и т.д.), особенно с учетом

ослабления организма людей вследствие психологических травм и физических лишений. Кроме того, могут встречаться не только острые проявления заболеваний, но и растянутые во времени формы.

Таким образом, микробное загрязнение ОС при авариях, как и другие поражающие факторы экологической природы, увеличивает число аварий, имеющих экологические последствия.

Аварии на химических объектах, транспорте, АЭС и т.д. разрушают естественную среду обитания организмов, что ведет к их мутации, вымиранию. Если концентрация токсинов в ОС увеличивается до пороговых значений, то может наблюдаться массовая гибель представителей флоры и фауны, но численность популяций со временем восстанавливается. Если химические вещества не обладают длительным остаточным действием, т.е. разрушаются, то этот процесс проходит более благополучно. При очень высоких концентрациях токсинов восстановление экосистемы невозможно. В зависимости от токсичности веществ исчезновение отдельных видов биоты может происходить непосредственно после катастрофы или в отдаленные сроки (если токсины обладают длительным остаточным действием, например, хлорорганические соединения). Гибель отдельных представителей фауны может иметь последствия для человека. Так, разлив нефти во время войны в Персидском заливе привел к массовой гибели птиц, повлиял на численность популяций птиц в местах гнездования в Северном Ледовитом океане. Сокращение вылова рыбы птицами способствовало развитию инфекций и гибели рыбы и в конечном итоге отразилось на рыбном промысле.

Война в Персидском заливе оказала влияние на урожай хлопка, фруктов в государствах Средней Азии из-за переноса дыма и сажи в северо-восточном направлении вплоть до Гималаев. В регионе было зафиксировано изменение погодных условий и понижение температуры.

Таким образом, техногенные аварии, катастрофы, пожары и войны наряду с изменением климата, вырубкой лесов, другими последствиями различных видов хозяйственной деятельности человека разрушают и загрязняют среду обитания живых организмов, сокращают разнообразие видов и численность популяций и существенно ускоряют эти процессы.

Вполне возможна гибель плохо изученных или даже неизвестных видов флоры и фауны, что грозит нарушению стабильности экосистем, подчиняющихся принципу динамического равновесного развития, и может привести к появлению опасных для человека новых видов бактерий, вирусов и т.д., вызвать новые болезни.

Контроль последствий крупных химических катастроф в отдаленные сроки имеет большое значение. Недостаточно констатировать число летальных случаев в человеческой популяции и у остальной биоты. Необходимо оценивать возможные генные изменения от прямого и косвенного воздействия катастроф, что позволит эффективнее решать проблемы восстановления среды обитания человека. Это особенно

важно, так как в прошлом явлений подобных масштабов не происходило, а развитие общества продолжается по пути увеличения экологической опасности катастроф и техногенных аварий.

Итак, обеспечение безопасности промышленных объектов, транспорта и т.д. позволит сократить число аварий, уменьшить число жертв и пострадавших при катастрофах, способствует сохранению качества ОС и в целом решает ряд других социальных и экологических проблем. Ведь Чернобыльская авария создала не только экологические, но и социальные проблемы в обществе.

В то же время вкладывать средства в обеспечение безопасности вредных и опасных производств экономически невыгодно из-за несовершенства правовых и экономических нормативов. Необходима более полная законодательная база, способная урегулировать эти и другие вопросы.

Регулирование вопросов безопасности правовым путем уже хорошо зарекомендовало себя во многих странах, где аварийность уменьшилась. Однако нельзя упускать из виду, что обеспечение безопасности – комплексная проблема и ее решение находится не только в юридической, но и в инженерной и научной сферах.

2. СИСТЕМЫ ВОДООЧИСТКИ И ВОДОПОДГОТОВКИ

2.1. Проектирование систем отвода сточных вод

Сооружения, предназначенные для отвода искусственно очищенных сточных вод в водоемы, представляют собой трубопровод с одним или несколькими оголовками, выведенный в русло реки. Оголовки на трубопроводах используют для лучшего рассеивания сточных вод и смешивания их с речными водами на кратчайшем расстоянии.

Схема канализационного выпуска изображена на рис. 2.1.

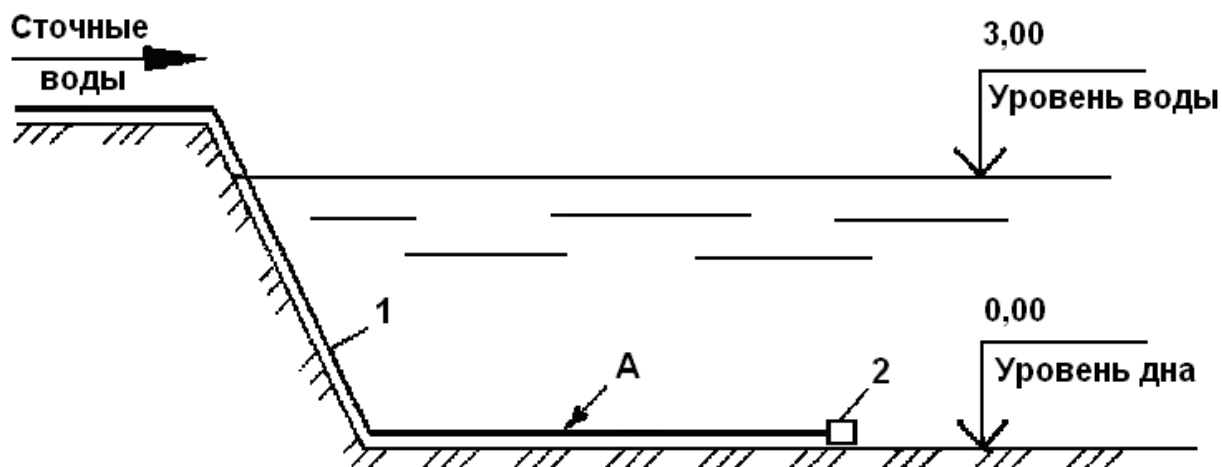


Рис. 2.1. Канализационный выпуск: 1 – трубопровод; 2 – оголовок

Подводные трубопроводы, как правило, изготавливают из стальных или чугунных труб, реже – из железобетонных, асбоцементных и пластмассовых. Основная причина применения стальных труб – их менее трудоемкий монтаж, а также большая прочность.

Внутренний диаметр трубопровода для жидкости

$$d_{вн} = \sqrt{\frac{21,22Q}{V}} \text{ мм,}$$

где Q – объемный расход жидкости, л/мин, V – средняя скорость движения жидкости, м/с.

Расчет трубопровода на прочность, т.е. определение толщины стенок, выполняют на основании величины рабочего давления жидкости. Представляя трубопровод тонкостенной оболочкой, расчетную толщину стенки вычисляют по формуле

$$\delta_0 = n \frac{d_{вн} p}{2\sigma_e} \text{ мм,}$$

где n – фактический коэффициент запаса прочности; σ_e – временное сопротивление материала стенок, Па; p – давление жидкости в трубопроводе, Па.

Давление жидкости имеет максимальное значение за откачивающим насосом. Оно определяется гидравлическими потерями в трубопроводе (сопротивлением трения о стенки трубопровода, в поворотных коленах, фильтрующих устройствах и др.).

На выходе из канализационного выпуска давление равно сумме атмосферного давления и давления столба воды. Таким образом, давление на стенки подводного трубопровода очень мало, поэтому толщину стенки не рассчитывают, принимая ее стандартной.

Отдельные участки трубопровода соединяют с помощью стыковых сварных соединений.

Допускаемые усилия, действующие на сварные швы, определяют таким образом:

1. Стыковое соединение с прямым швом (рис. 2.2).

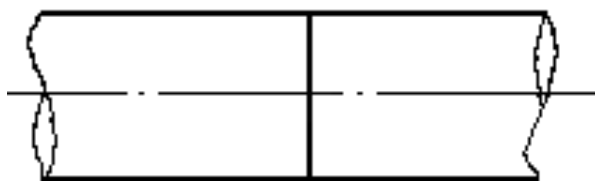


Рис. 2.2. Стыковое соединение с прямым швом

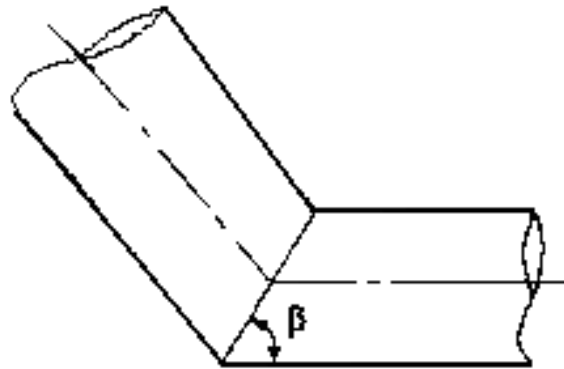
Допускаемое усилие

$$P_{доп} = [\sigma] \ell \delta_0 \text{ Н,}$$

где ℓ – длина сварного шва ($\ell = \pi d_{вн}$).

2. Стыковое соединение с косым швом (рис. 2.3).

Рис. 2.3. Стыковое соединение с косым швом



Допускаемое усилие

$$P_{доп} = \frac{[\sigma] \ell \delta_0}{\sin \beta} \text{ Н.}$$

Допускаемые напряжения $[\sigma]$, МПа, выбирают в зависимости от марки стали, из которой изготовлен трубопровод.

Трубопроводы, уложенные по дну реки без заглубления, испытывают гидродинамическое воздействие потока воды и гидростатическое давление столба воды.

Основным является воздействие потока воды; его величина определяется формулами

$$P_z = m_2 k_0 \rho v_T^2 D_u \text{ – подъемная сила на 1 м трубопровода, Н;}$$

$$P_x = m_2 c_x F_u \frac{v_T^2}{2} \rho \text{ – горизонтальная составляющая давления на 1 м трубопровода, Н,}$$

где $m_2 = 1,1$ – коэффициент перегрузки; $k_0 = 0,4$ – опытный коэффициент; ρ – плотность воды с учетом взвешенных твердых частиц, кг/м^3 (для очищенной воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$); v_T – скорость течения у дна, м/с ; D_u – диаметр наружной изоляции трубопровода, м ; c_x – коэффициент лобового сопротивления, зависящий от скорости течения и размеров тела, расположенного в потоке жидкости; F_u – площадь проекции 1 м трубопровода, покрытого изоляцией, на плоскость, перпендикулярную к направлению течения, м^2 (для круглой трубы, расположенной перпендикулярно к течению $F_u = D_u 1 \text{ м, м}^2$).

График зависимости c_x от D_u при скорости течения $v_T = 0,5 \text{ м/с}$ изображен на рис. 2.4.

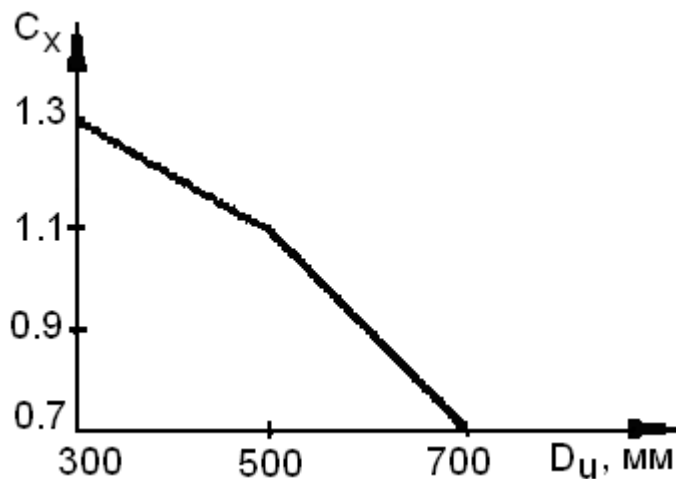


Рис. 2.4. График зависимости C_x от D_u

Необходимо, чтобы геометрическая сумма вычисленных значений P_z и P_x не превышала допускаемого усилия, т.е.

$$P_{доп} \geq \sqrt{P_z^2 + P_x^2}.$$

Устойчивость трубопровода на всплытие может быть обеспечена при выполнении следующего условия:

$$\frac{G_u + q_{вр}}{q} \geq k, \quad (2.1)$$

где G_u – вес 1 м трубы с изоляцией в воздухе, Н; $q_{вр} = \frac{\pi d_{вн}^2}{4} 1 \text{ м} \rho g$ –

расчетный вес воды в 1 м трубы, Н; $q = \frac{\pi D_u^2}{4} \rho g$ – вес воды, вытесненный 1 м трубопровода, Н; k – коэффициент запаса устойчивости для подводных трубопроводов (для небольшой глубины $k = 1,15$).

Если пренебречь массой изоляции, то G_u рассчитывают по формуле

$$G_u = 0,0247 \delta_0 (d_H - \delta_0) g,$$

где d_H – наружный диаметр трубы, мм.

Если условие (2.1) не удовлетворяется, то трубопровод может всплыть. В этом случае его пригружают балластом, в качестве которого используют чугун, бетон, железобетон, металлургические шлаки, а также другие материалы с большой плотностью.

Необходимый вес балласта на 1 м трубопровода для удержания его под водой

$$q'_B = kq - (G_u + q_{вр}).$$

Вес балласта на воздухе

$$q_B = q'_B \frac{\rho_B}{\rho_B - \rho},$$

где ρ_B – плотность балласта, кг/м³ (для бетона $\rho_B \approx 2500$ кг/м³).

Расстояние между балластными грузами

$$\ell_B = \frac{\rho_B}{q_B} \text{ м,}$$

где ρ_B – вес одного груза в воздухе, Н.

2.1.1. Расчет оголовков

Существует множество разных типов оголовков. Рассмотрим конструкцию одного из них – трубчатого (рис. 2.5), который применяют для рассеивания сточных вод на реках с небольшой глубиной.

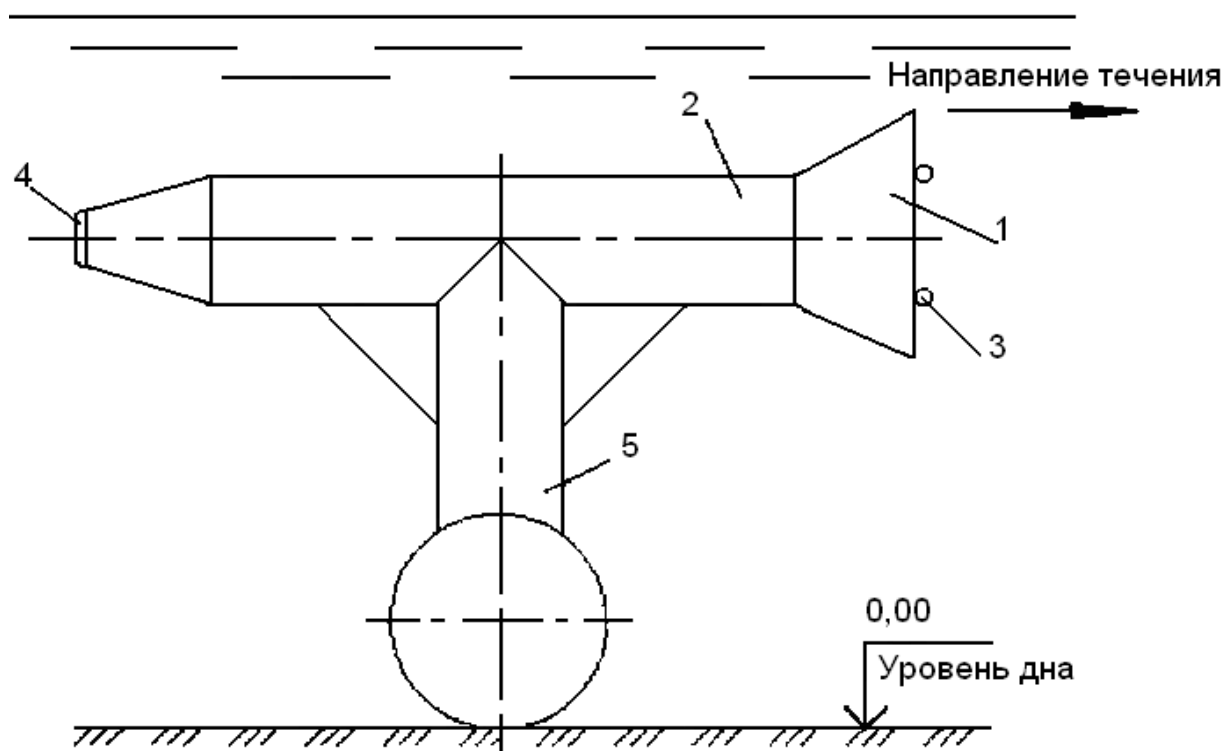


Рис. 2.5. Трубчатый оголовок: 1 – конический диффузор; 2 – отводной цилиндр; 3 – связи из стальных прутков; 4 – заглушка; 5 – отводной патрубок

Вертикальная составляющая силового воздействия на оголовок направлена вниз и рассчитывается по формуле

$$P_{\text{в}} = Wg(\rho_{\text{ст}} - \rho) \text{ Н,}$$

где $\rho_{\text{ст}} = 7850$ кг/м³ – плотность стали, W – объем металла оголовка, м³.

Горизонтальная сила, определяемая воздействием течения воды на оголовок,

$$P_e = c_{xo} \rho F \frac{v_T^2}{2} \text{ Н},$$

где c_{xo} – коэффициент лобового сопротивления оголовка (для круглой формы оголовка $c_{xo} = 0,4$); F – площадь проекции оголовка, перпендикулярная направлению движения потока, м^2 .

Проверку сооружения на сдвиг набегающим потоком можно выполнить по формуле

$$k_{сдв} = \frac{P_e f}{P_e},$$

где f – коэффициент трения, зависящий от характеристики грунта и материала сооружения (для трения по песку $f = 0,45$).

Если коэффициент устойчивости на сдвиг $k_{сдв} > 1,4$, то сооружение не будет сдвигаться под действием потока воды. Если $k_{сдв} < 1,4$, то вес балласта определяют так:

$$G_b = \frac{1,4 P_e}{f} - P_e.$$

2.1.2. Защита подводных трубопроводов от коррозии

Кроме силовых воздействий со стороны воды трубопроводы воспринимают химическое и биологическое воздействия. Коррозия материала трубопровода под влиянием химического состава воды и живых организмов часто является причиной выхода из строя всего гидротехнического сооружения. Для защиты трубопроводов от коррозии применяют различные покрытия.

Требования к покрытиям – водонепроницаемость, непрерывность изоляции, пластичность и биологическая стойкость.

Защитные покрытия наносят путем последовательного наложения грунтовок (краски), нескольких слоев стеклоткани и битумной мастики.

Надежный способ защиты подводных трубопроводов от коррозии – сплошное бетонное покрытие по стальной сетке, которое одновременно выполняет роль балласта, удерживающего подводный трубопровод от всплытия.

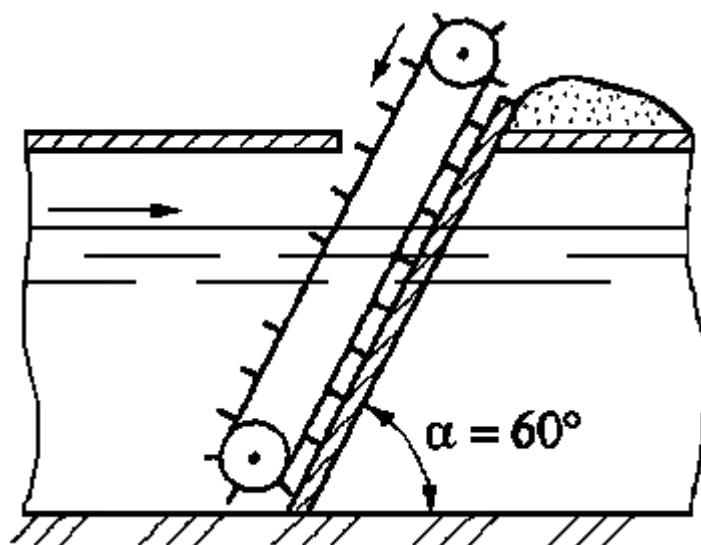
В последние годы находят применение полимерные изоляционные покрытия (поливинилхлоридные, полиэтиленовые) в виде липких лент или порошков, наносимых методом горячего напыления.

2.2. Проектирование решеток

Решетки служат для улавливания из воды крупных загрязнений (тряпок, бумаги, кусков дерева и т.д.). Наиболее распространены решетки, устанавливаемые под углом 60° и очищаемые граблями, кото-

рые движутся перед решеткой (рис. 2.6).

Рис. 2.6. Наклонная решетка



Если устанавливается одна решетка, то минимальный прозор между стержнями $b = 16$ мм; уменьшение прозора приводит к затруднению протекания воды. Такая одиночная решетка задерживает менее 50 % всех отбросов, содержащихся в воде. Более эффективно устанавливать последовательно две решетки, из которых вторая имеет размер прозоров между стержнями в два раза меньше, чем первая (например 20 и 10 мм).

Опыт эксплуатации действующих очистных станций показывает, что большое количество загрязнений все-таки проходит через решетку, что ухудшает работу последующих сооружений очистных станций (например, приводит к загрязнению песколовок органическими примесями).

Органические вещества не осаждаются в песколовках и на них налипает песок, который затем выносится в отстойники.

Для того чтобы повысить эффективность работы решеток, их надо правильно спроектировать, т.е. вычислить конструктивные размеры самих решеток и камер, в которые их устанавливают. Общая ширина решетки при известном числе прозоров между стержнями решетки n определяется формулой

$$B = s(n - 1) + bn, \quad (2.2)$$

где s – толщина стержней, b – ширина прозоров между стержнями (рис. 2.7).

Число прозоров n находят следующим образом.

Расход сточных вод через решетку равен произведению площади живого сечения потока на величину его скорости:

$$q = F_p v_p^H, \quad F_p = \ell b n = \frac{H_\ell}{\sin \alpha} b n,$$

где $v_p^H = v_p \sin \alpha$ – нормальная составляющая скорости потока

(рис. 2.8); ℓ – длина стержней.

Тогда $q = H_\ell b n v_p$, откуда

$$n = \frac{q}{b H_\ell v_p}. \quad (2.3)$$

Скорость потока v_p принимают не более 1 м/с, так как в противном случае загрязнения будут продавливаться через решетку.

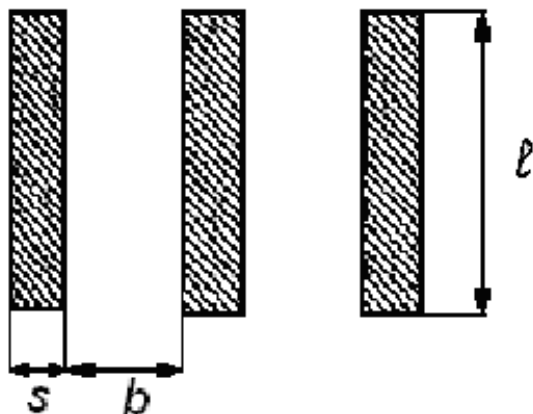


Рис. 2.7. Ширина прозоров между стержнями

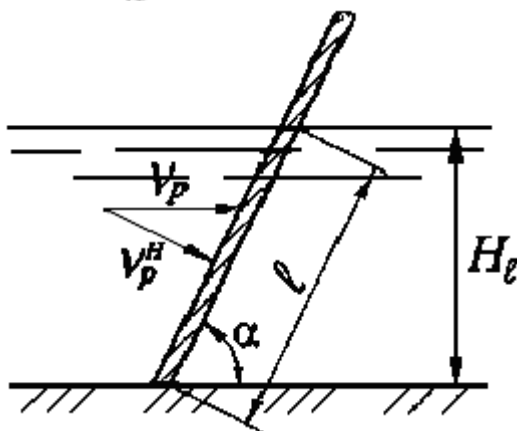


Рис. 2.8. Нормальная составляющая скорости потока

Для учета стеснения потока граблями и задерживаемыми на решетке засорениями вводят коэффициент засорения k_3 , т.е. $n' = k_3 n$. При механической очистке решетки $k_3 = 1,05$, а при ручной – $k_3 = 1,1 - 1,2$.

Уловленные на решетках загрязнения дробятся, а затем их либо возвращают в воду перед решетками, либо с уплотненным активным илом транспортируют в метатенки для сбраживания. Последнее мероприятие повышает эффективность работы песколовок, отстойников и других очистных сооружений.

Пример. Рассчитать одиночную решетку с механической очисткой, устанавливаемую в водоем глубиной $H_\ell = 1,2$ м. Расход сточных вод $2,5 \cdot 10^6$ л/ч.

Порядок расчета:

1) выбираем ширину прозоров между прутьями $b > b_{min} = 16$ мм

при установке одной решетки. Пусть $b = 20$ мм;

2) принимаем скорость потока V_p равной 0,8 м/с, т.е. меньше $V_{p\max} = 1$ м/с;

3) переведем расход сточных вод через решетку q из литров в час в кубический метр на секунду:

$$1 \frac{\text{л}}{\text{ч}} = \frac{1}{3600} \frac{\text{дм}^3}{\text{с}} = \frac{0,1^3}{3600} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{3600} \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 2,78 \cdot 10^{-7} \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

тогда

$$q = 2,5 \cdot 10^6 \left[\frac{\text{л}}{\text{ч}} \right] = 2,78 \cdot 10^{-7} \cdot 2,5 \cdot 10^6 = 0,695 \frac{\text{м}^3}{\text{с}};$$

4) определяем число прозоров между прутьями решетки по формуле (2.3):

$$n = \frac{q}{bH_\ell V_p} = \frac{0,695}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 0,8} = 36.$$

Введем коэффициент $k_3 = 1,05$. Тогда $n' = 1,05 \cdot 36 = 38$;

5) принимаем толщину стержней $s = b = 20$ мм;

6) общая ширина решетки (20)

$$B = s(n - 1) + bn = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 37 + 20 \cdot 10^{-3} \cdot 38 = 1,5 \text{ м};$$

7) полезная длина стержней решетки

$$\ell = \frac{H_\ell}{\sin \alpha} = \frac{1,2}{\sin 60^\circ} = 1,39 \text{ м} \approx 1,4 \text{ м}.$$

Над решеткой необходимо предусмотреть лоток для сбора загрязнений, счищаемых механическими граблями. Поэтому стержни решетки должны выступать над поверхностью воды на величину $\Delta \ell$. Примем $\Delta \ell = 0,5$ м. Тогда длина стержней $\ell' = \ell + \Delta \ell = 1,9$ м.

2.3. Исходные данные для проектирования устройств механической очистки

Для проектирования сооружений и аппаратов механической очистки должны быть заданы следующие данные:

- общее количество сточных вод q_w , м³/ч;
- температура сточных вод, T_w , °С;
- периодичность образования сточных вод;
- концентрация тяжелых механических примесей, мг/л;
- концентрация нефтепродуктов, масел, мг/л;
- плотность тяжелых и легких загрязнений, г/см³;
- кинетика осаждения механических примесей тяжелее и легче воды;

- требуемая степень очистки $\mathcal{E}$ (%) или допустимое содержание загрязнений легче и тяжелее воды, мг/л;
- скорость оседания («гидравлическая крупность») частиц тяжелее и легче воды, которые необходимо выделить для обеспечения нужной степени очистки, мм/с.

Кинетику отстаивания изображают экспериментальными кривыми, отражающими зависимость между временем отстаивания t и количеством выпавших за это время взвешенных веществ $\mathcal{E}$, %. На рис. 2.9 показаны кинетики отстаивания сточных вод прокатного производства при исходной концентрации загрязнений 200 мг/л.

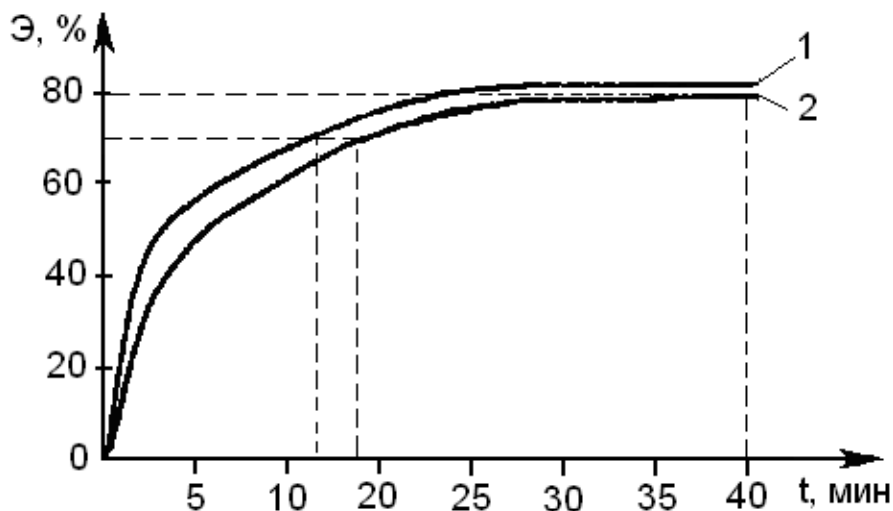


Рис. 2.9. Отстаивание сточных вод прокатного производства: 1 – кривая при высоте отстаивания 200 мм, 2 – кривая при высоте отстаивания 500 мм

Зависимость между высотой отстаивания и продолжительностью отстаивания выражается соотношением

$$\frac{t_1}{t_2} = \left(\frac{h_1}{h_2} \right)^n, \quad (2.4)$$

где t_1 , t_2 – продолжительность отстаивания в цилиндрах высотой h_1 и h_2 при одинаковом проценте выпадения взвеси.

Показатель степени n зависит от природы загрязнений, в том числе и от агломерируемости взвесей (способности частиц укрупняться, объединяясь в группы). Параметры t_1 , t_2 , h_1 , h_2 известны из кинетик отстаивания (см. рис. 2.9), тогда из формулы (2.4)

$$n = (\lg t_2 - \lg t_1) / (\lg h_2 - \lg h_1). \quad (2.5)$$

Гидравлическую крупность частиц определяют по формуле

$$u_0 = (1000kH) / \left[t_2 \left(\frac{kH}{h_2} \right)^n \right], \quad (2.6)$$

где k – коэффициент использования объема, зависящий от типа отстойника, который характеризует гидравлическую эффективность отстойника и зависит от конструкции водораспределительных и водо-

сборных устройств; H – высота отстаивания, мм.

При проектировании очистных установок, как правило, применяют типовые конструкции отстойников с известными геометрическими размерами (в том числе и H). Поэтому за расчетную величину следует принимать производительность одного отстойника q_{set} , при которой обеспечивается заданный эффект очистки. После расчета q_{set} исходя из общего расхода сточных вод находят количество рабочих единиц отстойников:

$$N = q_w / q_{set} \quad (2.7)$$

При расчете u_0 необходимо учитывать поправку на изменение вязкости воды при изменении температуры. Тогда

$$u_0^T = u_0 / \mu, \quad (2.8)$$

где μ – коэффициент вязкости воды (табл. 2.1).

Таблица 2.1

$t, ^\circ\text{C}$	60	50	40	30	25	20	15	12	10	5	0
μ	0,45	0,55	0,65	0,8	0,9	1	1,14	1,23	1,3	1,5	1,8

Пример. Требуется определить гидравлическую крупность частиц для проектирования отстойника при очистке сточных вод прокатного производства.

Исходные данные:

1. Расход сточных вод $q_w = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$.
2. Температура сточных вод $T_w = 30 ^\circ\text{C}$.
3. Расход сточных вод постоянен в течение суток.
4. Начальная концентрация тяжелых механических примесей 200 мг/л.
5. Исходная концентрация маслопродуктов 50 ... 60 мг/л.
6. Плотность тяжелых загрязнений 5 г/см^3 , маслопродуктов $0,8 \text{ г/см}^3$.
7. Кинетики отстаивания механических примесей тяжелее воды (см. рис. 2.9).
8. Содержание тяжелых примесей в очищенной воде не должно превышать 60 мг/л, маслопродуктов – 25 мг/л.

В проекте принимаем горизонтальные отстойники с рабочей глубиной отстаивания $H = 1,5 \text{ м}$.

Гидравлическую крупность исходя из заданных параметров рассчитывают в следующем порядке.

1. По заданным величинам концентраций тяжелых механических примесей в исходной и осветленной воде находят требуемый эффект очистки:

$$\mathcal{E}_{mp} = \frac{200 - 60}{200} 100\% = 70\%.$$

2. По кривым кинетики отстаивания (см. рис. 2.9) определяют продолжительность отстаивания, при которой в слоях воды $h_1 = 200$ мм и $h_2 = 500$ мм достигается $\mathcal{E}_{mp} = 70\%$: $t_1 = 13,5$ мин (810 с), $t_2 = 17,5$ мин (1050 с).

3. После этого по формуле (2.5) вычисляют показатель степени:

$$n = (\lg t_2 - \lg t_1) / (\lg h_2 - \lg h_1) = \\ = (\lg 1050 - \lg 810) / (\lg 500 - \lg 200) = 0,283.$$

4. Затем по выражению (2.6) находят гидравлическую крупность частиц взвесей, при этом для горизонтального отстойника $k = 0,5$ (табл. 2.2):

$$u_0 = (1000kH) / \left[t_2 \left(\frac{kH}{h_2} \right)^n \right] = \\ = (1000 \cdot 0,5 \cdot 15) / \left[1050 \left(\frac{0,5 \cdot 15}{0,5} \right)^{0,283} \right] = 0,64.$$

5. Поскольку температура сточных вод, поступающих на отстойник, $T_w = 30^\circ\text{C}$, то требуется внести поправку:

$$u_0^T = u_0 / \mu = 0,64 / 0,8 = 0,8 \text{ мм/с}.$$

Таким образом, отстойники, принятые как сооружения для механической очистки сточных вод прокатного производства, должны рассчитываться на задержание частиц гидравлической крупностью 0,8 мм/с.

2.4. Проектирование гравитационных устройств для очистки сточных вод

2.4.1. Проектирование отстойников

Тип отстойника (*горизонтальный, радиальный, вертикальный, с вращающимся сборно-распределительным устройством* и др.) выбирают с учетом принятой технологической схемы очистки сточных вод и обработки их осадка, производительности сооружений, очередности строительства, числа эксплуатируемых единиц, конфигурации и рельефа площадки, геологических условий, уровня грунтовых вод и т.п.

Число отстойников: первичных – не менее двух, вторичных – не менее трех при условии, что все отстойники – рабочие. При минимальном числе их расчетный объем необходимо увеличивать в

1,2 - 1,3 раза.

Отстойники, кроме вторичных после биологической очистки, рассчитывают по кинетике отстаивания взвешенных веществ с учетом необходимого эффекта осветления (см. рис. 2.9).

Отстойники для сточных вод, содержащих загрязняющие вещества легче воды (нефтепродукты, масла, жиры и т.п.), рассчитывают с учетом гидравлической крупности всплывающих частиц. При наличии в воде частиц тяжелее и легче воды за расчетную принимают меньшую гидравлическую крупность. Основные расчетные параметры отстойников приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Отстойник	Коэффициент использования объема k	Рабочая глубина H , м	Ширина B , м	Скорость рабочего потока V , мм/с	Уклон дна к иловому прямку
Горизонтальный	0,5	1,5 - 4	$(2 - 5) H$	5 - 10	0,005-0,05
Радиальный	0,45	1,5 - 5	-	5 - 10	0,005-0,05
Вертикальный	0,35	2,7 - 3,8	-	-	-
С вращающимся сборно-распределительным устройством	0,85	0,8 - 1,2	-	-	0,05
С нисходяще-восходящим потоком	0,65	2,7 - 3,8	-	$2u_0 - 3u_0$	-

Величину турбулентной составляющей V_{tb} , мм/с, в зависимости от скорости рабочего потока V , мм/с, рассчитывают по табл. 2.3.

Таблица 2.3

V , мм/с	5	10	15
V_{tb} , мм/с	0	0.05	0.1

Производительность одного отстойника q_{set} , м³/ч, следует определять исходя из заданных геометрических размеров сооружения и требуемого эффекта осветления сточных вод:

а) для горизонтальных отстойников

$$q_{set} = 3,6kLB(u_0^T - v_{tb}); \quad (2.9)$$

б) для отстойников радиальных, вертикальных и с вращающимся сборно-распределительным устройством

$$q_{set} = 2,8k(D^2 - d_0^2)u_0^T; \quad (2.10)$$

в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком

$$q_{set} = 1,41kD^2u_0^T, \quad (2.11)$$

где k – коэффициент использования объема (см. табл. 2.2); L – длина секции, отделения, м; B – ширина секции, отделения, м; D – диаметр отстойника, м; d_0 – диаметр впускного устройства, м; u_0^T – гидравлическая крупность задерживаемых частиц с учетом температуры очищаемой жидкости, мм/с.

Основные конструктивные параметры:

а) для горизонтальных и радиальных отстойников:

– впуск исходной воды и сбор осветленной – равномерны по ширине (периметру) впускного и сборного устройств отстойника;

– высота нейтрального слоя для первичных отстойников – на 0,3 м выше днища (на выходе из отстойника), для вторичных – 0,3 м и глубина слоя ила 0,3 ... 0,5 м;

– угол наклона стенок илового приямка – 50 ... 55°;

б) для вертикальных отстойников:

– длина центральной трубы, равная глубине зоны отстаивания;

– скорость движения рабочего потока в центральной трубе – не более 30 мм/с;

– диаметр раструба – 1,35 диаметра трубы;

– диаметр отражательного щита – 1,3 диаметра раструба;

– угол конусности отражательного щита – 146°;

– скорость рабочего потока между раструбом и отражательным щитом – не более 20 мм/с для первичных отстойников и не более 15 мм/с для вторичных;

– высота нейтрального слоя между низом отражательного щита и уровнем осадка – 0,3 м;

– угол наклона конического днища – 50 ... 60°;

в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком:

– площадь зоны нисходящего потока равна площади зоны восходящего;

– высота перегородки, разделяющей зоны, равна $2/3 H$;

– уровень верхней кромки перегородки выше уровня воды на 0,3 м, но не выше стенки отстойника;

– распределительный лоток переменного сечения расположен внутри разделительной перегородки. Начальное сечение лотка следует рассчитывать на пропуск расчетного расхода со скоростью не менее 0,5 м/с, в конечном сечении скорость – не менее 0,1 м/с.

Для равномерного распределения воды кромку водослива распределительного лотка следует выполнять в виде треугольных водосливов через 0,5 м.

Для повышения степени очистки или обеспечения возможности увеличения производительности эксплуатируемых станций суще-

ствующие отстойники (горизонтальные, радиальные, вертикальные) могут быть дополнены блоками из тонкослойных элементов. В этом случае блоки необходимо располагать на выходе воды из отстойника перед водосборным лотком.

Количество осадка Q_{oc} , м³/ч, выделяемого при отстаивании, определяют исходя из концентрации взвешенных веществ в поступающей воде $C_{вх}$, г/м³, и концентрации взвешенных веществ в осветленной воде $C_{вых}$, г/м³:

$$Q_{oc} = \frac{q_w (C_{вх} - C_{вых})}{(100 - \rho_{oc}) \gamma_{oc} 10^4},$$

где q_w – расход сточных вод, м³/ч; ρ_{oc} – влажность осадка, %; γ_{oc} – плотность осадка, г/см³.

С учетом объема образующегося осадка и вместимости зоны накопления его в отстойнике следует определять интервал времени между выгрузками осадка. При удалении осадка под гидростатическим давлением вместимость приемка первичных и вторичных отстойников после биофильтров должна быть равна объему осадка, выделенного за период не более 2 суток, вместимость приемка вторичных отстойников после аэротенков – не более двухчасового пребывания осадка.

При механизированном удалении осадка вместимость зоны накопления его в первичных отстойниках принимается по количеству выпавшего осадка за период не более 8 ч.

Выпавший осадок перемещается к приемкам механическим способом или посредством создания соответствующего наклона стенок (не менее 50°). Осадок из приемка отстойника удаляется самотеком, под гидростатическим давлением, насосами, предназначенными для перекачки жидкости с. большим содержанием взвешенных веществ, гидроэлеваторами, эрлифтами, ковшовыми элеваторами, грейфером и т.д.

Гидростатическое давление при удалении осадка из отстойников бытовых сточных вод необходимо принимать:

- не менее 15 (1,5) для первичных;
- не менее 12 (1,2) после биофильтров;
- не менее 9 (0,9) после аэротенков.

Для вторичных отстойников возможно изменение высоты гидростатического напора.

Диаметр труб для удаления осадка принимают не менее 200 мм.

Для удержания всплывших загрязняющих веществ перед водосборным устройством следует предусматривать полупогруженные перегородки и удаление накопленных на поверхности воды веществ. Глубина погружения перегородки под уровень воды – не менее 0,3 м.

Высота борта отстойника над поверхностью воды равна 0,3 м.

Водоприемные лотки необходимо оборудовать водосливами с тонкой стенкой. Крепление водослива к лотку должно обеспечивать возможность его регулирования по высоте. Водосливная кромка может быть прямой или с треугольными вырезами. Нагрузка на 1 м водослива не должна превышать 10 л/с.

2.4.2. Проектирование отстойников с вращающимся сборно-распределительным устройством

Радиальные отстойники с вращающимся сборно-распределительным устройством (рис. 2.10) позволяют отстаивать сточные воды в покое. Их рекомендуется применять для отстаивания сточных вод, содержащих не более 500 мг/л взвешенных веществ.

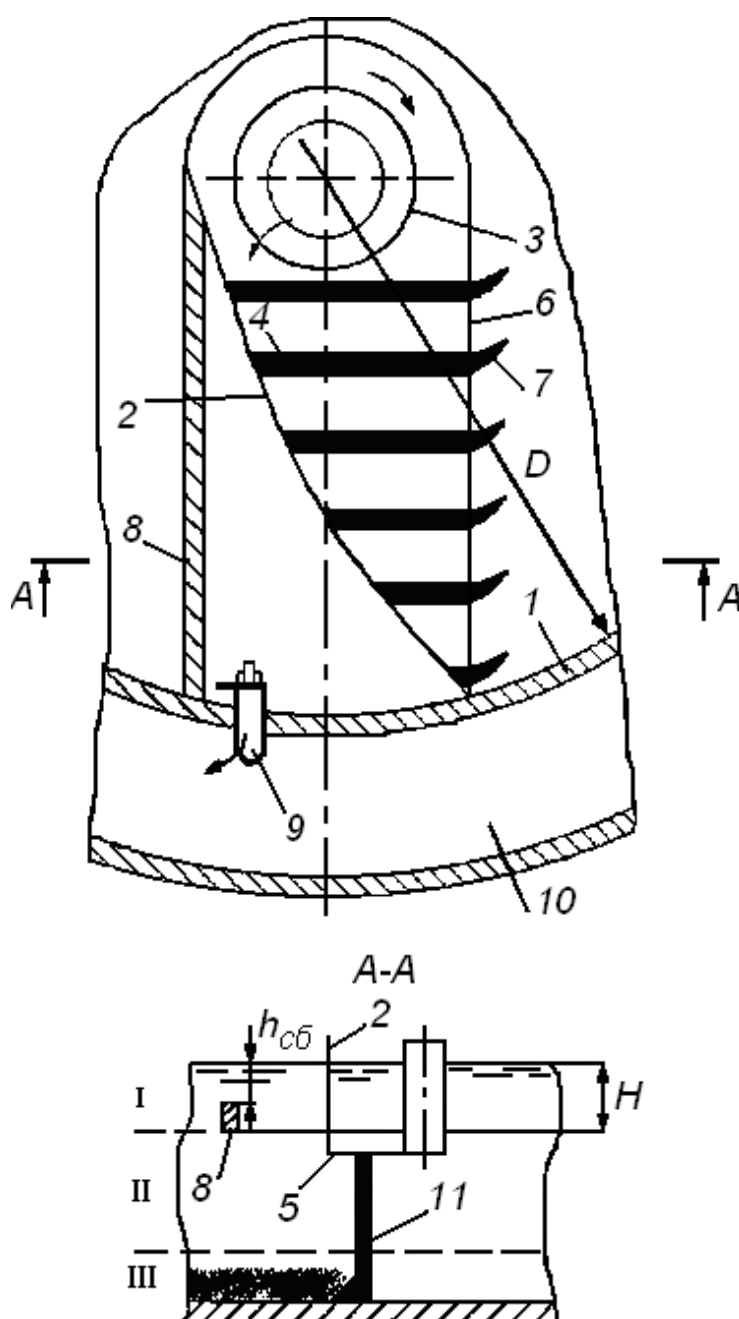


Рис. 2.10. Радиальный отстойник с вращающимся

сборно-распределительным устройством

Отстойник представляет собой цилиндрический резервуар 1. Вода подается и отводится с помощью свободно вращающегося сборно-распределительного лотка, разделенного вертикальной перегородкой 2 на две части. В правую часть лотка через полый вал 3 подается сточная вода. Она перетекает поверх стенок 4, а затем через щелевое днище 5 и вертикальные прорезы в стенке 6 лотка поступает в отстойник.

Вода выходит из вертикальных прорезей через струенаправляющие лопатки 7 обтекаемой формы, вследствие чего происходит вращение лотка на вале 3 с небольшой скоростью.

В левой части лотка через затопленный водослив 8 собирается осветленная вода и с помощью сифона 9 отводится в периферийный лоток 10 отстойника. Сифон 9 снабжен регулятором (дрессельным клапаном), связанным рычагами с поплавком и обеспечивающим равномерность отвода воды из отстойника.

Глубина воды в отстойнике делится на три зоны: глубина лотковой зоны I принимается равной 0,8 ... 1,2 м, глубина нейтральной зоны II – 0,5 ... 0,6 м, зоны уплотнения осадка III – 0,3 ... 0,4 м.

Таким образом, полная глубина отстойника = 1,6 ... 2,2 м.

Продолжительность пребывания сточных вод в отстойнике определяют временем оборота сборно-распределительного лотка. За это время взвешенные частицы должны осесть на глубину лотковой зоны H .

Следовательно, время одного оборота сборно-распределительного устройства (период вращения)

$$T = \frac{1000Hk}{u_0^T}. \quad (2.12)$$

С такой же скоростью, как и сборно-распределительный лоток, вращается илоскреб 11, сгребающий осадок в шламовый приямок, расположенный в центре отстойника. По направлению к шламовому приямку днище отстойника имеет уклон не менее 0,05.

Скорость движения илоскреба должна быть такой, чтобы осадок не взмучивался, т.е. 2 ... 5 об/ч. Это ограничивает производительность отстойника.

При проектировании таких отстойников нужно рассчитывать форму перегородки, разделяющей левую и правую части лотка (сборную и распределительную части). Форма этой перегородки может быть выражена через изменяющуюся ширину B_p распределительной части:

$$B_p = m\sqrt{R_{\text{л}}^2 - \ell_{\text{л}}^2}, \quad (2.13)$$

где $m = 1/11$ или $1/12$;

$$R_{\text{л}} = 0,5 \cdot D - b_3, \quad (2.14)$$

где D – диаметр отстойника; b_3 – зазор между лотком и стенкой отстойника (чтобы не было задеваний): $b_3 = 0,1 \dots 0,15$ м; $\ell_{\text{л}}$ – удаление расчетного створа лотка от центра отстойника.

Количество струенаправляющих лопаток $n_{\text{л}}$ вычисляют конструктивно при соблюдении соотношения

$$2r_{\text{л}}(2n_{\text{л}} + 1) = L_p, \quad (2.15)$$

где $r_{\text{л}}$ – радиус закручивания лопаток ($r_{\text{л}} = 0,1 \dots 1,25$ м); L_p – длина

лотка: $L_p = R_{\text{л}} - \frac{d_{\text{с}}}{2} = R_{\text{л}} - \frac{pR_{\text{л}}}{2}$; $d_{\text{с}}$ – диаметр полого вала; $p = 1/15$.

Число лопаток $n_{\text{л}}$ не следует принимать больше 24 шт.

Изменение высоты водослива по длине сборной части лотка зависит от изменения по радиусу расхода воды, удаляемой из отстойника. Высоту водослива по мере удаления от центра отстойника находят по формуле затопленного водослива с тонкой стенкой:

$$h_{\text{сб}} = 1,24 \left(\frac{q_{\text{сет}}}{R_{\text{л}}^2} \ell_{\text{л}} \right)^{2/3}. \quad (2.16)$$

Пример. Для очистки сточных вод требуется рассчитать отстойник с вращающимся сборно-распределительным устройством, который должен обеспечить 60-процентное задержание механических загрязнений. Состав и расход сточных вод такой же, как в примере 1. Расчетная температура воды составляет 20°C.

1. Задаемся диаметром отстойника $D = 24$ м, в котором высота отстаивания (глубина лотковой зоны) $H = 1$ м.

2. По кривым кинетики отстаивания (см. рис. 2.9) определяем продолжительность отстаивания, при которой в слоях воды $h_1 = 200$ мм и $h_2 = 500$ мм достигается $\mathfrak{E}_{\text{мр}} = 60\%$: $t_1 = 6,5$ (390 с), $t_2 = 10$ мин (600 с).

3. По формуле (2.5) вычисляем показатель степени

$$\begin{aligned} n &= (\lg t_2 - \lg t_1) / (\lg h_2 - \lg h_1) = \\ &= (\lg 600 - \lg 390) / (\lg 500 - \lg 200) = 0,470. \end{aligned}$$

4. По формуле (2.6) находим гидравлическую крупность, при этом для рассчитываемого отстойника $k = 0,85$:

$$u_0 = (1000kH) / \left[t_2 \left(\frac{kH}{h_2} \right)^n \right] =$$

$$= (1000 \cdot 0,85 \cdot 1) / \left[600 \left(\frac{0,85 \cdot 1}{0,5} \right)^{0,47} \right] = 1,1 \text{ мм/с.}$$

Внесение поправки на температуру не требуется, так как $T_w = 20^\circ\text{C}$, $u_0^T = u_0$.

5. Задаем $b_3 = 0,15$ м, $m = 1/12$.

По формуле (2.14) $R_{\text{л}} = 0,5 \cdot D - b_3 = 0,5 \cdot 24 - 0,15 = 11,85$ м.

Диаметр впускного устройства (полого вала)

$$d_e = \frac{R_{\text{л}}}{15} = 0,79 \text{ м.}$$

Из стандартного ряда труб выбираем значение $d_e = 0,8$ м.

6. Определяем производительность отстойника (2.10):

$$q_{\text{set}} = 2,8k(D^2 - d_e^2)u_0^T = 2,8 \cdot 0,85(24^2 - 0,8^2)1,1 = 1506 \text{ м}^3/\text{ч};$$

q_{set} больше заданного $q_w = 1000 \text{ м}^3/\text{ч}$, значит, отстойник обеспечивает запас по расходу сточных вод в полтора раза.

7. По выражению (2.12) найдем период вращения сборно-распределительного устройства:

$$T = \frac{1000Hk}{u_0^T} = \frac{1000 \cdot 1 \cdot 0,85}{1,1} = 773 \text{ с} = 12,9 \text{ мин (4,7 об/ч)}.$$

8. Рассчитываем форму перегородки лотка. Для этого по (2.13) и (2.16) вычисляем ширину лотка B_p и высоту водослива $h_{\text{сб}}$ по створам:

$$B_p = \frac{\sqrt{11,85^2 - \ell_{\text{л}}^2}}{12}, \quad h_{\text{сб}} = 1,24 \left(\frac{1505}{3600 \cdot 11,85^2} \ell_{\text{л}} \right)^{2/3}.$$

Результаты расчета сводим в табл. 2.4.

Таблица 2.4

$\ell_{\text{л}},$ м	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	11,85
$B_p,$ м	0,988	0,984	0,973	0,955	0,930	0,895	0,852	0,797	0,728	0,642	0,530	0,367	0

$h_{сб},$ м	0	0,026	0,041	0,053	0,065	0,075	0,085	0,094	0,103	0,111	0,119	0,127	0,133
----------------	---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

9. Определяем по формуле (2.15) количество струенаправляющих лопаток. Принимаем $r_{л} = 0,125$ м; $L_p = R_{л} - \frac{d_e}{2} = 11,45$ м;

$$2 \cdot 0,125(2n_{л} + 1) = 11,45;$$

$$n_{л} = \left(\frac{11,45}{2 \cdot 0,125} - 1 \right) / 2 = 22 \text{ шт.} (n_{лmax} = 24 \text{ шт.})$$

2.4.3. Проектирование бетонных емкостных сооружений очистных станций

К емкостным сооружениям относятся все сооружения водопроводных и канализационных очистных станций, а также резервуары, камеры и колодцы. По форме емкостные сооружения прямоугольные и цилиндрические. Они бывают закрытые и открытые. В зависимости от расположения их по отношению к поверхности земли различают наземные, надземные, заглубленные, полузаглубленные и подземные.

Некоторые виды емкостных сооружений объединяют в единый блок, который состоит из нескольких ячеек. Это необходимо для того, чтобы увеличить производительность (песколовки, фильтры и др.); обеспечить заданный технологический процесс (аэротенки); для более компактного размещения оборудования и экономичной работы очистных станций.

Специальные емкостные сооружения называют сблокированными. Все типы этих сооружений объединены общими принципами проектирования и расчета на прочность.

Схема сблокированного емкостного сооружения (двухступенчатый аэротенк с флотационным илоотделением) показана на рис. 2.11.

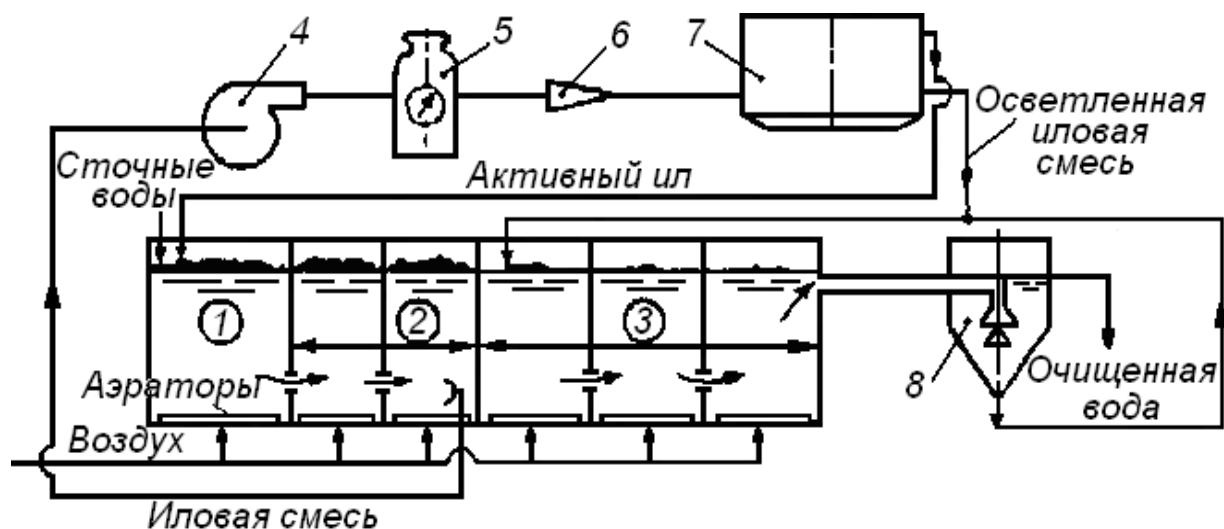


Рис. 2.11. Двухступенчатый аэротенк с флотационным илоотделением

Емкость аэротенка состоит из ячеек: 1 – регенератор перед первой ступенью аэротенка; 2 – первая ступень аэротенка из двух ячеек; 3 – ячейки второй ступени аэротенка.

Сооружение работает следующим образом: неочищенные сточные воды поступают в регенератор, где смешиваются с активным илом, а затем проходят в ячейки первой ступени. Там смесь в результате процессов сорбции и окисления освобождается от основной массы загрязнений.

Затем иловую смесь откачивают из первой ступени центробежным насосом 4, насыщают воздухом в сатураторе 5 и выпускают через дросселирующее устройство 6 во флотационный илоотделитель 7.

При снижении давления с 0,3 ... 0,6 МПа до атмосферного во флотационном илоотделителе происходит интенсивное всплывание пузырьков воздуха вместе с частицами активного ила. Выделенный в виде пены активный ил направляется снова в регенератор, где смешивается с поступающей сточной жидкостью. Это необходимо для достижения требуемой, довольно высокой концентрации ила 25 ... 30 г/л. После этого цикл очистки на первой ступени повторяется.

Осветленную в илоотделителе иловую смесь с содержанием взвеси 100 ... 300 мг/л по трубопроводу выпускают во вторую ступень аэротенка, где происходит доочистка сточных вод при нормальной нагрузке на ил. Из последней ячейки иловая смесь поступает в отстойник 8. Очищенная вода отводится из отстойника, а циркуляционный ил возвращается в первую ячейку второй ступени.

Избыточный ил из первой и второй ступеней аэротенка направляется в уплотнитель, где влажность пены снижается до 92 ... 94%. Дальнейшее обезвоживание ила можно выполнить, например, в центрифугах.

Такая сложная сблокированная конструкция аэротенка позволяет

ускорить процесс очистки вследствие увеличения биологической нагрузки на ил, так как в первой ступени поддерживается высокая концентрация иловой смеси. При этом значительно улучшаются условия аэрации и снижается расход воздуха; увеличивается активность микроорганизмов ила в результате дробления его в дросселирующем устройстве. Все это позволяет при глубокой очистке сточных вод получить сравнительно небольшой объем сооружения, поэтому экономическая эффективность такой схемы очень высока.

При разработке документации для изготовления емкостных сооружений вначале по СНиП 2.04.03-91 «Канализация. Наружные сети и сооружения» [19] определяют основные габаритные размеры их элементов (в основном по заданному расходу сточных вод и требуемой степени очистки). Затем исходя из расчетов сооружения на прочность, а также из конструктивных и экономических соображений проектируют каждый элемент конструкции и уточняют размеры сооружения.

Проектирование начинают с подбора материала сооружения.

Материал емкостных сооружений – железобетон. Марку бетона подбирают в зависимости от следующих требований:

- обеспечения требуемой прочности;
- температуры и влажности окружающей среды;
- агрессивности среды.

Бетон получают путем смешивания цемента с заполнителем (щебня с песком) и водой. Максимальный размер частиц заполнителя не должен превышать $1/4$ наименьшего размера сечения элементов конструкции (это указывается в рабочих чертежах).

Рекомендуемое отношение объемов воды и сухой смеси 0,4 ... 0,6 (меньшее отношение обеспечивает большую прочность).

Марку стали для каркаса железобетонных емкостных сооружений подбирают в зависимости от температурных условий эксплуатации конструкции. Используют следующие марки стержневой стали: Ст. 3, Ст. 5, 10ГТ, 25Г2С, 35ГС, 18Г2С, 20ХГСТ, 80С.

2.4.4. Нагрузки, действующие на емкостные сооружения

Для расчета емкостных сооружений на прочность необходимо знать все действующие на них нагрузки, которые разделяют на постоянные и временные.

Постоянные – собственный вес конструкций, вес утепляющего слоя (термоизоляционного материала), вес гидроизоляции и пароизоляции, боковое давление насыпного грунта (2.16) - (2.21), силовое воздействие напрягаемой (растянутой) арматуры.

Временные нагрузки:

– длительно действующие – вес технологического оборудования, гидростатическое давление жидкости ($q = \rho gh = \gamma h$), температурное

воздействие, давление грунтовых вод (2.22) – (2.24);

- кратковременные – снеговые, ветровые; от монтажных и транспортных механизмов, материалов и т.д.; давление воды при испытании емкостей;

- особые – сейсмические воздействия (землетрясения).

Расчетная нагрузка – это сумма всех видов нагрузок, действующих на сооружение. В процессе эксплуатации емкостного сооружения возможное отклонение нагрузки от расчетной учитывают посредством коэффициентов перегрузки:

- для постоянно и длительно действующих нагрузок $n = 1,1 \dots 1,3$;

- кратковременных $n = 1,4$;

- особых – по СНиП.

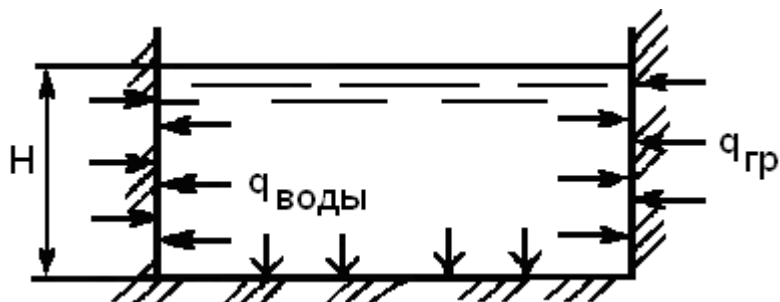
При расчете емкостного сооружения рассмотрим три случая его нагружения:

- сооружение заполнено водой, но не засыпано грунтом. Гидростатическое давление воды $q_e = n\gamma_e H$ ($\gamma_e = 1 \text{ т/м}^3$, $n = 1,3$ – для длительно действующих нагрузок);

- сооружение засыпано грунтом, но не заполнено водой. Этот случай рассмотрим дальше;

- сооружение засыпано грунтом и заполнено водой (полностью или частично) (рис. 2.12), а его конструктивные элементы подвержены неравномерному нагреву. Температурные воздействия учитываем в том случае, если по технологии предусматривается периодическое опорожнение и заполнение сооружения жидкостью с температурой, значительно отличающейся от температуры окружающей среды.

Рис. 2.12. Схема нагружения емкостного сооружения

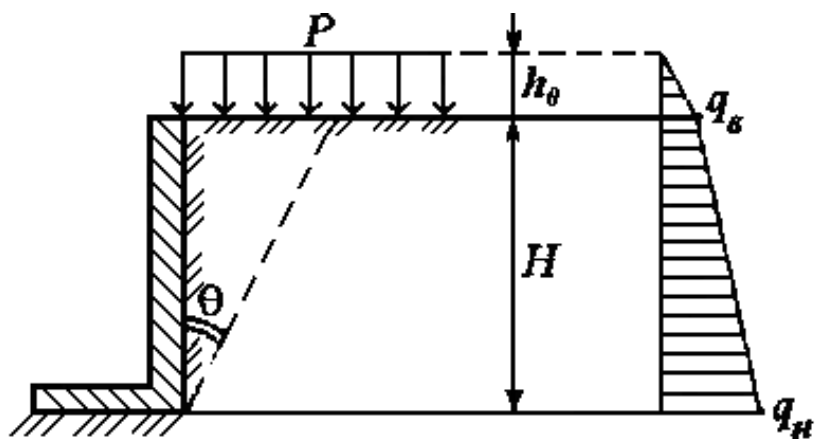


Обычно самые большие нагрузки действуют на сооружение в первом или во втором случае, так как в третьем случае (при равномерном нагреве) нагрузки от давления грунта и воды частично уравновешиваются из-за их действия в обратных направлениях.

Следует учитывать также, что на грунт могут действовать дополнительные нагрузки от веса технологического и другого оборудования, поэтому силы, действующие на сооружение во втором случае, могут возрасти еще больше.

Для расчета сооружений, обсыпанных грунтом, необходимо вычислить боковое давление грунта на стены.

Рис. 2.13. Эпюра давления при временной равномерно распределенной нагрузке, расположенной в пределах призмы обрушения



Угол призмы обрушения (рис. 2.13) определяют по формуле $\theta = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$, где φ – угол внутреннего трения грунта ($\varphi = \arctg f$, где f – коэффициент внутреннего трения).

При временной равномерно распределенной нагрузке, расположенной в пределах призмы обрушения (см. рис. 2.13), давление грунта вверху и внизу стен находят по формулам

$$q_c = n\gamma_{ep}h_0\mu_a \text{ т/м}^2, \quad (2.17)$$

$$q_n = n\gamma_{ep}(H + h_0)\mu_a \text{ т/м}^2, \quad (2.18)$$

где γ_{ep} – объемный вес грунта, т/м^3 ; $h_0 = p / \gamma_{ep}$ – приведенная высота насыпи, заменяющая нагрузку на призме обрушения, м; p – интенсивность расчетной нагрузки, т/м^2 ; μ_a – коэффициент давления грунта: $\mu_a = \text{tg}^2\theta$; H – высота сооружения, м.

Так как в данном случае действуют как постоянные, так и кратковременные нагрузки, то коэффициент перегрузки $n = 1,3$. При отсутствии нагрузки на призме обрушения в выражениях (2.17) и (2.18) принимают $h_0 = 0$.

При временной равномерно распределенной нагрузке, расположенной на расстоянии a от стенки сооружения (рис. 2.14), данные для построения эпюры давления определяют так:

$$h = \frac{a}{\text{tg}\theta};$$

$$q'_B = n\gamma_{ep}h\mu'; \quad (2.19)$$

$$q''_B = n\gamma_{ep}(h + h_0)\mu';$$

$$q_n = n\gamma_{ep}(H + h_0)\mu', \quad (2.20)$$

где $\mu' = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg}(\theta + \varphi)}$;

$$\theta = \arctg \left[-\operatorname{tg} \varphi + \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2 \varphi) \left(1 + \frac{A}{\operatorname{tg} \varphi} \right)} \right]; A = \frac{2ah_0}{H(H + 2h_0)}; n = 1,3.$$

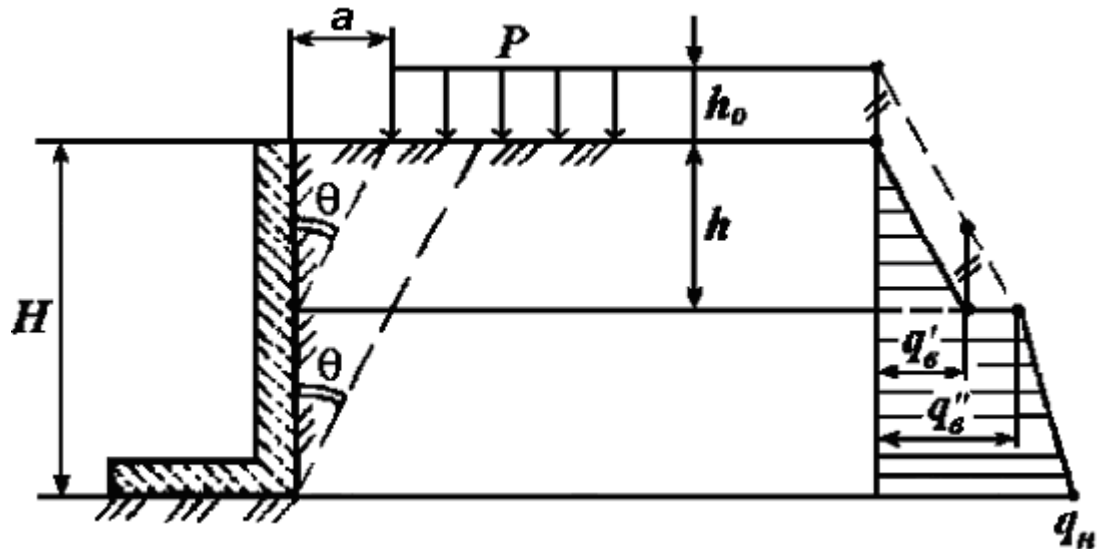


Рис. 2.14. Эпюра давления при временной равномерно распределенной нагрузке, расположенной на расстоянии a от стенки

Если на грунт засыпки не действует распределенная нагрузка, но поверхность грунта наклонена под углом α выше горизонтальной плоскости (рис. 2.15), то давление грунта

$$q_H = n\gamma_{cp}H\mu_a, \quad (2.21)$$

где $\mu_a = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg}(\theta + \varphi)(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta)}$, здесь $\theta = 45^\circ - \frac{\varphi}{2}$, $n = 1,1$ (действует только постоянная нагрузка).

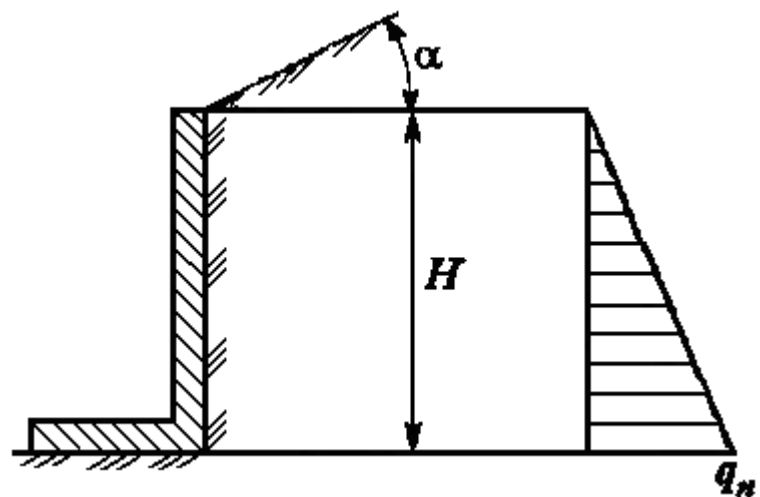


Рис. 2.15. Эпюра давления при наклонной поверхности грунта

Если поверхность грунта наклонена ниже горизонтальной плоскости, то в выражении для μ_a вместо $-tg\alpha$ нужно поставить $+tg\alpha$.

Характеристики грунтов (φ , $\gamma_{гр}$) для определения давления на стены сооружения берут из результатов инженерно-геологического исследования грунта.

На емкостное сооружение, расположенное ниже уровня грунтовых вод (рис. 2.16), действует гидростатическое давление, которое определяют их максимальным уровнем.

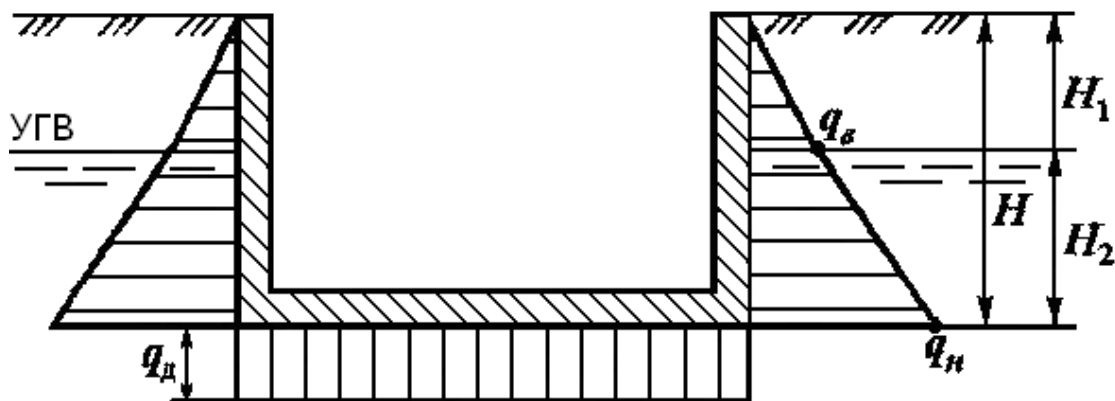


Рис. 2.16. Эпюра давления для сооружения, расположенного ниже уровня грунтовых вод

Давление грунта и воды на стены находят таким образом:

$$q_c = n\gamma_{гр}H_1\mu_a, \quad (2.22)$$

$$q_n = n(\gamma_{гр}H_1 + \gamma_{взв}H_2)\mu_a + n\gamma_вH_2, \quad (2.23)$$

где n – коэффициент перегрузки (для длительно действующей нагрузки $n = 1,3$); $\gamma_{гр}$ – объемный вес грунта; $\gamma_в$ – объемный вес во-

ды: $\gamma_в = 1$; $\gamma_{взв} = \frac{\gamma_{гр} - \gamma_в}{1 + \varepsilon}$ – объемный вес взвешенного в воде грун-

та; ε – коэффициент пористости грунта; H_2 – расстояние от максимального уровня грунтовых вод до днища сооружения; $H_1 = H - H_2$;

$$\mu_a = tg^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right).$$

Гидростатическое давление грунтовых вод на днище сооружения

$$q_d = n\gamma_вH_2. \quad (2.24)$$

2.4.5. Определение размеров емкостных сооружений

Приблизительные габаритные размеры емкостных сооружений исходя из требований технологического процесса очистки можно

найти в СНиП 2.04.03-85 (91) «Канализация. Наружные сети и сооружения» [19]. Однако по этим методикам нельзя рассчитать толщину стен и днища сооружения так, чтобы сооружение могло выдержать все действующие на него нагрузки.

Емкостное сооружение – это пространственная система, расчет которой на прочность точным методом – очень сложная задача. Поэтому применяют приближенный расчет, позволяющий определить усилия и деформации во всех элементах сооружения и их толщину с достаточной для практики точностью. Для этого следует предварительно задать толщину основных сечений рассчитываемых элементов. Чем точнее приняты предварительные толщины элементов, тем точнее будут результаты статического расчета.

При расхождении в принятых толщинах и толщинах, полученных расчетом более 20%, расчет необходимо выполнить заново.

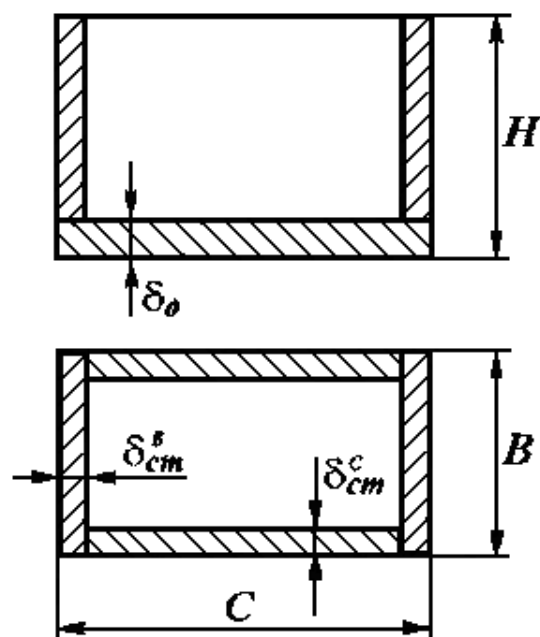
Допустим, что на основании расчета емкостного сооружения по СНиП получены его габаритные размеры (рис. 2.17):

H – высота сооружения, м; B – длина меньшей стороны в плане, м; C – длина большей стороны в плане, м; $HBC \approx V$ – емкости сооружения, м³.

Предварительные толщины изгибаемых элементов прямоугольного сооружения:

- стены $\delta_{cm} \approx 3\sqrt{H^3}$ см;
- днища $\delta_D \approx 1,5B\sqrt{H}$ см.

Рис. 2. 17. Габаритные размеры емкостного сооружения



Соотношение габаритных размеров сильно влияет на экономичность сооружений. Поэтому, когда технология очистки допускает изменение размеров, их рекомендуется принимать из условия наименьшей стоимости железобетонных конструкций.

В зависимости от заданного объема прямоугольного емкостного сооружения его оптимальная высота по условию минимальной стоимости может быть определена по формуле

$$H_{opt} = \sqrt[3]{\frac{\delta_d \sqrt{1,5kVR_u}}{4(k+1)} \frac{C_1}{C_2}} \text{ м,}$$

где k – соотношение размеров сооружения в плане: $k = \frac{C}{B}$; R_u – расчетное сопротивление бетона, кг/см²; C_1 – стоимость 1 м³ железобетонного днища, руб./м³; C_2 – стоимость 1 м³ железобетонных стен, руб./м³.

После определения H_{opt} надо пересчитать размеры сооружения в плане исходя из заданных значений V и $k = \frac{C}{B} = \frac{C'}{B'}$, где B' и C' – новые длины стен.

Затем по формулам (2.17) – (2.24) вычислить нагрузки, действующие на сооружение, и построить эпюры давлений (в формулы подставляем $H = H_{opt}$).

Далее находят оптимальные толщины стен и днища, а также оптимальную площадь арматуры, которые удовлетворяют условиям прочности и экономичности. Так,

$$\delta_i^{opt} = \frac{W}{R_u b_i} \sqrt{\frac{2M_i R_u b_i}{R_a i (2W - R_a i)}} \quad (2.25)$$

– оптимальная толщина стены или днища (δ_{cm}^{opt} или δ_d^{opt}), м;

$F_a^{opt} = \frac{R_a b_i \delta_i i}{W}$ – площадь рабочей арматуры, м² (расположена внутри бетонных плит и несет основную часть нагрузки);

$F_k = F_a^{opt}(\varphi_a - 1)$ – площадь конструктивной арматуры, м² (используется для соединения железобетонных плит).

Здесь $W = R_a i + C_a R_u b_i$ – расчетное сопротивление арматуры, Па; $i = (C_b + C_k n) \varphi_b b_i$; C_a – стоимость рабочей арматуры, руб./м³; b_i – ширина сечения рассчитываемого элемента сооружения, м (для стен – B' или C' ; для днища $\frac{B'+C'}{2}$); C_b – стоимость уложенного бетона, руб./м³; C_k – стоимость конструктивной арматуры, руб./м³; n – коэффициент, зависящий от вида арматуры (для стержневой $n = 1,5 \cdot 10^{-3}$; для каркаса $n = 2 \cdot 10^{-3}$; для сетки

$n = 2,5 \cdot 10^{-3}$); φ_6 – отношение полной высоты сечения к рабочей высоте того же сечения (для балок $\varphi_6 = 1,1$, для плит $\varphi_6 = 1,2$); M_i – расчетный изгибающий момент для данного элемента сооружения, Нм (определение M_i для расчета стен и днища прямоугольного емкостного сооружения – см. дальше); δ_i – предварительные толщины изгибаемых элементов, подсчитанные ранее, м (для стен δ_{cm} , для днища δ_d); φ_a – коэффициент использования арматуры, равный отношению площади всей арматуры к площади рабочей арматуры,

$$\varphi_a = \frac{F_a^{opt} + F_k}{F_a^{opt}}.$$

Как видно из формулы (2.25), для расчета толщины элементов сооружения необходимо найти изгибающие моменты, возникающие в стенах и днище от давления на них грунта и грунтовых вод. Определим изгибающие моменты на примере прямоугольных емкостных сооружений. К самым распространенным сооружениям относятся, например, горизонтальные отстойники, песколовки, ячейки многоступенчатых аэротенков.

Расчет изгибающих моментов для стен и днища имеет свои особенности.

2.4.6. Расчет моментов, действующих на стены прямоугольных емкостных сооружений

По ранее построенным эпюрам нагрузок видно, что нагрузки распределены неравномерно по высоте стен. Для упрощения примем, что нагрузка равномерная, моменты будем определять по максимальной нагрузке m_{max} , Па.

Стены прямоугольных сооружений рассчитывают как плиты, опертые по контуру. Наибольший прогиб плиты под действием распределенной нагрузки происходит в центре:

$$W_{max} = k_i \frac{q_{max} H_i^4}{E \delta_{cm}^3} \text{ м},$$

где H_i – меньшая сторона рассчитываемой стены, м; k_i – коэффициент, зависящий от отношения большей стороны стены к меньшей; E – модуль упругости железобетона $E = 2 \cdot 10^{10}$, Па.

Наибольший изгибающий момент возникает также в центре плиты:

$$M_{cm}^i = \beta_i q_{max} H_i^2 B_i \text{ Нм},$$

где B_i – большая сторона рассчитываемой стены, м; β_i – зависит от отношения большей стороны стены к меньшей.

Коэффициенты k_i и β_i приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Отноше- ние большей стороны к меньшей B_i / H_i	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	3	4	5	∞
k_i	0,0433	0,0616	0,077	0,091	0,102	0,111	0,134	0,14	0,1416	0,1422
β_i	0,0479	0,0626	0,0753	0,086	0,095	0,102	0,119	0,124	0,1246	0,125

После нахождения изгибающих моментов в стенах сооружения нужно рассчитать оптимальные толщины стен по формуле (2.25).

2.4.7. Расчет сил и моментов, действующих на днище емкостного сооружения

Днища емкостных сооружений выполняют из железобетонной плиты толщиной 8 – 12 см; стены сооружения в этом случае опираются на фундаментную ленту шириной L (рис. 2.18).

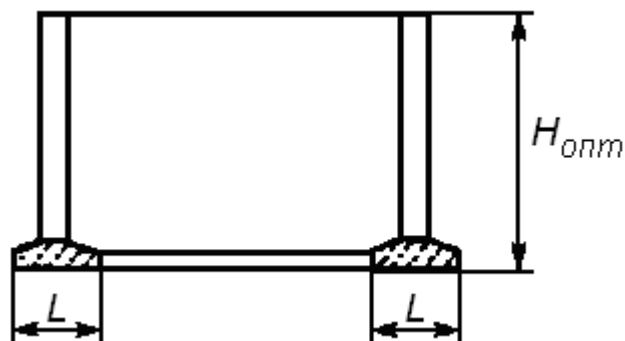


Рис. 2.18. Конструкция днища емкостного сооружения

Фундаментная лента воспринимает относительно небольшие реактивные усилия от заделки в нее стен сооружения, а также нагрузку от давления грунтовых вод q_d , Н/м².

Для определения усилия от давления воды и деформаций из фундаментной ленты с каждой стороны сооружения условно вырезают полосу шириной 1 м и рассчитывают ее как балку, лежащую на упругом основании.

Порядок расчета

1. Определяем коэффициент гибкости балки

$$\alpha_i = \frac{\pi b_i^3 L E_0}{I_i E},$$

где L – ширина фундаментной полосы (в данном случае $L = 1$ м); b_i

– длина полосы, м (равна длине рассматриваемой стороны сооружения B' или C'); I_i – момент инерции полосы, м^4 ($I_i = \frac{L^3 b_i}{12}$); E_0 – модуль упругости грунта, Па.

2. Вычисляем эмпирические параметры a_0^i , a_1^i , a_2^i для расчета реактивного давления грунтовых вод, а также поперечных сил, изгибающих моментов и деформаций от этого давления:

$$a_0^i = \frac{8252 + 29\alpha_i}{13440 + 19\alpha_i} q_D; \quad a_1^i = \frac{15564}{13440 + 19\alpha_i} q_D;$$

$$a_2^i = \frac{27945}{13440 + 38,5\alpha_i} q_D.$$

3. Рассчитываем реактивное давление грунтовых вод P_x , поперечные силы Q_x , изгибающие моменты M_x в разных сечениях x по длине двух рассматриваемых фундаментных полос (2 19):

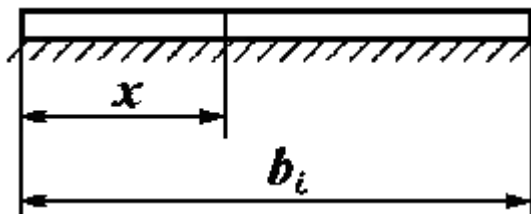


Рис. 2.19. Фундаментная полоса

$$P_x = a_0^i + \frac{4a_1^i}{b_i^2} \left(x - \frac{b_i}{2} \right)^2 \text{ м};$$

$$Q_x = \frac{2}{3} \frac{a_1^i x}{b_i^2} (x - b_i)(2x - b_i) \text{ м};$$

$$M_x = \frac{a_1^i x^2}{3b_i^2} (x - b_i)^2 \text{ Нм}.$$

4. Определяем углы поворота φ_x , рад, и ординаты линии прогиба y_x (упругой линии), м, фундаментных полос по их длине:

$$\varphi_x = \frac{a_2^i \alpha_i}{\pi E_0} \left\{ \frac{1}{72} (1 - 6\xi^2 + 4\xi^3) + \frac{1}{8!} [-420 + 840\xi - 2688(\xi - 0,5)^5] \right\},$$

где $\xi = \frac{x}{b_i}$; $8! = 40320$;

$$y_x = \frac{a_2^i b_i \alpha_i}{\pi E_0} \varphi(\xi), \text{ м},$$

$$\varphi(\xi) = \left\{ \frac{1}{72} (\xi - 2\xi^3 + \xi^4) + \frac{1}{8!} [7 - 420\xi + 420\xi^2 - 448(\xi - 0,5)^6] \right\}.$$

5. Строим эпюры изменения P_x , Q_x , M_x , U_x вдоль каждой фундаментной полосы и, подставляя в уравнение (2.25) наибольшее значение момента M_x , взятое с эпюр, находим толщину днища сооружения δ_D .

2.4.8. Пример расчета бетонного емкостного сооружения

Требуется рассчитать крайнюю ячейку двухступенчатого аэротенка, на три стены которой действует давление грунта засыпки. Поверхность грунта наклонена под углом $\alpha = 10^\circ$ выше горизонтальной плоскости (2.21).

Исходные данные для проектирования

1. Габаритные размеры ячейки: $H = 5$ м; $B = 12$ м; $C = 16$ м.
2. Объемный вес грунта $\gamma_{гр} = 1,7$ т/м³.
3. Коэффициент внутреннего трения грунта $f = 0,58$.
4. Тип арматуры – сетка.
5. Коэффициент использования арматуры $\varphi_a = 11$.
6. Стены и днище аэротенка изготовлены из железобетона одной марки.
7. Расчетное сопротивление бетона $R_u = 100$ кг/см².
8. Расчетное сопротивление арматуры $R_a = 800$ кг/см².
9. Модуль упругости грунта $E_0 = 200$ кг/см².
10. Модуль упругости железобетона $E = 2 \cdot 10^{10}$ Па.
11. Стоимость уложенного бетона $C_b = 800$ руб./м³.
12. Стоимость арматуры $C_a = C_k = 8$ тыс.руб./т. Пересчитаем стоимость арматуры в руб./м³:

$$\rho_{cm} = 7850 \text{ кг/м}^3 = 7,85 \text{ т/м}^3,$$

$$C_a = C_k = 8000 \text{ руб./т} \cdot 7,85 \text{ т/м}^3 = 62800 \text{ руб./м}^3$$

Порядок расчета

1. Предварительно определяем толщину стен и днища:

$$\delta_{cm} = \sqrt{H^3} = \sqrt{5^3} = 34 \text{ см},$$

$$\delta_D = 1,5B\sqrt{H} = 1,5 \cdot 12 \cdot \sqrt{5} = 40 \text{ см}.$$

Получили большую толщину (с запасом) в предположении, что на сооружение действуют большие нагрузки.

2. Оптимальная высота ячейки по условию минимальной стоимости

$$H_{opt} = \sqrt[3]{\frac{\delta_{\partial} \sqrt{15kVR_u} \frac{C_1}{C_2}}{4(k+1)}} = \sqrt[3]{\frac{0,4 \sqrt{15 \cdot 1,33 \cdot 960 \cdot 100} \frac{1}{1}}{4(1,33+1)}} = 2,7 \text{ м},$$

где $k = \frac{C}{B} = \frac{16}{12} = 1,33$, $V = HBC = 5 \cdot 12 \cdot 16 = 960 \text{ м}^3$.

В последующие формулы подставим полученное значение высоты ячейки H .

3. Выполняем пересчет размеров сооружения в плане при новом значении H :

$$B'C' = \frac{V}{H} = \frac{960}{2,7} = 355,6. \quad (2.26)$$

Определяем $C' = kB'$, подставляем в (2.26) $\Rightarrow k(B')^2 = 355,6$:

$$B' = \sqrt{\frac{355,6}{1,33}} = 16,4 \text{ м},$$

$$C' = kB' = 1,33 \cdot 16,4 = 21,8 \text{ м}.$$

4. Давление грунта на низ стены аэротенка

$$q_H = \gamma_{\text{гр}} H \mu_a = 11 \cdot 1,7 \cdot 2,7 \cdot 0,37 = 1,87 \text{ т/м}^2 = q_{\max},$$

$$\mu_a = \frac{\operatorname{tg} \theta}{\operatorname{tg}(\theta + \varphi)(1 - \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \theta)} = \frac{\operatorname{tg} 30^\circ}{\operatorname{tg}(30^\circ + 30,1^\circ)(1 - \operatorname{tg} 10^\circ \operatorname{tg} 30^\circ)} = 0,37,$$

где $\varphi = \operatorname{arctg} f = \operatorname{arctg} 0,58 = 30,1^\circ$,

$$\theta = 45^\circ - \frac{\varphi}{2} = 45^\circ - \frac{30,1^\circ}{2} \approx 30^\circ.$$

5. Рассчитываем наибольшие прогибы стен и моменты, действующие на стены ячейки аэротенка:

а) расчет стены HB' (большая сторона стены B'): отношение большей стороны стены к меньшей:

$$\frac{B'}{H} = \frac{16,4}{2,7} \approx 6 \Rightarrow.$$

По табл. 2.5 определяем $k_i = 0,142$, $\beta_i = 0,125$. Прогиб стены

$$W_{\max} = k_i \frac{q_{\max} H^4}{E \delta_{cm}^3} = 0,142 \frac{1,87 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 2,7^4}{2 \cdot 10^{10} \cdot 0,34^3} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}.$$

Наибольший момент

$$M_{cm}^1 = \beta_i q_{\max} H^2 B' = 0,125 \cdot 1,87 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 2,7^2 \cdot 16,4 = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ Нм};$$

б) выполняем расчет стены HB' (большая сторона стены C): отношение большей стороны стены к меньшей $\frac{C'}{H} = \frac{21,8}{2,7} \approx 8$, по табл.

2.5 получаем те же значения k_i и β_i , а значит W_{max} тоже равно $1,8 \cdot 10^{-4}$ м. Тогда

$$M_{cm}^2 = \beta_i q_{max} H^2 C' = 0,125 \cdot 1,87 \cdot 10^4 \cdot 2,7^2 \cdot 21,8 = 3,71 \cdot 10^5 \text{ Нм.}$$

6. Рассчитываем оптимальную площадь арматуры для каждой стены ячейки аэротенка:

а) для стены HB' :

– площадь рабочей арматуры

$$F_a^{opt} = \frac{R_a B' \delta_{cm} i_1}{W_1} = \frac{800 \cdot 10^5 \cdot 16,4 \cdot 0,34 \cdot 18834}{1,18 \cdot 10^{13}} = 0,712 \text{ м}^2,$$

где

$$i_1 = (C_\delta + C_\kappa h') \varphi_\delta B' = (800 + 62800 \cdot 2,5 \cdot 10^3) 1,2 \cdot 16,4 = 18834 \text{ руб./м}^2,$$

$$W_1 = R_a i_1 + C_a R_u B' = 1 \cdot 10^5 (800 \cdot 18834 + 62800 \cdot 100 \cdot 16,4) = 1,18 \cdot 10^{13} \text{ Н} \cdot \text{руб./м}^4;$$

– площадь конструктивной арматуры

$$F_\kappa = F_a^{opt} (\varphi_a - 1) = 0,712 (1,1 - 1) = 0,0712 \text{ м}^2;$$

б) для стены HC' :

– площадь рабочей арматуры

$$F_a^{opt} = \frac{R_a C' \delta_{cm} i_2}{W_2} = \frac{800 \cdot 10^5 \cdot 21,4 \cdot 0,34 \cdot 25035}{1,57 \cdot 10^{13}} = 0,946 \text{ м}^2,$$

где

$$i_2 = (C_\delta + C_\kappa n) \varphi_\delta C' = (800 + 62800 \cdot 2,5 \cdot 10^3) 1,2 \cdot 21,8 = 25035 \text{ руб./м}^2,$$

$$W_2 = R_a i_2 + C_a R_u C' = 1 \cdot 10^5 (800 \cdot 25035 + 62800 \cdot 100 \cdot 21,8) = 1,57 \cdot 10^{13} \text{ Н} \cdot \text{руб./м}^4;$$

– площадь конструктивной арматуры

$$F_\kappa = F_a^{opt} (\varphi_a - 1) = 0,946 (1,1 - 1) = 0,0946 \text{ м}^2.$$

7. Определяем оптимальные толщины стен ячейки:

а) толщина стены HB' :

$$\delta_{cm1}^{opt} = \frac{W_1}{R_u B'} \sqrt{\frac{2 M_{cm1}^1 R_u B'}{R_a i_1 (2 W_1 - R_a i_1)}},$$

$$\delta_{cm1}^{opt} = \frac{1,18 \cdot 10^{13}}{100 \cdot 10^5 \cdot 16,4} \times \sqrt{\frac{2 \cdot 2,8 \cdot 10^5 \cdot 100 \cdot 10^5 \cdot 16,4}{800 \cdot 10^5 \cdot 18834(2 \cdot 1,18 \cdot 10^{13} - 800 \cdot 10^5 \cdot 18834)}} = 0,12 \text{ м};$$

б) толщина стены HC' :

$$\delta_{cm2}^{opt} = \frac{W_2}{R_u C'} \sqrt{\frac{2M_{cm}^2 R_u C'}{R_a i_2 (2W_2 - R_a i_2)}},$$

$$\delta_{cm2}^{opt} = \frac{1,57 \cdot 10^{13}}{100 \cdot 10^5 \cdot 21,8} \times \sqrt{\frac{2 \cdot 3,71 \cdot 10^5 \cdot 100 \cdot 10^5 \cdot 21,8}{800 \cdot 10^5 \cdot 25035(2 \cdot 1,57 \cdot 10^{13} - 800 \cdot 10^5 \cdot 25035)}} = 0,12 \text{ м}.$$

Толщины стен δ_{cm1}^{opt} и δ_{cm2}^{opt} одинаковые, так как на них действует одинаковая нагрузка.

Если значения δ_{cm}^{opt} отличаются больше, чем на 20% от первоначально принятой толщины δ_{cm} , то необходимо выполнить расчет во втором приближении. При этом используют значение $\delta_{cm} = \delta_{cm1}^{opt}$.

2.5. Проектирование инерционных устройств для очистки сточных вод

2.5.1. Проектирование гидроциклонов

Скорость разделения взвешенных твердых частиц и жидкости может быть увеличена действием центробежных сил. Наиболее простые центробежные аппараты – гидроциклоны: напорные (рис. 2.20, а) и открытые – безнапорные (рис. 2.20, б).

В цилиндрическую часть аппарата воду подают тангенциально. В напорном гидроциклоне поток движется по спирали около стенки в нижнюю часть аппарата. В конической части на уровне $0,5 - 0,7D$ поток поворачивает к оси аппарата и движется вверх к выходному отверстию. Взвешенные частицы прижимаются центробежными силами к стенкам и сползают по ним вниз к вершине конуса, а затем удаляются через разгрузочное отверстие.

Недостатки напорных гидроциклонов – большой расход энергии на питательный насос и сложность удаления всплывающих веществ.

Эти недостатки отсутствуют в открытых (безнапорных) гидроцик-

лонах, работающих при небольших входных скоростях, потери напора составляют $\sim 0,5$ м вод.ст. ($0,5 \cdot 10^4$ Па). Из-за невысоких окружных скоростей загрязнения в открытых гидроциклонах удаляются в основном вследствие гравитационных, а не центробежных сил. Поэтому открытые гидроциклоны способны задерживать только крупные частицы – $u_0 > 10$ мм/с.

Гидроциклоны изготавливают из стали; диафрагмы в открытых гидроциклонах могут быть выполнены как из стали, так и из неметаллических материалов – ткань, пластик и др.

Производительность гидроциклона можно определить по формуле

$$q = 0,24 \frac{d_{\text{вх}}}{d_{\text{вых}}} \alpha F \sqrt{2g\Delta H} \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2.27)$$

где $d_{\text{вх}}$ и $d_{\text{вых}}$ – диаметры входного и выходного патрубков, м; $\alpha \approx 0,9$ – коэффициент, учитывающий потерю воды с осадком; F – площадь живого сечения входного отверстия, м²; ΔH – потеря напора в гидроциклоне, м.

Минимальную гидравлическую крупность частиц, задерживаемых гидроциклонами различных диаметров, определяют по соответствующему графику (рис. 2.21), откуда видно, что при одинаковой потере напора гидроциклоны меньшего диаметра задерживают более мелкие частицы. Однако гидроциклоны малого диаметра быстрее засоряются. Поэтому применяют многоступенчатые гидроциклонные установки с аппаратами разных диаметров: первая ступень – гидроциклоны $D = 250 - 350$ мм, последняя – $D = 50 - 75$ мм.

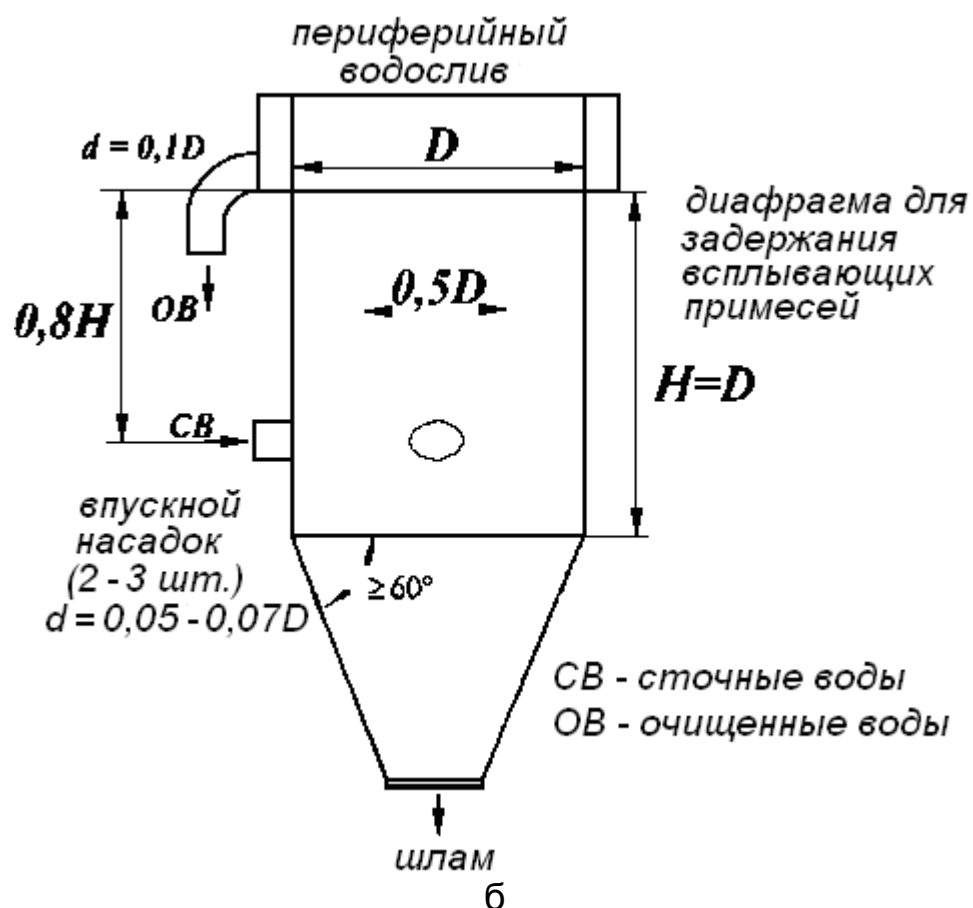
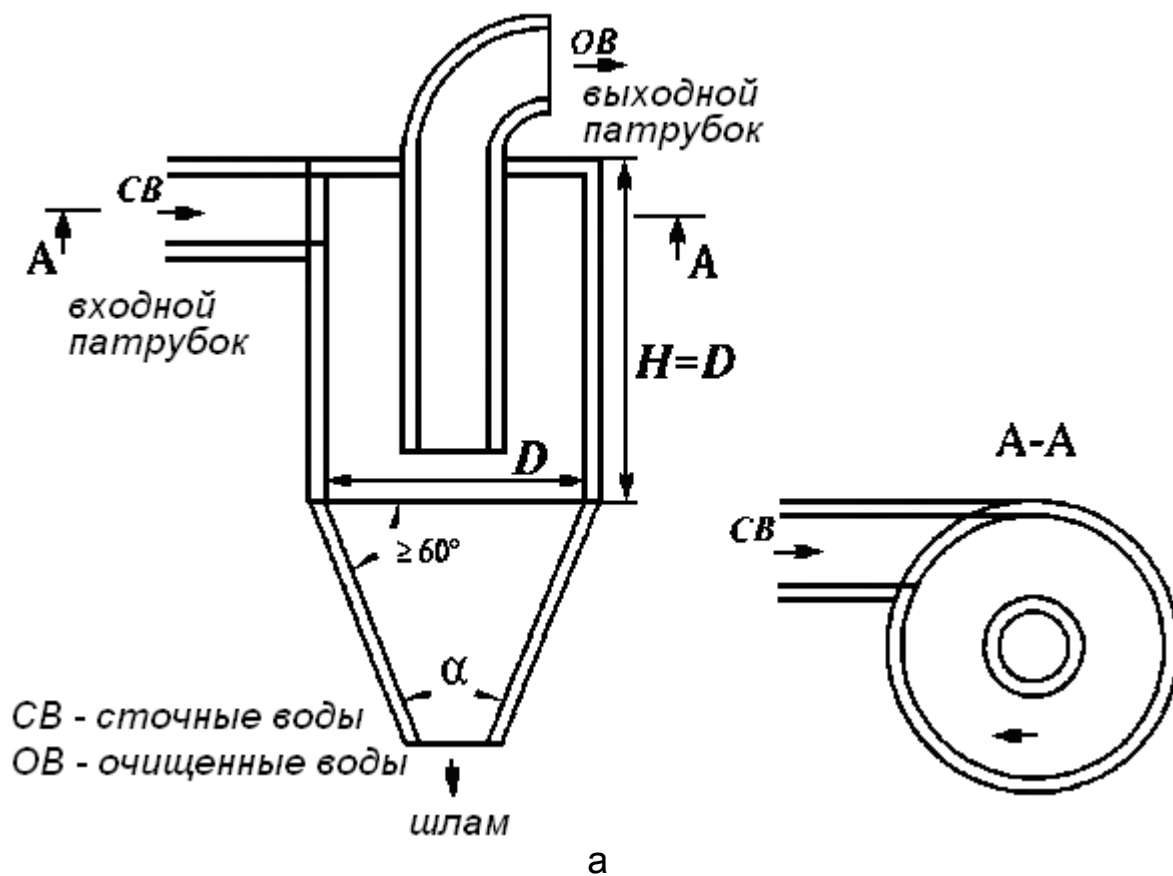
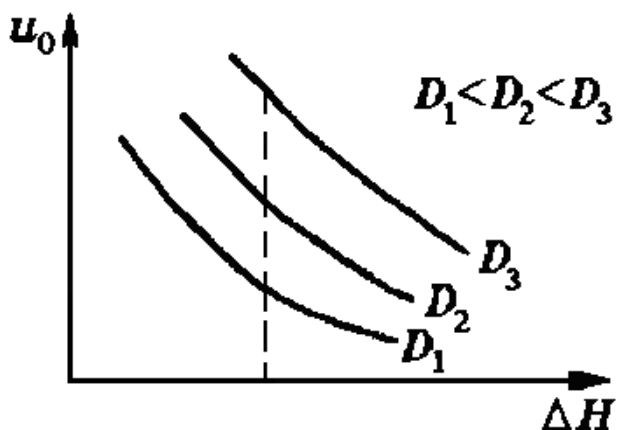


Рис. 2.20. Гидроциклоны

Рис. 2.21. График для определения минимальной гидравлической крупности частиц для $D = 100$ мм, $\Delta H = 1$ кг/см², $u_0 \approx 0,5$ мм/с



Пример расчета гидроциклона

Задано

1. Расход сточных вод $q = 50$ м³/ч.
2. Гидравлическая крупность задерживаемых частиц $u_0 = 0,5$ мм/с и более.

Расчет

1. По расходу q выбирают стандартный гидроциклон.

Например, напорный гидроциклон ГЦ-250К, $D = 250$ мм, буква K означает, что внутренняя поверхность стенок аппарата футерована каменным литьем. Футеровка применяется для уменьшения износа внутренней поверхности аппарата абразивными примесями. Выбранный гидроциклон имеет производительность $q = 30 - 85$ м³/ч.

Размеры элементов гидроциклона:

- $d_{вх} = 80$ мм; $d_{вых} = 100$ мм; $d_{шл} = 24$ мм;
- сечение патрубка на входе в гидроциклон 30×65 мм;
- угол конусности конической части $\alpha = 20^\circ$.

2. По формуле (2.27) определяем потери напора в гидроциклоне:

$$\Delta H = \frac{\left(\frac{q d_{вх}}{0,24 \alpha F d_{вых}} \right)^2}{2 \cdot g} = \frac{\left(\frac{0,014 \cdot 0,08}{0,24 \cdot 0,9 \cdot 1,95 \cdot 10^{-3} \cdot 0,1} \right)^2}{2 \cdot 9,81} = 36 \text{ м},$$

где $q = 50$ м³/ч $= 50 / 3600 = 0,014$ м³/с; $d_{вх} = 0,08$ м; $d_{вых} = 0,1$ м; $F = bh = 0,03 \cdot 0,065 = 1,95 \cdot 10^{-3}$ м².

$$\begin{aligned} 3. \Delta H(\text{Па}) &= \rho g \Delta H(\text{м}) = 1000 \cdot 9,81 \cdot 36 = 3,5 \cdot 10^5 \text{ Па}, \\ \Delta H(\text{кг/см}^2) &= 1019 \cdot 10^{-5} \cdot \Delta H(\text{Па}) = \\ &= 1019 \cdot 10^{-5} \cdot 3,5 \cdot 10^5 = 3,6 \text{ кг/см}^2. \end{aligned}$$

4. При $D = 250$ мм и $\Delta H = 3,6$ кг/см² (см. рис. 2.21) находим минимальную крупность частиц, задерживаемых гидроциклоном: $u_{0 \min} = 0,37$ мм/с $< u_0 = 0,5$ мм/с. Значит, гидроциклон задер-

жит частицы крупностью 0,5 мм/с.

2.5.2. Проектирование центробежных очистителей жидкости

Центробежные очистители жидкости, к которым относятся и сепараторы, обладают высокой избирательной способностью к загрязнениям, отделяя от очищаемой жидкости примеси с большей плотностью. Например, с помощью таких очистителей можно отделить от воды ($\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$) механические примеси ($\rho = 2500 \dots 3000 \text{ кг/м}^3$ и выше) или очистить масло ($\rho = 900 \text{ кг/м}^3$) от воды и загрязнений.

Принципиальная схема очистителя показана на рис. 2.22.

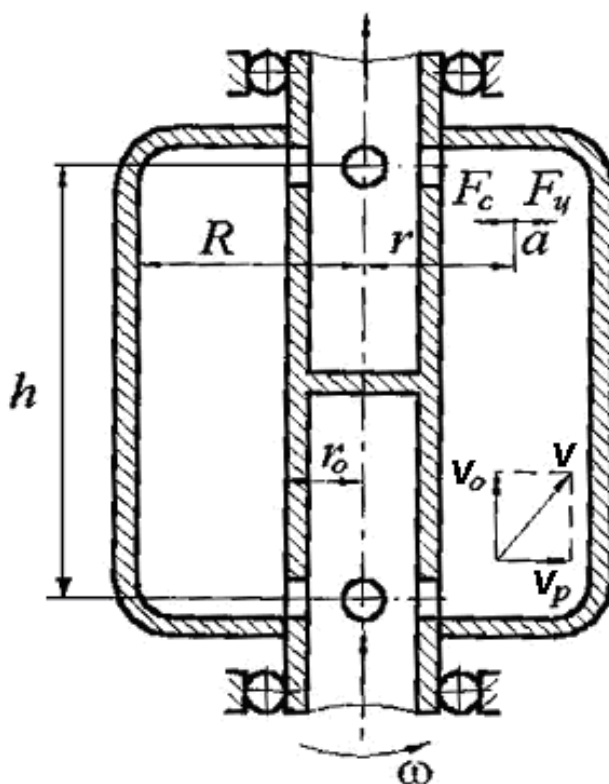


Рис. 2.22. Центробежный очиститель жидкости

Очищаемую жидкость подают под давлением через полую ось во вращающийся ротор, в котором она раскручивается до угловой скорости, близкой к скорости вращения ротора ω , рад/с. Для лучшего раскручивания жидкости в сепараторах обычно предусматривают закрепляемые на оси тарелки, лопатки и другие устройства.

При вращении разделяемой смеси грязевые частицы с повышенной плотностью отбрасываются под действием центробежных сил к стенкам ротора и осаждаются на них.

Так как на стенках ротора осаждаются и смолистые загрязняющие вещества, то твердые частицы загрязнений связываются этими веществами, образуя на стенках ротора плотную корку, поэтому подача смеси в ротор периодически перекрывается и для смывания этой кор-

ки подается под давлением нагретая смягченная вода.

При заполнении ротора осадком радиальная скорость жидкости уменьшается, а осевая возрастает, и возможность уноса частиц со стенок потоком жидкости повышается. Поэтому работа очистителя без промывки ротора допустима приблизительно до 25% заполнения его емкости осадком. Из этого условия можно определить периодичность промывки ротора.

Иногда загрязнения отводят со стенок ротора непрерывно через специальные сопла.

Центробежная сила, действующая на механическую частицу загрязнителя (см. рис. 2.22), вращающуюся вместе с ротором:

$$F_u = mr\omega^2, \quad (2.28)$$

где m – масса частицы загрязнителя; r – текущий радиус, т.е. мгновенное расстояние центра тяжести частицы до оси вращения ротора.

Угловую скорость вращения ротора ω , рад/с, можно выразить через число оборотов ротора в минуту n , об/мин:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}. \quad (2.29)$$

Под действием центробежной силы частица загрязнителя, преодолевая сопротивление жидкости, перемещается в радиальном направлении с некоторой скоростью осаждения v_p . Одновременно с этим она перемещается вместе с жидкостью в осевом направлении со скоростью

$$v_0 = \frac{Q}{S}, \quad (2.30)$$

где Q – расход жидкости через ротор, S – площадь проходного сечения ротора:

$$S = \pi(R^2 - r_0^2). \quad (2.31)$$

Полученная скорость v_0 не должна превышать 7,5 см/с, чтобы частицы загрязнителя не смывались со стенок ротора.

В итоге частица будет перемещаться с результирующей скоростью v (см. рис. 2.22) под некоторым углом к оси ротора, при достижении стенки которого она оседает на ней.

Для того чтобы частица успела осесть на стенках ротора, время ее прохождения через ротор в осевом направлении $t_0 = \frac{h}{v_0}$ (h – дли-

на зоны осаждения) должно быть больше или равно времени движения частицы к стенкам ротора в радиальном направлении

$$t_p = \frac{R - r_0}{v_p}.$$

Из условия $\frac{h}{v_0} \geq \frac{R - r_0}{v_p}$

$$h \geq \frac{v_0}{v_p} (R - r_0). \quad (2.32)$$

Найдем теперь скорость v_p для подстановки в формулу (2.32). Из второго закона Ньютона для равномерного движения частицы получим

$$F_u = F_c. \quad (2.33)$$

Гидравлическое сопротивление жидкости F_c для шарообразной частицы вычислим по формуле Стокса

$$F_c = 3\pi\mu d v_p, \quad (2.34)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости жидкости, $\text{кг/см} = \text{Нс/м}^2$; d – условный диаметр частицы.

Подставляя (2.28) и (2.34) в (2.33) и принимая $r = r_{cp} = \frac{R + r_0}{2}$, получаем

$$m\omega^2 r_{cp} = 3\pi\mu d v_p.$$

Масса шарообразной частицы

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \Delta\rho,$$

где $\Delta\rho = \rho_z - \rho_{ж}$; ρ_z – средняя плотность частиц загрязнителя; $\rho_{ж}$ – плотность жидкости.

Тогда с учетом (2.29) $\frac{\pi d^3}{6} \Delta\rho \left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 r_{cp} = 3\pi\mu d v_p$, откуда

$$v_p = \frac{d^2 (\pi n)^2 \Delta\rho r_{cp}}{16200\mu}, \text{ м/с.} \quad (2.35)$$

Пример. Определим основные размеры центробежного очистителя, предназначенного для отделения грязевых частиц с минимальным диаметром $d = 45$ мкм от масла ОМТИ-30.

Кинематическая вязкость масла $\nu = 30 \text{ ссм} = 30 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}^2$, плотность $\rho_{ж} = 900 \text{ кг/м}^3$.

Расход масла $Q = 2500 \text{ л/ч}$.

Средняя плотность частиц загрязнителя $\rho_z = 2500 \text{ кг/м}^3$.

Расчет

1. Определяем диаметр полый оси по формуле $F_0 = \frac{Q}{v}$, где вы-

бираем максимальную скорость масла в трубопроводе $V = 1$ м/с.

Расход масла

$$Q = \frac{2500 \cdot 10^{-3}}{3600} = 6,94 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$\text{Тогда } F_0 = 6,94 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2,$$

$$F_0 = \pi r_0^2, \text{ откуда } r_0 = \sqrt{\frac{F_0}{\pi}} = 0,015, \quad d_0 = 30 \text{ мм}.$$

2. Находим осевую скорость потока жидкости, проходящей через ротор, по формуле (2.30):

$$v_0 = \frac{Q}{S} = \frac{6,94 \cdot 10^{-4}}{0,07} = 0,01 \text{ м/с} = 1 \text{ см/с} < 7,5 \text{ см/с} \quad (\text{условие}$$

несмывания частиц со стенок ротора выполняется).

Согласно (2.31) $S = p(R^2 - r_0^2) = p(0,15^2 - 0,015^2) = 0,07 \text{ м}^2$ (радиус R в первом приближении приняли равным 0,15 м).

3. Рассчитываем радиальную скорость частиц.

Подбираем для привода очистителя стандартный электродвигатель с числом оборотов $n = 3000$ об/мин.

Определяем $\Delta\rho = \rho_3 - \rho_{ж} = 2500 - 900 = 1600 \text{ кг/м}^3$;

$$r_{cp} = \frac{R + r_0}{2} = \frac{0,15 + 0,015}{2} = 0,0825 \text{ м};$$

$$\mu = \nu \rho_{ж} = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 900 = 0,027 \text{ кг/с}\cdot\text{м}.$$

Подставляем все значения в (2.34):

$$v_p = \frac{d^2(\pi n)^2 \Delta\rho r_{cp}}{16200\mu} = \frac{(45 \cdot 10^{-6})^2 (\pi 3000)^2 1600 \cdot 0,0825}{16200 \cdot 0,027} = 0,054 \text{ м/с}.$$

4. Находим по формуле (2.32) минимальную длину зоны осаждения:

$$h_{min} = \frac{v_0}{v_p} (R - r_0) = \frac{0,01}{0,054} (0,15 - 0,015) = 0,025 \text{ м}.$$

Длина ротора очистителя должна быть больше $h_{min} = 25$ мм. Получили небольшую длину зоны осаждения, поэтому можно уменьшить радиус ротора R (но так, чтобы выполнялось соотношение $v_0 \leq 7,5$ см/с) или выбрать привод с меньшим числом оборотов.

Например, при $n = 750$ об/мин (стандартный электродвигатель) $h_{min} = 0,4$ м. При этом увеличивается длина очистителя, но

уменьшаются инерционные нагрузки, действующие на ротор. Поэтому стенки ротора можно сделать более тонкими или из менее прочного материала.

В общем случае при проектировании центробежных очистителей необходимо рассчитывать ротор на прочность (определять толщину стенок при заданных инерционных нагрузках и материале ротора) и подбирать опоры ротора (подшипники), определив центробежные силы от массы ротора и очищаемой жидкости, действующие на ротор и опоры.

2.5.3. Проектирование осадительных центрифуг

Осадительные центрифуги применяют для выделения из сточных вод мелкодисперсных взвешенных веществ, когда для их выделения не могут быть использованы реагенты, а также при необходимости извлечения из осадка ценных продуктов и их утилизации.

Осадительные центрифуги могут быть непрерывного или периодического действия. Центрифуги непрерывного действия следует использовать для очистки сточных вод с расходом до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$. Если надо выделить частицы с гидравлической крупностью $0,2 \text{ мм/с}$, то применяют противоточные центрифуги, а для выделения частиц с гидравлической крупностью $0,05 \text{ мм/с}$ – прямоточные.

Центрифуги периодического действия используют при расходе сточных вод не более $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ для выделения частиц с гидравлической крупностью $0,05 \dots 0,01 \text{ мм/с}$.

Концентрация механических загрязняющих веществ в сточных водах не должна превышать $2 \dots 3 \text{ г/л}$.

Противоточные и прямоточные центрифуги отличаются по направлению движения потоков в полости ротора.

В противоточных центрифугах (рис. 2.23) обезвоживаемый осадок подается в трубу 1 полого шнека 2. Через отверстия 3 осадок попадает в приемную камеру ротора 4. Под действием центробежных сил наиболее тяжелые частицы осадка отжимаются к внутренней поверхности ротора, перемещаются шнеком и выгружаются через выгрузные окна 5 в бункер 6. Расстояние между наружными кромками сливных отверстий 7, через которые вытекает очищенная жидкость (фугат), называется диаметром слива. Изменяя диаметр слива, можно изменять качество фугата и обезвоженного осадка (кека). Фугат, вытекающий из сливных отверстий, поступает в бункер 8.

Ротор центрифуги приводится во вращение электродвигателем через клиноременную передачу. Передача вращения от ротора к шнеку осуществляется через планетарный редуктор, обеспечивающий небольшую разницу между скоростями вращения ротора и шнека. Эту разницу можно регулировать для учета свойств обрабатываемого осадка с помощью присоединяемого к планетарному редуктору дополнительного привода.

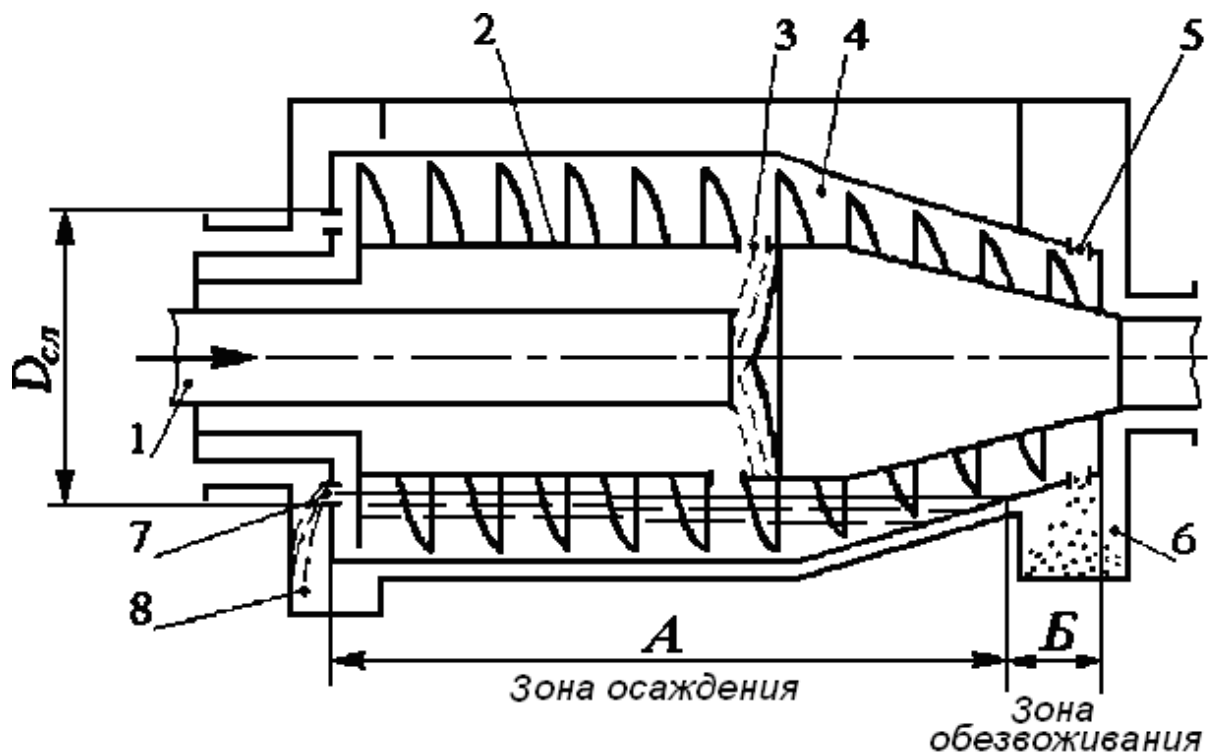


Рис. 2.23. Противоточная центрифуга

В прямоточных центрифугах (рис. 2.24) осадок попадает в полость ротора не в середине, а в начале зоны осаждения. В отличие от противоточных центрифуг направления движения жидкости и осадка внутри ротора совпадают. Вследствие этого прямоточные центрифуги обеспечивают более высокую степень осветления обрабатываемой суспензии ($u_0 = 0,05$ мм/с вместо $u_0 = 0,2$ мм/с). Основным недостатком прямоточных центрифуг – повышенный износ шнека в цилиндрической части, так как твердая фаза перемещается по всей длине ротора. В противоточных центрифугах основная масса твердой фазы оседает в средней части ротора, поэтому изнашивается в основном только коническая часть шнека.

При центрифугировании твердая фаза осадков сточных вод отделяется от воды под действием поля центробежных сил. Эффективность воздействия центробежных сил на процесс осаждения частиц твердой фазы определяется фактором разделения:

$$Fr = \frac{P_{цб}}{P_{гг}} = \frac{mR\omega^2}{mg} = \frac{R\omega^2}{g},$$

где m – масса частицы; R – максимальный внутренний радиус ротора центрифуги; ω – угловая скорость вращения ротора; g – ускорение свободного падения.

Из формулы видно, что Fr можно увеличить вследствие повышения скорости вращения ротора ω , а также увеличения его радиуса R . Однако для крупных промышленных центрифуг с диаметрами роторов около 1 м максимальный $Fr \approx 1000$. Он ограничивается допускае-

мыми напряжениями в роторе (прочностью) и повышенным износом шнека. Уменьшение диаметра ротора до 0,3 ... 0,5 м при одновременном увеличении скорости его вращения позволяет повысить Fr до 2500 ... 3500.

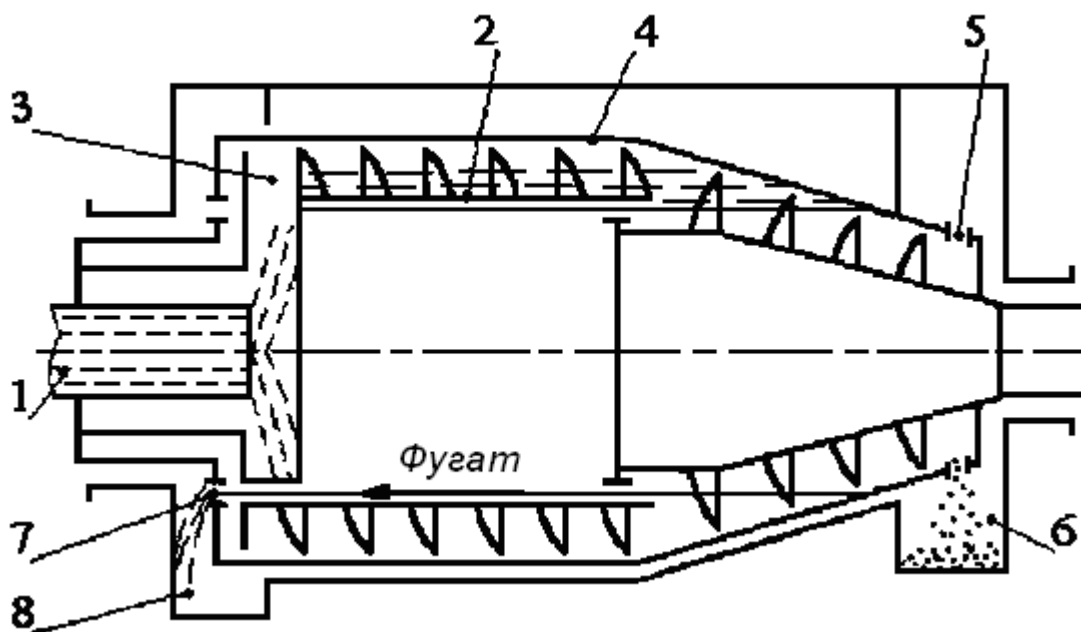


Рис. 2.24. Прямоточная центрифуга

Механизм осаждения частиц твердой фазы в поле центробежных сил определяют теми же закономерностями, что и в гравитационном поле, только действующие на частичку силы в данном случае в Fr раз больше.

Так как при значительных расходах очищаемых осадков (и соответственно больших R) Fr имеет относительно небольшое значение, то для увеличения эффективности очистки применяют реагентную обработку осадков.

Для обезвоживания на центрифугах нужно, чтобы хлопья осадков были крупными и прочными, поэтому к осадкам добавляют более дорогие флокулянты, а не коагулянты. В качестве флокулянтов используют синтетические органические полимеры, закупаемые за рубежом (в Германии, Англии, Японии).

Необходимый этап подготовки осадков к обезвоживанию на центрифугах – выделение крупных и абразивных включений. Содержащийся в осадке песок, не задержанный песколовками, вызывает повышенный износ шнеков центрифуг.

Шнеки, изготовленные из стали X18H10T, обычно изнашиваются через 1,5 ... 3 тыс.ч работы. Наплавка витков шнека стеллитом увеличивает срок службы шнека до 5 ... 7 тыс.ч, а напыление карбидом вольфрама – до 12 ... 15 тыс.ч. По истечении срока службы шнеки приходится ремонтировать или заменять новыми. Так как они довольно дороги ($\approx 30\%$ стоимости центрифуги), то для увеличения срока их службы перед центрифугами устанавливают гидроциклоны для выде-

ления песка из осадка. Особенно это относится к крупногабаритным центрифугам, шнеки которых отремонтировать очень сложно.

Из-за отсутствия общепринятой методики проектирования центрифуг при обезвоживании осадков сточных вод большое значение имеет опыт практического применения центрифуг.

Многие зарубежные фирмы имеют передвижные установки с центрифугами, диаметры роторов которых 20 ... 50 см. На этих установках в конкретных условиях изучаются параметры работы центрифуг, после чего даются рекомендации по их применению.

Центрифуги можно сравнивать по индексу производительности

$$\Sigma = FFr,$$

где F – площадь поверхности слива центрифуги, м^2 ($F = \pi D_{\text{сл}} L_{\text{ц}}$; $L_{\text{ц}}$ – длина цилиндрической части ротора, м).

Индекс производительности характеризует эффективность использования поверхности осаждения очистного устройства. Например, чтобы отстойник имел такое же значение Σ , как и центрифуга, он должен иметь в Fr раз большую площадь F .

Эффективность работы центрифуг зависит от таких факторов:

- тип обрабатываемого осадка;
- технологическая схема очистки;
- режим работы очистных сооружений;
- тип флокулянта;
- концентрация флокулянта и условия его смешивания с осадком;
- конструкция и режим работы центрифуги.

Рассмотрим влияние на эффективность центрифуги только последнего фактора, т.е. конструктивных параметров и условий эксплуатации, так как они в первую очередь зависят от инженера, проектирующего центрифугу.

1. Влияние габаритов характеризуется отношением L/D (длины ротора к его диаметру). Обычно $L/D = 3...4$. При увеличении соотношения L/D и постоянном D повышается осветляющая способность центрифуги, но увеличиваются прогибы ротора и шнека, значит, уменьшается их прочность. При выборе L/D необходимо также следить, чтобы критические частоты ротора и шнека не были близки к их рабочим частотам вращения.

2. Влияние угла конусности конической части α . Угол конусности центрифуги, а также диаметры расположения отверстий для выгрузки кека и фугата ($D_{\text{сл}}$) определяют размеры зон осаждения A и обезвоживания B (см. рис. 2.23).

При увеличении угла конусности увеличивается длина цилиндрической части, следовательно, больше загрязнений сможет осесть на стенках ротора (получаем более чистый фугат). Однако это не всегда

так. При угле конусности $\alpha > 10^\circ$ кек плохо выгружается и значительная часть уже осевших твердых частиц снова возвращается из конусной части в цилиндрическую. Из-за этого качество фугата резко ухудшается, поэтому угол α принимают обычно $6 \dots 9^\circ$.

3. Влияние диаметра слива $D_{сл}$ (см. рис. 2.23). При увеличении $D_{сл}$ зона осаждения *А* уменьшается, а зона обезвоживания (зона сушки) *Б* увеличивается.

Эффективность задержания сухого вещества снижается (получаем более грязный фугат), а сухость кека повышается (его легче транспортировать и утилизировать). Поэтому $D_{сл}$ подбирают экспериментальным путем с учетом требований к качеству фугата и кека.

4. Влияние относительной скорости вращения шнека

$$V_{отн} = \omega_{отн} R_{ш},$$

где $R_{ш}$ – наружный радиус витков шнека, $\omega_{отн} = \frac{\pi n_{отн}}{30}$.

В зависимости от типа обрабатываемого осадка оптимальная $V_{отн} = 0,1 \dots 0,7$ м/с. Меньшие значения ($0,1 \dots 0,3$) принимают при обезвоживании активного ила, чтобы уменьшить взмучивание мелких частиц и увеличить продолжительность сгущения твердой фазы для возможности транспортировки ее шнеком.

Для более концентрированных и грубых осадков первичных отстойников $V_{отн}$ повышают до $0,4 \dots 0,7$ м/с, чтобы обеспечить выгрузку кека и не допустить перегрузку редуктора.

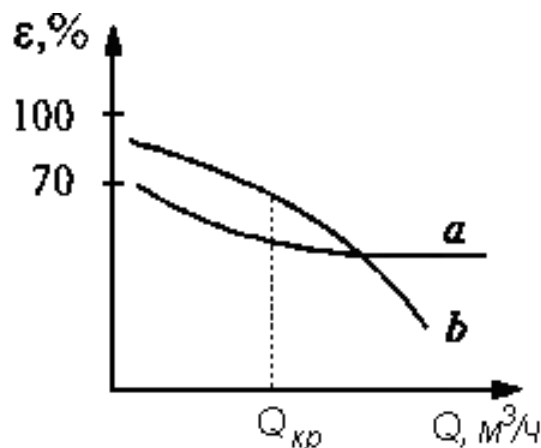
5. Влияние производительности центрифуги на ее эффективность.

Без применения флокулянтов при увеличении производительности Q эффективность задержания сухого вещества ε постепенно снижается (рис. 2.25, а). При обработке осадка с флокулянтами (рис. 2.25, б) при увеличении Q выше предельного значения происходит резкое снижение ε .

Это объясняется возникновением вихревого (турбулентного) течения жидкости в роторе, а также недостаточной прочностью хлопьев сфлуккулированного осадка. При этом сухость кека увеличивается, так как мелкие частички, содержащие много связанной влаги, выносятся с фугатом.

В связи с этим при обработке осадков с флокулянтами для обеспечения эффективности процесса необходимо правильно подобрать тип флокулянта для конкретного осадка, установить его дозу и оптимальные условия смешения с осадком и уже в зависимости от этого выбрать режим работы центрифуги.

Рис. 2.25. Эффективность задержания сухого вещества



6. Направление движения потоков внутри ротора. Влияние этого фактора на эффективность работы центрифуги было рассмотрено ранее.

3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Задача вентиляции помещений – поддержание в них благоприятного для человека состояния воздушной среды в соответствии с нормируемыми ее характеристиками.

Задача выбора системы вентиляции должна решаться на основе технико-экономического сравнительного анализа нескольких возможных вариантов (двух, трех и более).

Для этого необходимо всесторонне рассмотреть и оценить объект по предъявляемым к нему требованиям, основными среди которых являются следующие.

Санитарные:

- Поддержание нормируемых параметров воздуха (температура, относительная влажность и скорость движения), которые зависят от назначения помещения, периода года, а для производственных помещений и от степени тяжести выполняемых работ. Нормы на эти параметры приведены в приложениях 1-7 СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование». Например, в приложении 1 СНиП для жилых, общественных и административно-бытовых помещений в теплый период года температура воздуха должна быть не более, чем на 3°C выше расчетной температуры наружного воздуха; относительная влажность не более 65%; скорость движения воздуха не более 0,5 м/с. Следует отметить, что поддержание влажности существенно повышает стоимость проекта.

- Подача в помещения свежего воздуха (естественным или механическим путем) или применение рециркуляционных систем.

- Удаление воздуха местными отсосами или общеобменной вытяжкой (в производственном корпусе), или с использованием естественной вытяжки (в жилых помещениях).

Архитектурно-строительные:

– Возможность проложить в здании или помещении коммуникации воздуховодов, трубопроводов (особенно в реконструируемых зданиях).

Противопожарные:

– Нормальные условия в разных категориях помещений «Д» или пожароопасные «В», а также взрывопожароопасные «А» и «Б» и соответствующие этим категориям проектные решения (установка обратных и огнезадерживающих клапанов, раздельная установка блоков оборудования, различные схемы прокладки коммуникаций).

Эксплуатационные:

– Обслуживание и управление системой с центрального пульта управления или управление (регулирование параметров) автономное (например, в случае, когда одна часть помещений ориентирована на юг, другая – на север) и обеспечение раздельного режима работы оборудования на группы помещений.

– Надежность системы.

Экономические:

– Оптимизация цен при сравнении в проекте оборудования разных производителей и различного класса.

– Разработка нескольких принципиальных вариантов систем на базе различных типов оборудования и проведение их сравнительной оценки.

В зависимости от назначения помещений и технологических процессов, происходящих в них, в помещениях выделяются различные вредные вещества, которые необходимо удалять и вместо них подавать свежий воздух. В жилых и общественных помещениях – это углекислый газ, влага, выделяемые людьми; в помещениях промышленных предприятий – газы, пыль и влага, выделяемые при технологических процессах. В помещения также поступает избыточное тепло, большое количество которого образуется в теплое время года, оно является вредным и с ним следует бороться с помощью средств вентиляции.

Содержание газов и пыли в воздухе не должно превышать ПДК.

Количество влаги, поступающей в помещение, определяется формулой

$$W = nW_q + W_{откр}F_{откр} + W_{см}F_{см} \text{ г/ч,}$$

где n – число людей в помещении; W_q – количество влаги, г/ч, выделяемой одним человеком, зависит от температуры окружающего воздуха и состояния человека. Например, при $t = 25^\circ\text{C}$ в состоянии покоя человек выделяет $W_q = 50$ г/ч, при тяжелой физической работе $W_q = 300$ г/ч; $W_{откр}$ и $W_{см}$ – влаговыделения с 1 м^2 открытой водной и смоченной поверхностей в течение 1 ч, г/ч м^2 (зависят от темпе-

ратуры воздуха помещения и его относительной влажности); $F_{откр}$ и $F_{см}$ – площади, м^2 , открытой водной и смоченной поверхностей.

3.1. Воздухообмен в вентилируемом помещении

Наиболее эффективное средство борьбы с вредными веществами в вентилируемых помещениях – это удаление этих веществ в местах выделения с помощью вытяжных систем. Однако это не всегда возможно, например, если места нахождения людей или источники вредных выделений расположены по всей площади помещений. В таких случаях устраивают общеобменную вентиляцию, разбавление вредных веществ до ПДК осуществляется вследствие притока свежего воздуха. Разбавленный воздух затем отводится из помещения с помощью вытяжных систем.

Воздухообмен в помещении, необходимый для рассеивания вредных веществ до ПДК, $\text{м}^3/\text{ч}$, определяется формулой

$$L = A / (C_2 - C_1),$$

где A – количество вредных веществ, $л$, выделяющихся в помещении в течение одного часа; C_2 – ПДК вредных веществ в воздухе помещения, $л/\text{м}^3$; C_1 – концентрация вредных веществ в подаваемом в помещение воздухе, $л/\text{м}^3$.

Если в помещении одновременно выделяется несколько вредных газов (углекислый газ, аммиак, сероводород), то воздухообмен вычисляют по каждому из них и за основу принимают больший. При выделении раздражающих газов (серный и сернистый ангидрид, хлористый водород и др.) в помещениях, где находятся люди, воздухообмен определяют как сумму воздухообменов, необходимых для доведения концентрации каждого газа до нормы.

Влажность выше нормы не только вызывает заболевания органов дыхания человека, но также активизирует процесс коррозии оборудования и конструкций здания. Необходимый воздухообмен для борьбы с избыточной влажностью

$$L = \frac{W}{(d_{yx} - d_{пр})\rho} \text{ м}^3/\text{ч},$$

где d_{yx} – допустимое содержание водяного пара в воздухе помещения, $г/кг$; $d_{пр}$ – влагосодержание приточного воздуха, $г/кг$; ρ – плотность поступающего в помещение воздуха, $кг/\text{м}^3$.

Для определения состояния влажного воздуха удобно пользоваться $I-d$ -диаграммой, которая связывает основные параметры влажного воздуха:

- температуру t , $^{\circ}\text{C}$;
- влагосодержание d сухого воздуха, $г/кг$;

- энтальпию l сухого воздуха, кДж/кг;
- относительную влажность φ , %;
- парциальное давление p_n , кПа.

По $l-d$ -диаграмме можно найти все пять параметров паровоздушной смеси по известным двум из них.

Плотность поступающего в помещение воздуха

$$\rho, \text{ кг/м}^3 = \frac{\nu, \text{ кг/моль}}{V, \text{ м}^3/\text{моль}},$$

где ν – молярная масса, V – молярный объем.

Для воздуха молярная масса $\nu = 0,029$ кг/моль; для пара – $\nu = 0,018$ кг/моль.

Молярный объем можно рассчитать из уравнения состояния идеального газа при температурах T , К и давлении p , Па:

$$V = \frac{RT}{p}.$$

Здесь R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,31$ Дж/моль К).

Так как для удаления избыточной влаги в помещение должен поступать сухой воздух, то V можно принять равным 0,029 кг/моль.

В теплое время года или в горячих (литейных) цехах могут образовываться избытки тепла из-за превышения тепlopоступлений над тепlopотерями:

$$Q_{изб} = Q_{пост} - Q_{пот} \text{ кДж/ч.}$$

Воздухообмен для борьбы с избытками тепла

$$L = \frac{Q_{изб}}{c_p(t_{yx} - t_{пр})} \text{ м}^3/\text{ч},$$

где $c = 1$ кДж/кг $^{\circ}$ С – теплоемкость воздуха (для пара теплоемкость $c = 1,8$ кДж/кг $^{\circ}$ С); $t_{пр}$ – температура приточного воздуха, $^{\circ}$ С; t_{yx} – температура удаляемого воздуха, $^{\circ}$ С.

При удалении воздуха из верхней зоны помещения

$$t_{yx} = t_{p.з.} + b(H - 2),$$

где $t_{p.з.}$ – температура в рабочей зоне, $^{\circ}$ С (рабочая зона условно принимается на высоте 2 м от пола); b – температурный градиент (степень нарастания температуры в помещении по вертикали начиная с 2 м): для помещений с небольшими тепловыделениями $b = 0,5$ $^{\circ}$ С/м; с большими тепловыделениями – $b = 1$ $^{\circ}$ С/м; H – высота до места выброса удаляемого воздуха, м.

При удалении воздуха из нижней зоны помещений $t_{yx} = t_{p.з.}$

При наличии в помещении одновременно и водяных паров W и $Q_{изб}$ необходимое количество воздуха, проходящего через помеще-

ние, определяют таким образом:

$$G = W1000 / (d_2 - d_1) = Q_{изб} / (I_2 - I_1) \text{ кг/ч},$$

где d_2 и d_1 – конечное и начальное влагосодержание воздуха, г/кг; I_2 и I_1 – конечная и начальная энтальпии воздуха, кДж/кг.

Это рассчитывают по $I-d$ -диаграмме влажного воздуха.

Для помещений, где выделения вредных веществ невелики (жилые помещения), воздухообмен определяют по кратностям

$$K = L / V, \text{ 1/ч}.$$

Кратность – это отношение объема вентиляционного воздуха к внутреннему объему помещения. Кратность воздухообменов для различных помещений приведена в справочно-нормативной литературе (например, в приложении 19 СНиП 2.04.05-91).

3.2. Определение расходов воздуха для местных вытяжных систем

В качестве местных отсосов применяют вытяжные шкафы (рис. 3.1, б), зонты, особенно рациональные при работе с нагретыми материалами (рис. 3.1, а). Если по технологическим требованиям источник вредностей нельзя укрыть (гальванические ванны), то устраивают бортовые отсосы (рис. 3.1, г) или ванны-передувки (рис. 3.1, д). При неравномерном выделении значительных объемов вредностей применяют емкие ширмы (рис. 3.1, в).

При воздействии на людей лучистой теплоты, например, от печей, раскаленного металла и других источников, применяют системы подачи охлажденного воздуха на рабочие места – воздушные души (рис. 3.2).

Производительность V местных отсосов определяется свойствами вредностей и конструкцией отсоса.

Объем воздуха, извлекаемого из зонтов и вытяжных шкафов,

$$V = 3600 F v \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.1)$$

где F – площадь расчетного сечения, м^2 (основания зонта или открытого отверстия шкафа); v – средняя скорость воздуха в расчетном сечении, м/с.

При нетоксичных вредностях допустимо принимать $v = 0,15 \dots 0,25$ м/с; при выделении ядовитых газов при четырех, трех, двух или одной открытых сторонах зонта минимальное значение скоростей должно быть соответственно 1,05; 0,9; 0,75; 0,5 м/с. Значение $v = 3$ м/с принимают при особо ядовитых вредностях (пары свинца, горячей ртути, цианистые соединения, лаки и их растворители, дисперсная пыль металлов).

При работе с радиоактивными веществами скорость воздуха $v = 2 - 3$ м/с.

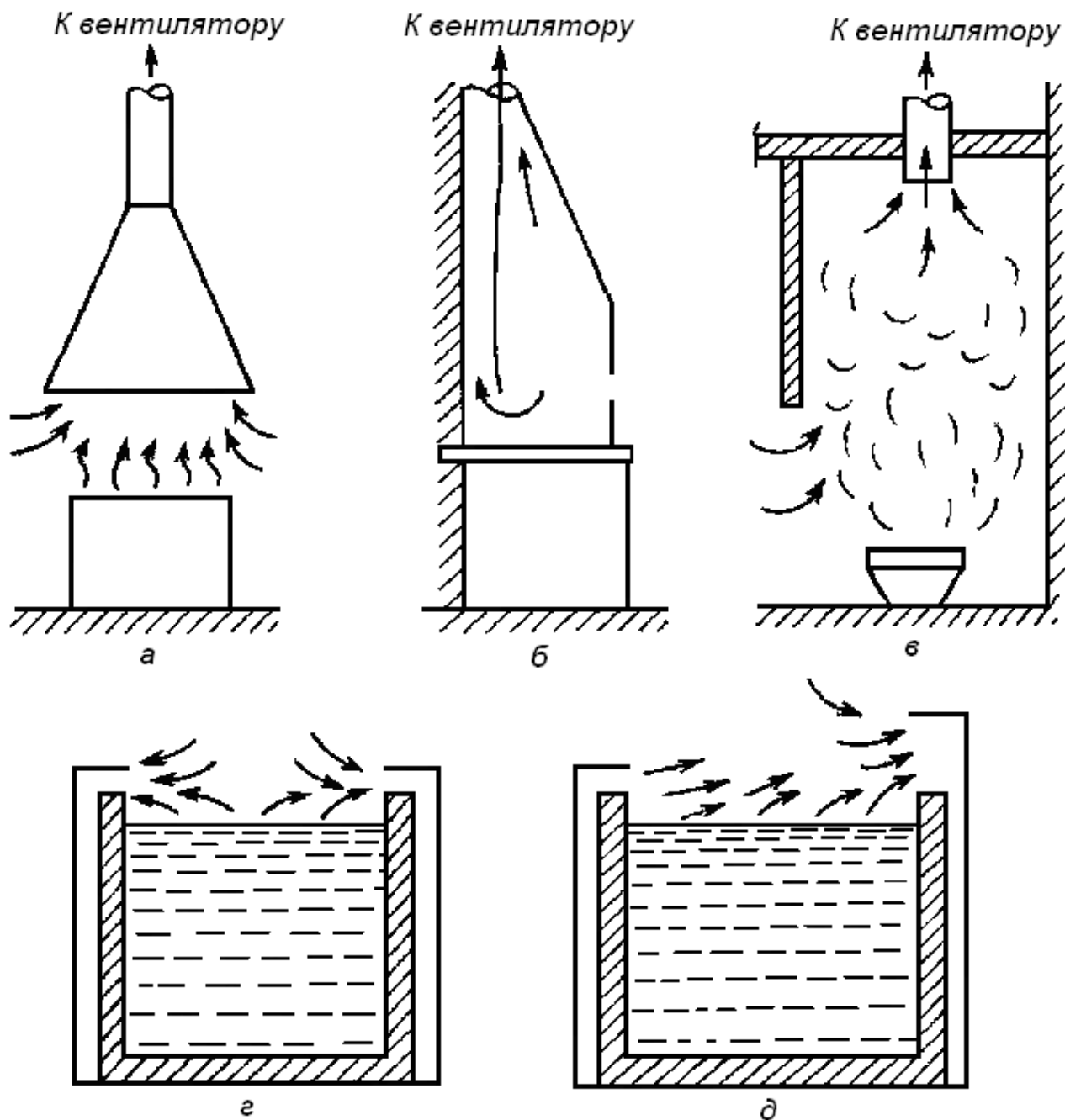


Рис. 3.1. Местные вытяжные системы

Объем воздуха, удаляемого бортовыми отсосами, рассчитывают из условия создания скорости не менее 0,2 м/с в наиболее удаленной от борта точке. При удалении окислов азота, паров серной кислоты эта скорость принимается равной 0,25 м/с, при парах едкой щелочи, фосфорной кислоты или хромового ангидрида – 0,3; азотной кислоты – 0,4. В среднем отсос составляет 1500 ... 5000 м³/ч на 1 м² горизонтальной проекции ванны. При ширине щели в бортовом отсосе 40 ... 100 мм скорость в ней составляет 11 ... 15 м/с.

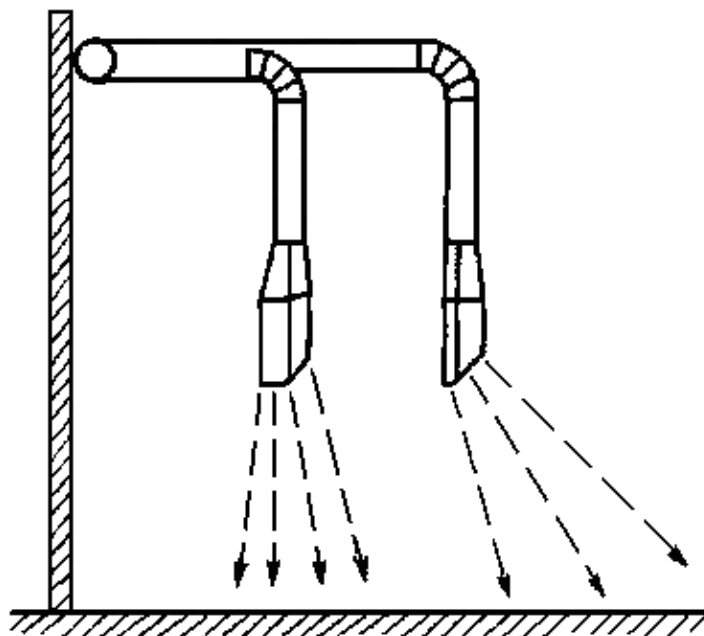
При устройстве ванны-передувки объем удаляемого воздуха

$$V_{пер} = 390kb^2\ell \text{ м}^3/\text{ч},$$

где b и ℓ – ширина и длина ванны, м; k – температурный коэффици-

ент (при температуре $t = 95 \dots 20^\circ\text{C}$, $k = 1 \dots 0,5$).

Рис. 3.2. Воздушный душ



Объем отсасываемого воздуха из кожухов шлифовальных заточных и полировальных кругов находят из выражения

$$V_{\text{кож}} = Vd3600 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где d – диаметр круга, мм; V – объем отсоса, приходящийся на 1 мм диаметра круга, $\text{м}^3/\text{с}$.

При заточных и шлифовальных кругах $V = 1,6 - 2$ (при $d = 600 \dots 250$ мм); при войлочных и полировальных – 4, при матерчатых – 6 $\text{м}^3/\text{с}$.

Производительность воздушного душа с шириной на рабочем месте 1 ... 1,2 м определяют также из выражения (3.1), только в этом случае за F принимается площадь живого сечения душирующего па-

трубка диаметром D ($F = \frac{\pi D^2}{4}$), а за V – скорость движения воздуха на рабочем месте (приложение 3 СНиП 2.04.05-91).

3.3. Основные элементы вентиляционных систем

Как уже отмечалось, нормируемые параметры воздуха в помещениях при использовании общеобменной вентиляции поддерживаются путем нагнетания в помещениях чистого воздуха в нужном объеме, с требуемой температурой и влажностью и посредством удаления воздуха, не соответствующего нормативным требованиям. На основании этого системы общеобменной вентиляции должны включать в себя устройства для забора наружного воздуха, его обработки, транспортировки и распределения по помещениям, а также для удаления отработавшего воздуха. Схема общеобменных вентиляционных систем

и расположение в них оборудования изображены на рис. 3.3.

В конкретных случаях вентиляционные установки могут не иметь всего комплекта оборудования (см. рис. 3.3). Так, вытяжной воздух перед его выбрасыванием в атмосферу очищается лишь в случаях его загрязнения выше норм, допустимых для окружающей среды, и т.д.

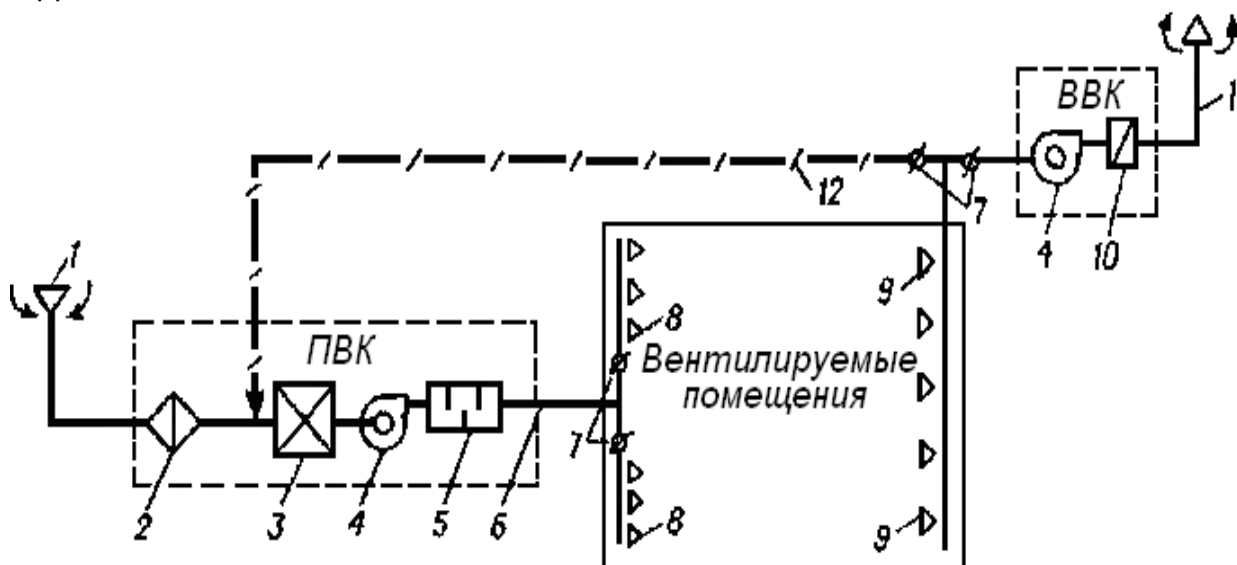


Рис. 3.3. Общеобменная вентиляционная система: 1 – воздухоприемные устройства; 2 – фильтр противопыльный; 3 – оборудование для тепловлажностной обработки воздуха (калориферы, кондиционеры, воздухоохладители и т.п.); 4 – вентиляторы; 5 – шумоглушители; 6 – воздуховоды; 7 – регулировочные клапаны; 8 – приточные отверстия; 9 – вытяжные отверстия; 10 – оборудование для очистки вытяжного воздуха; 11 – воздуховыбросное устройство; 12 – линия рециркуляции; ПВК и ВВК – приточная и вытяжная вентиляционные камеры

3.4. Воздухоприемные и воздуховыбросные устройства

Устройства для приема наружного воздуха и выброса его из помещений выполняют в виде отверстий в стене (рис. 3.4, а) или в виде шахт – приставных (рис. 3.4, б) или отдельно стоящих (рис. 3.4, в).

Отверстия закрывают жалюзийными решетками, представляющими собой стальную или деревянную раму с наклонными планками – жалюзи. Место забора воздуха выбирают там, где он меньше всего загрязнен. Если воздух в нижней части здания загрязнен, то воздухоприемные шахты выводят над крышей. В любом случае отверстия для забора воздуха должны располагаться на высоте не менее 2 м от поверхности земли (в зеленой зоне – не менее 1 м) и на расстоянии не менее 15 м по горизонтали от места, куда выбрасывается загрязненный воздух, а по вертикали – не менее 6 м ниже уровня выброса.

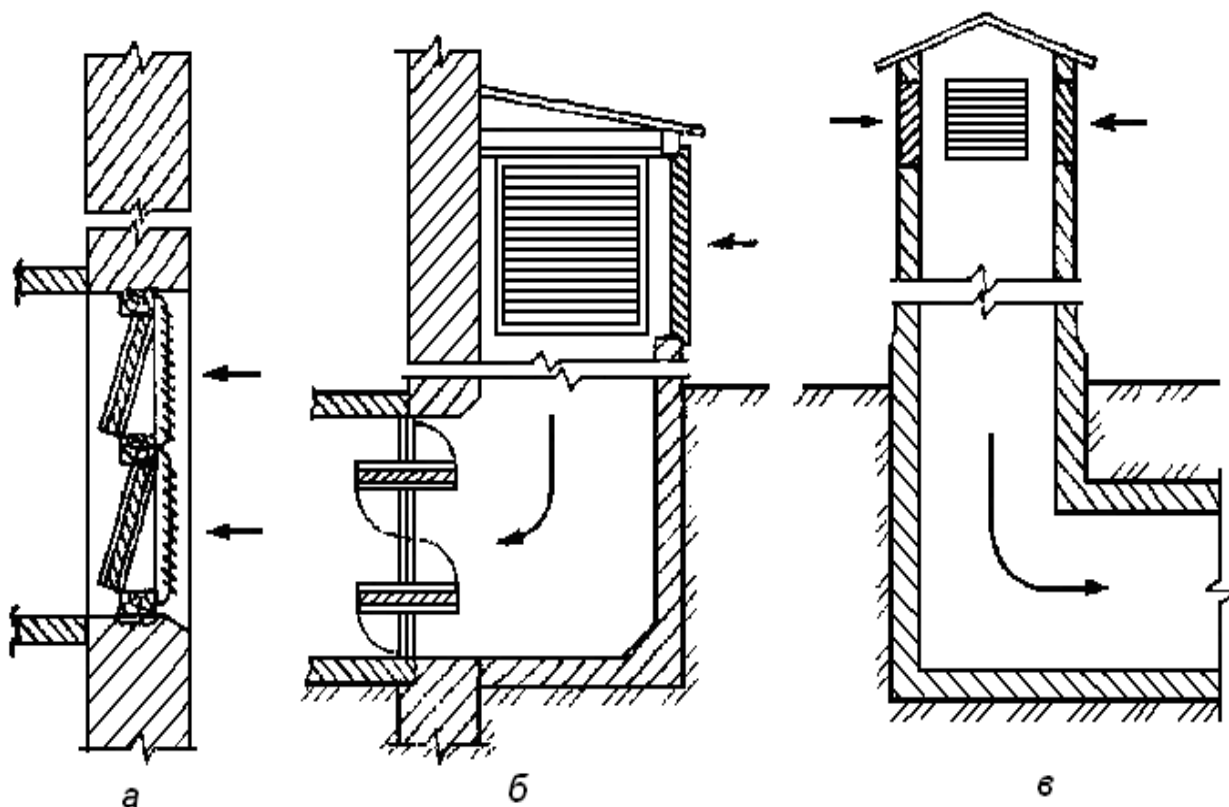


Рис. 3.4. Устройства для приема и выброса воздуха

В канале между жалюзийной решеткой и приточной камерой устанавливают утепленный клапан, который перекрывает доступ холодного наружного воздуха в помещение, когда система не работает. Наружные стены вытяжных каналов и шахт утепляют, чтобы не конденсировалась влага из извлекаемого влажного воздуха и не образовывались наледь.

Скорость движения воздуха в приточных каналах и шахтах принимается в пределах 2 ... 5 м/с, в каналах и шахтах выбросных устройств 4 ... 8 м/с, но не менее 0,5 м/с, в том числе и для естественной вентиляции.

3.5. Вентиляционные камеры

Основное вентиляционное оборудование обычно устанавливают в специальных помещениях, называемых вентиляционными камерами. Приточные камеры проектируют на первом этаже или в техническом подполье. Вытяжные камеры помещают в верхней части здания, а в многоэтажных зданиях – на специальных технических этажах. Приточные и вытяжные установки обязательно должны размещаться в разных камерах, которые следует располагать по возможности в центре вентиляционных нагрузок как можно дальше от помещений с низким допустимым уровнем шума.

На рис. 3.5 показана конструкция приточной камеры, размещенной на первом этаже.

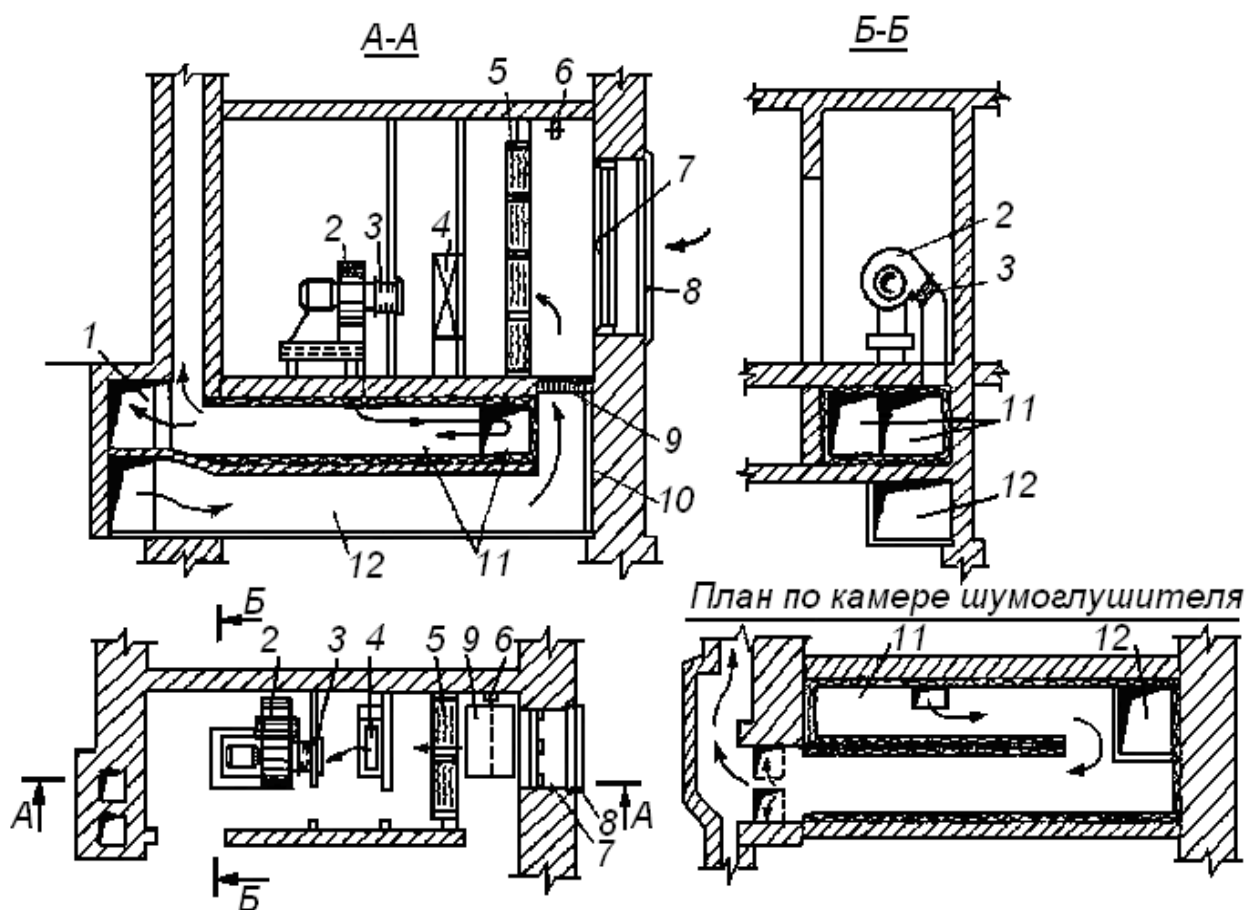


Рис. 3.5. Приточная камера: 1 – приточный короб; 2 – центробежный (радиальный) вентилятор; 3 – гибкий патрубок; 4 – калорифер; 5 – фильтры; 6 – утепленный клапан; 7 – жалюзийная решетка; 8 – рециркуляционный клапан; 9 – звукопоглощающее покрытие; 10 – короб шумоглушения; 11 – рециркуляционный короб

Наружный воздух поступает через воздухозаборную жалюзийную решетку 7, проходит через утепленный клапан 6, очищается в фильтрах 5 от пыли, подогревается, если нужно, в калориферах 4 и подается вентилятором 2 через шумоглушитель 10 и распределительный приточный короб 1 в систему приточных воздуховодов. Часть воздуха из вентилируемых помещений можно подавать через рециркуляционный короб 11 и рециркуляционный клапан 8 обратно в камеру для смешивания с наружным воздухом (при очень низкой температуре наружного воздуха и небольшом загрязнении воздуха в помещениях).

Приточные вентиляционные камеры состоят из отдельных помещений – секций, предназначенных для обслуживания клапанов, фильтров, калориферов и т.д. Каждая секция должна иметь отдельный вход с герметичной дверью.

Устройство вытяжной камеры (рис. 3.6) аналогично устройству приточной камеры, но в ней размещаются только вентилятор, воздуховоды и воздуховыбросное устройство. Если отводимый воздух загрязнен пылью выше ПДК, то за вентилятором устанавливают устройства для очистки воздуха от пыли (пылеуловители).

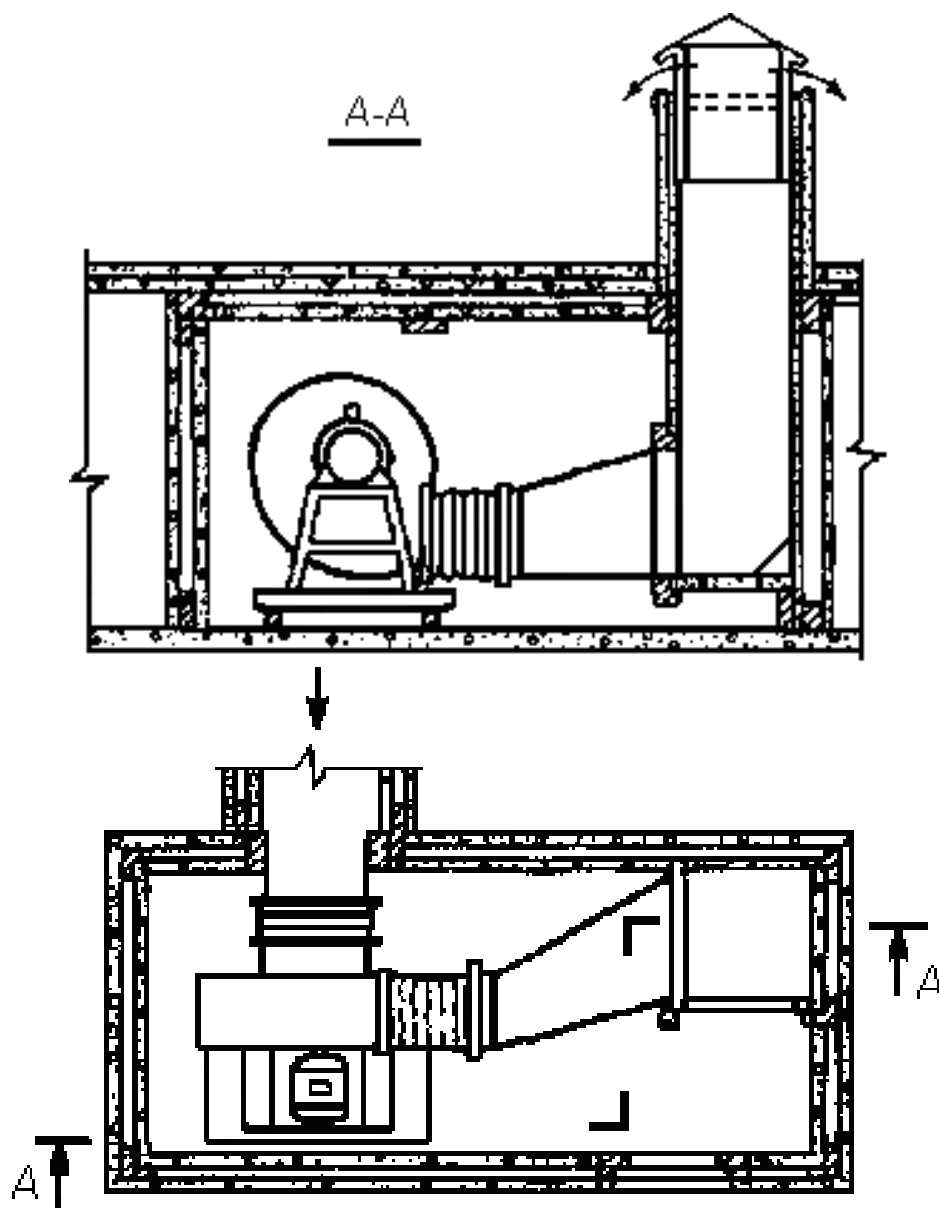


Рис. 3.6. Вытяжная камера

Вытяжной вентилятор можно устанавливать и снаружи здания на кронштейне, вмонтированном в стену. В случаях, когда шум, создаваемый им, не является помехой (например, в помещениях с высоким собственным уровнем шума или в помещениях, где производственный процесс проходит без присутствия людей), вытяжной вентилятор можно размещать внутри обслуживаемого помещения также на кронштейне (рис. 3.7).

Высота вентиляционных камер должна быть больше высоты оборудования не менее чем на 0,8 м; проходы для обслуживания оборудования – шириной не менее 0,7 м. Камеры следует оборудовать электрическим освещением, лестницами, площадками, люками для доступа к оборудованию и трубопроводам, подъемно-транспортными средствами. В зданиях с большим числом вентиляционных систем (более пяти) предусматривается помещение для ремонта оборудования.

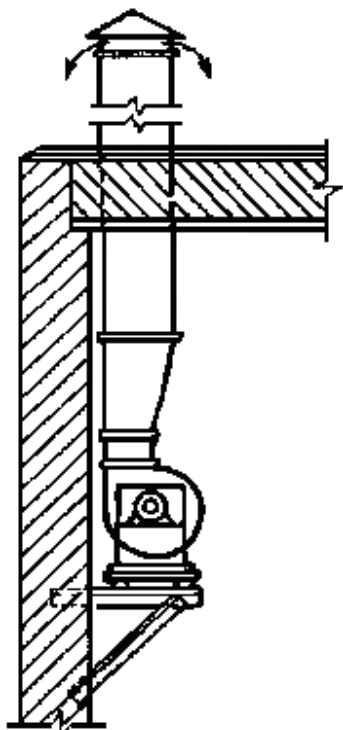


Рис. 3.7. Размещение вытяжного вентилятора

Работой вентиляционных систем управляют со специальных пультов с использованием автоматики и устройств дистанционного контроля.

3.6. Устройства для борьбы с шумом и вибрацией в системах вентиляции

Вентиляционные системы при работе создают довольно высокие уровни шума и вибрации, поэтому проектированию устройств по борьбе с шумом и вибрацией обычно уделяется большое внимание (кроме случаев, когда шум не является помехой). В помещениях, а также на территориях жилых и промышленных объектов уровень шума нормируется исходя из допустимого воздействия его на организм человека. Вибрация нормируется по воздействию как на человека, так и на технические объекты.

Источники возникновения шума и вибрации в вентиляционных установках – вентиляторы и электродвигатели, а также движение воздуха в воздуховодах и выход его из отверстий.

Самое эффективное средство борьбы с шумом и вибрацией – снижение их прежде всего в месте возникновения, а затем поглощение при распространении.

Шум и вибрацию можно снизить с помощью следующих мероприятий:

- установить вентиляторы с наиболее совершенными акустическими характеристиками (например, с лопатками, загнутыми назад);
- выбрать вентиляторы с наибольшими КПД, с минимальной окружной скоростью рабочего колеса

$$v = \omega r = \frac{\pi n d}{30 \cdot 2} = \frac{\pi n d}{60} < 30 \text{ м/с},$$

т.е. вентиляторы с малым числом оборотов и малым диаметром рабочего колеса;

– тщательно балансировать рабочее колесо для уменьшения центробежных сил.

Снижение шума по пути его распространения достигается уменьшением скорости движения воздуха в воздуховодах или облицовкой внутренних поверхностей воздуховодов звукопоглощающим материалом (ЗПМ) (стекловолокно, минеральный войлок и др.) (см. рис. 3.5, поз. 9). Более современное средство шумопоглощения – применение глушителей (рис. 3.8), принцип действия которых основан на превращении звуковой энергии в тепловую вследствие трения.

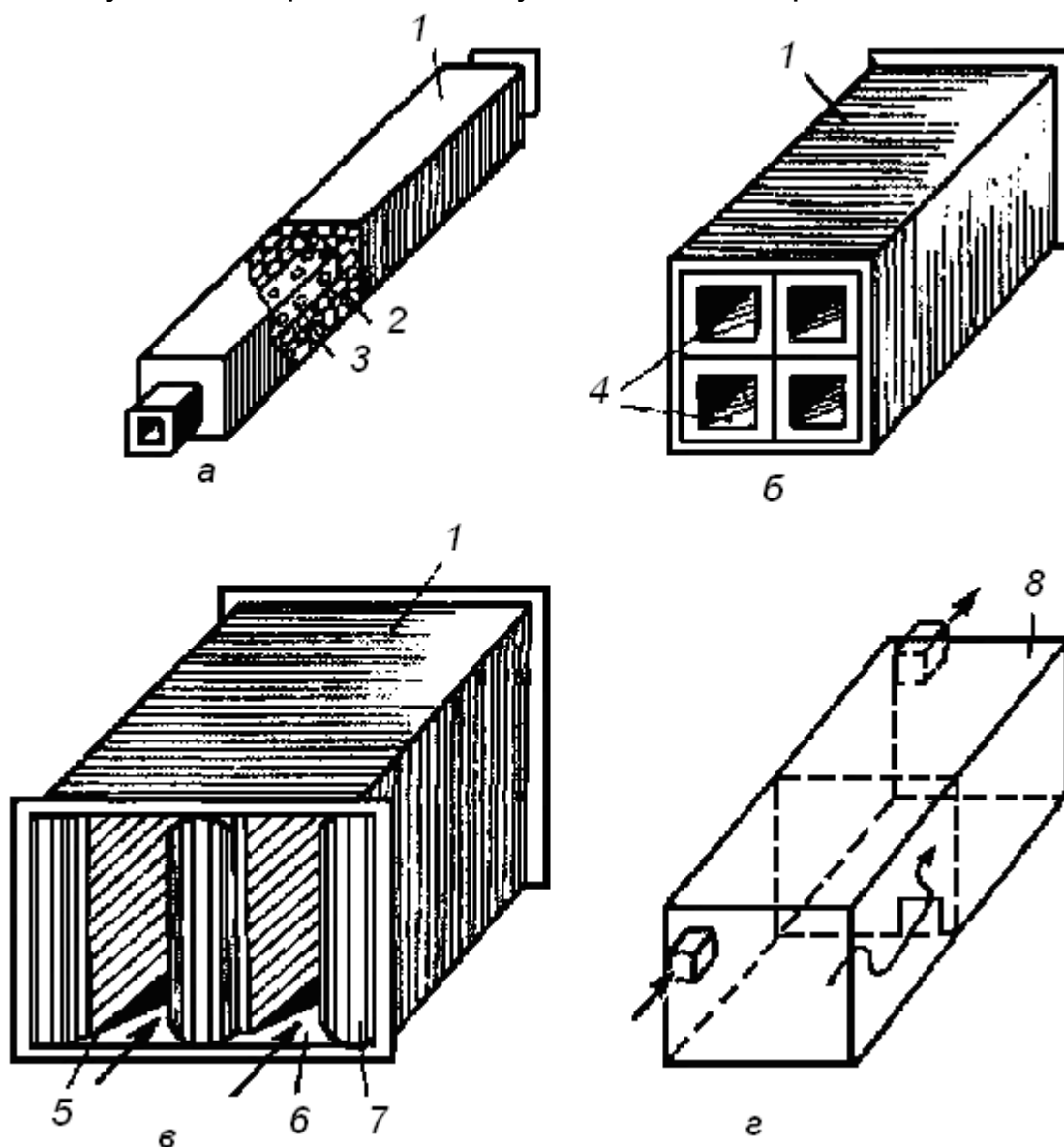


Рис. 3.8. Конструкции глушителей шума: 1 – кожух; 2 – звукопоглощающий материал; 3 – воздуховод; 4 – звукопоглощающие ячейки; 5 – звукопоглощающие пластины; 6 – каналы для прохода воздуха; 7 – обтекатели; 8 – камера

По конструкции глушители шума в воздуховодах разделяют на трубчатые (см. рис. 3.8, а), сотовые (см. рис. 3.8, б), пластинчатые (см. рис. 3.8, в) и камерные (см. рис. 3.8, г).

Воздух, проходя через перфорированные воздуховоды или каналы, ячейки или камеры, обтекает ЗПМ. В качестве ЗПМ используют мягкие листы из супертонкого стекловолокна (СТВ), минераловатные плиты (ПМ) и другие материалы.

Толщина звукопоглощающего слоя в сотовых и трубчатых глушителях составляет 100 мм, в пластинчатых – 100 ... 400 мм. Конструкцию шумоглушителей и звукоизоляцию стен вентиляционных камер выбирают на основе специальных акустических расчетов.

Для снижения передачи вибрации вентилятор соединяют с воздуховодами патрубками из прорезиненного брезента 3, в местах соединения вставляют резиновые прокладки. Вентиляционные агрегаты устанавливают на виброизоляторах.

При числе оборотов рабочего колеса до 1800 об/мин рекомендуется использовать пружинные изоляторы, имеющие стабильные упругие свойства, допускающие большую деформацию и хорошо ослабляющие колебания низких частот.

При больших числах оборотов можно применять резиновые виброизоляторы.

3.7. Очистка вентиляционного воздуха от пыли

Характер и количество пыли в наружном воздухе зависят от степени благоустройства и расположения населенного пункта, интенсивности движения транспорта, технологических процессов промышленных предприятий и их выбросов в атмосферу и т.д.

Атмосферный воздух считается чистым, если среднесуточная концентрация пыли в нем не превышает $0,15 \text{ мг/м}^3$; слабо загрязненным – $0,5 \text{ мг/м}^3$; сильно загрязненным – 1 мг/м^3 , чрезмерно загрязненным – 3 мг/м^3 .

Если загрязненность наружного воздуха превышает 30% ПДК пыли для помещений, то в приточных системах вентиляции его необходимо очищать. Особо тщательная очистка воздуха требуется для предприятий радиоэлектронной промышленности, точной механики и оптики и др. Кроме того, очистка приточного воздуха защищает вентиляционное оборудование от запыления.

При выделении пыли в помещении воздух нуждается в очистке в целях защиты окружающей среды. Допустимое содержание пыли в воздухе, выбрасываемом системами вентиляции при объеме выбрасываемого воздуха, ограничивается следующими нормами:

более $15 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$

$$c = 10k ,$$

до 15 тыс. м³/ч

$$c = (160 - 4V),$$

где c – допустимая концентрация пыли, мг/м³; V – объем удаляемого воздуха, тыс. м³/ч; k – коэффициент, зависящий от ПДК пыли (табл. 3.1).

Таблица 3.1

c , мг/м ³	$c \leq 2$	$2 < c \leq 4$	$4 < c \leq 6$	$c > 6$
k	0,3	0,6	0,8	1

В некоторых случаях вытяжной воздух очищают также для улавливания пыли, являющейся сырьем или продуктом производства (мучная, сахарная, табачная).

Выбор способа очистки воздуха зависит от характера, концентрации и дисперсности пыли (размера ее частиц), а также от технических характеристик обеспыливающих устройств – степени очистки, пропускной способности, пылеемкости, аэродинамического сопротивления и расхода энергии.

Степень очистки определяют коэффициентом очистки

$$\varepsilon = \frac{G_H - G_K}{G_H},$$

где G_H и G_K – концентрация пыли в воздухе до и после очистки, мг/м³.

Пропускная способность обеспыливающего устройства характеризуется количеством воздуха, которое можно при очистке пропускать через 1 м² его рабочей поверхности или сечения.

Площадь рабочей поверхности или сечения параллельно устанавливаемых обеспыливающих устройств (например фильтров) рассчитывают по формуле

$$F_{\phi} = \frac{V}{V_{\phi}},$$

где V – количество воздуха, подлежащее очистке, м³/ч; V_{ϕ} – пропускная способность устройства, м³/чм².

Пылеемкость – это количество пыли, которое может улавливать устройство за период между чистками. По размеру улавливаемых частиц пыли различают грубую, среднюю и тонкую очистки.

При грубой очистке улавливается крупная пыль с частицами размером более 100 мкм, при тонкой – менее 10 мкм.

Для очистки приточного воздуха применяют фильтры, удерживающие пыль своей пористой средой; для очистки выбросного воздуха – пылеуловители, осаждающие пыль в своем объеме вследствие гра-

витационных, инерционных (центробежных) и электрических сил.

Для очистки сильно загрязненного воздуха устанавливают несколько пылеуловителей и фильтров, тонкость очистки воздуха которыми по ходу его движения возрастает. Такая мера обеспечивает защиту фильтров тонкой очистки от забивания крупной пылью, увеличивает срок их действия и улучшает качество очистки.

Коэффициент очистки воздуха последовательно установленными обеспыливающими устройствами (1, 2, ... , n) выражается формулой

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2) \dots (1 - \varepsilon_n).$$

3.8. Фильтры

По эффективности действия фильтры подразделяют на три класса. Фильтры I класса задерживают частицы пыли всех размеров (коэффициент очистки составляет не менее $\varepsilon = 0,99$), фильтры II класса – частицы размером более 1 мкм ($\varepsilon > 0,85$), фильтры III класса – частицы размером более 10 ... 50 мкм (ε не менее 0,6).

Основные виды фильтров, применяемых в системах вентиляции: сухие пористые, смоченные пористые и электрические. Они отличаются по конструкции, принципу действия, способу регенерации (восстановления).

Необходимый тип серийно выпускаемых фильтров можно подобрать по справочной литературе (справочники, атласы, каталоги), где указаны:

- класс фильтра;
- рекомендуемая и допустимая пропускная способность;
- аэродинамическое сопротивление, Па (для расчета необходимого напора, создаваемого вентилятором);
- допустимая и предельная начальная запыленность очищаемого воздуха G_H , мг/м³;
- пылеемкость фильтра, г/м²;
- габариты и конструктивные размеры фильтра.

3.8.1. Сухие пористые фильтры

Из сухих пористых фильтров наиболее широко применяются в системах вентиляции рулонные ФРУ, ФРП (III класс), ячейковые ФЯП (III класс), ЛАИК (I класс – с материалом ФП) и рукавные.

Рулонные фильтры ФРУ, ФРП (рис. 3.9) представляют собой коробчатый каркас, имеющий барабаны в верхней и нижней частях катушки. На верхнюю катушку наматывают фильтрующий материал в виде рулона, полотнище которого закрепляют на нижней катушке. Воздух, проходя через полотнище рулона, очищается.

По мере накопления в фильтрующем материале пыли его сопро-

тивление возрастает. При достижении расчетного сопротивления (60 Па) фильтрующий материал перематывается с нижнего барабана на верхний, одновременно происходит его пневматическая очистка. Фильтры ФРУ используют при запыленности атмосферного воздуха до 1 мг/м^3 ; ФРП – до 6 мг/м^3 .

Ячейковые фильтры – это коробка, в которую уложен фильтрующий материал с большой поверхностью; через него пропускают очищаемый воздух. В качестве фильтрующего материала применяют волокно, тонкие керамические пластинки.

В фильтрах ФЯП наполнитель – слой модифицированного пенополиуретана (20 ... 25 мм), обработанный раствором щелочи.

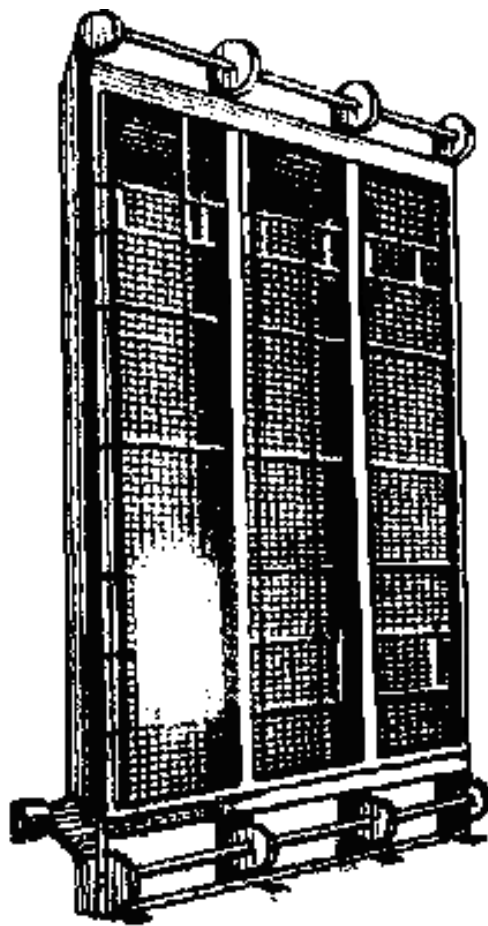


Рис. 3.9. Рулонный фильтр ФРУ

Для сверхтонкой очистки воздуха от радиоактивных, токсичных, бактериальных и других высокодисперсных аэрозолей применяют ячейковые фильтры ЛАИК с материалом ФП (тканью И.В. Петрянова), которые обеспечивают практически полную стерильность очищенного воздуха.

Материал ФП представляет собой слой ультратонких волокон, нанесенных на основу из ПВХ (перхлорвинил). При прохождении воздуха материал фильтра приобретает электрический заряд, что улучшает его фильтрующие свойства.

Фильтры с материалом ФП оформляют в виде набора рамок, между которыми уложен фильтрующий слой; рамки вставляют внутрь

короба прямоугольной формы (рис. 3.10). Перед такими фильтрами обязательно должен быть установлен фильтр предварительной очистки III или II класса.

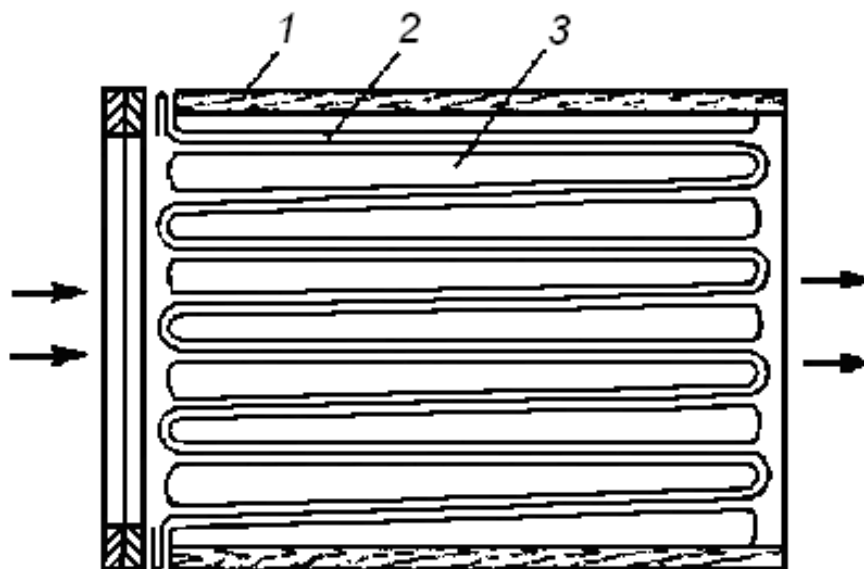


Рис. 3.10. Фильтр с материалом ФП: 1 – короб; 2 – винипластовая пленка; 3 – материал ФП

Широко используют рукавные фильтры – цельнотканые или сшитые, с распорными кольцами и без них.

3.8.2. Смоченные пористые фильтры

Для повышения эффективности очистки рабочую поверхность фильтров смачивают маслом или водно-глицериновым раствором. Например, применяют масляные фильтры с сетками, между которыми находятся смоченные в масле металлические или фарфоровые кольца (рис. 3.11).

В ячейковых масляных фильтрах ФЯР (рис. 3.12) фильтрующий элемент – металлические сетки с различными отверстиями: 2,5 мм (пять), 1,2 мм (четыре) и 0,63 мм (три). Сетки укладывают в ячейку так, чтобы по ходу воздуха размер отверстий сеток уменьшался.

Перед установкой фильтр опускают в ванну с маслом. После стекания излишка масла его ставят на место. По достижении сопротивления 1,5 МПа фильтр снимают и чистят, промывая ячейки сначала 10%-ным содовым раствором с $t \approx 60^\circ\text{C}$, затем горячей водой.

В фильтрах ФЯВ ячейки заполняют гофрированными винипластовыми сетками, а с наружных сторон – стальными. Их можно использовать в сухом и смоченном состояниях.

В фильтрах ФЯУ в качестве фильтрующего слоя используют упругий материал из стекловолокна марки ФСВУ.

Рис. 3.11. Масляный
фильтр с кольцами

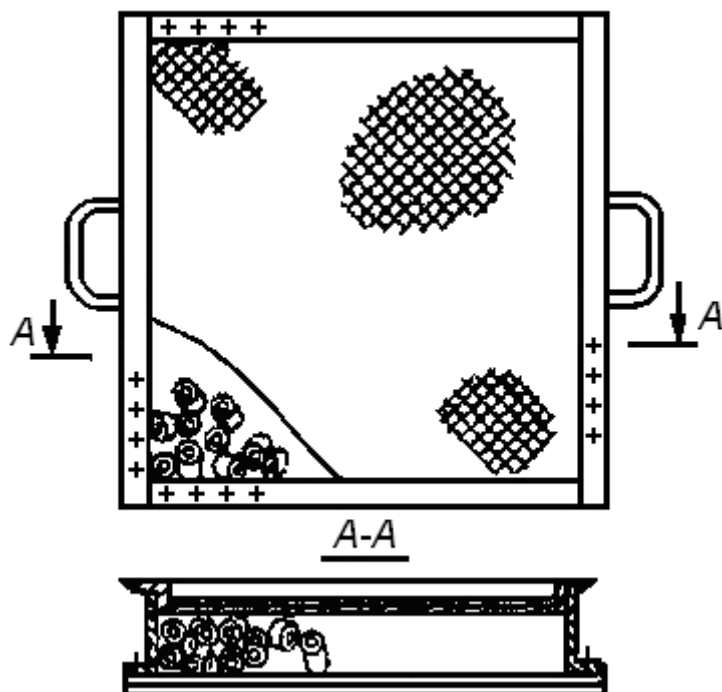
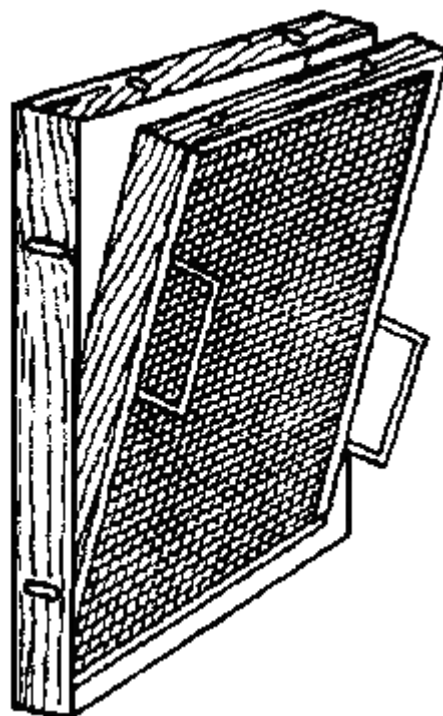


Рис. 3.12. Фильтр ФЯР



В устройствах вентиляции широко распространены самоочищающиеся масляные фильтры КТ и КД.

Схемы их устройства (рис. 3.13) аналогичны схемам рулонных фильтров, только вместо рулонных полотнищ в самоочищающемся фильтре установлены две бесконечные проволочные сетки. Каждая сетка натянута между двумя валиками. Верхний валик – ведущий, приводится во вращение электродвигателем. Вращение передается нижнему валику, который погружен в масляную ванну.

Воздух очищается, проходя последовательно через две смоченные маслом сетки. Последние проходят через масляную ванну, где

осаждается осевшая на них пыль и смачивается фильтр.

Все рассмотренные смоченные пористые фильтры – это фильтры III класса.

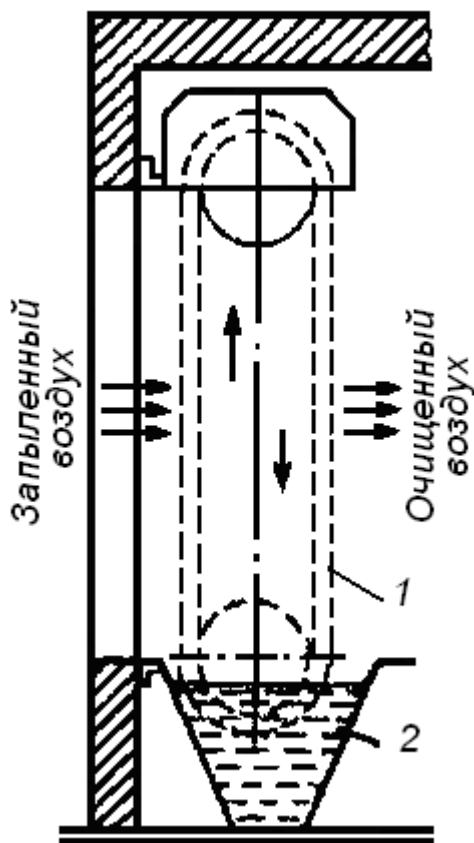


Рис. 3.13. Самоочищающийся масляный фильтр

3.8.3. Электрические фильтры

В них очищаемый воздух ионизируется в электрическом поле высокого напряжения (до 15000 В). Частицы пыли, получившие заряд, притягиваются к электроду с противоположным знаком заряда. В результате, пройдя между двумя электродами, воздух очищается от пыли. Осевшая пыль стекает в бункер или удаляется путем встряхивания.

Электрофильтры обеспечивают высокую степень очистки (II класс), однако дороги в эксплуатации.

3.9. Гравитационные пылеуловители

Пылеуловители предназначены для улавливания технологической пыли и очистки выбросного вентиляционного воздуха. Простейшие пылеуловители – пылеосадочные камеры (рис. 3.14, а). Пыль в них осаждается за счет силы тяжести при снижении скорости движения воздуха в камере (гравитационные устройства). Для повышения эффективности и уменьшения длины камеры ее разбивают на каналы или устраивают лабиринты (рис. 3.14, б).

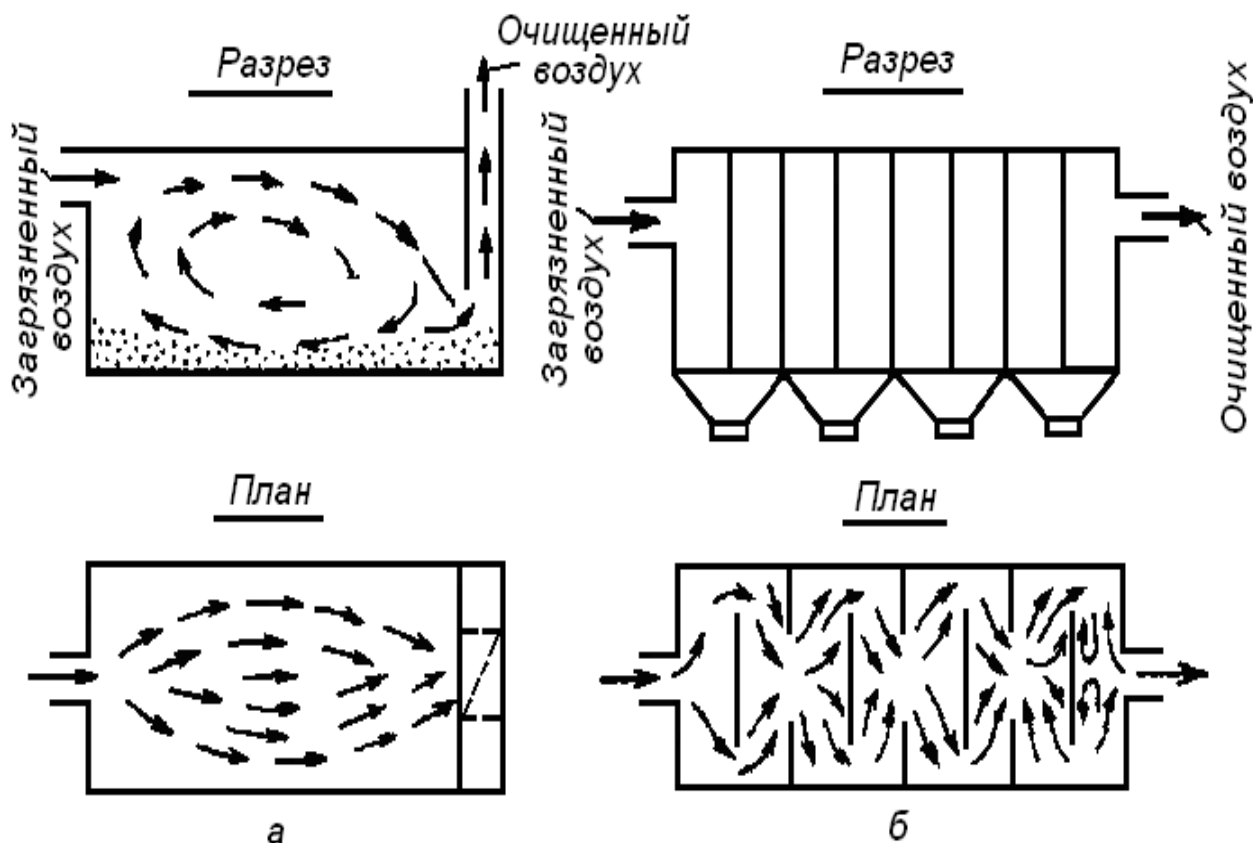


Рис. 3.14. Пылеосадочная камера

В пылеосадочных камерах в основном осаждается грубодисперсная пыль с размером частиц более 20 мкм. Эффективность очистки в них невелика (0,55 – 0,6).

3.10. Проектирование инерционных устройств для очистки воздуха от пыли

В качестве пылеуловителей также широко применяются инерционные устройства (циклоны, ротационные пылеуловители, ПРП – противопоточные ротационные пылеотделители), в которых пыль осаждается под действием центробежных сил.

Из инерционных аппаратов центробежного действия наиболее распространены циклоны (рис. 3.15), в которых частицы пыли выделяются под действием центробежных сил в процессе вращения газового потока в корпусе аппарата.

Запыленный газовый поток поступает в циклон через входной патрубок и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. Под действием центробежных сил пыль отбрасывается к стенкам корпуса и сыпается в бункер. Очищенный от пыли газовый поток разворачивается в бункере на 180° и покидает циклон через выходную трубу.

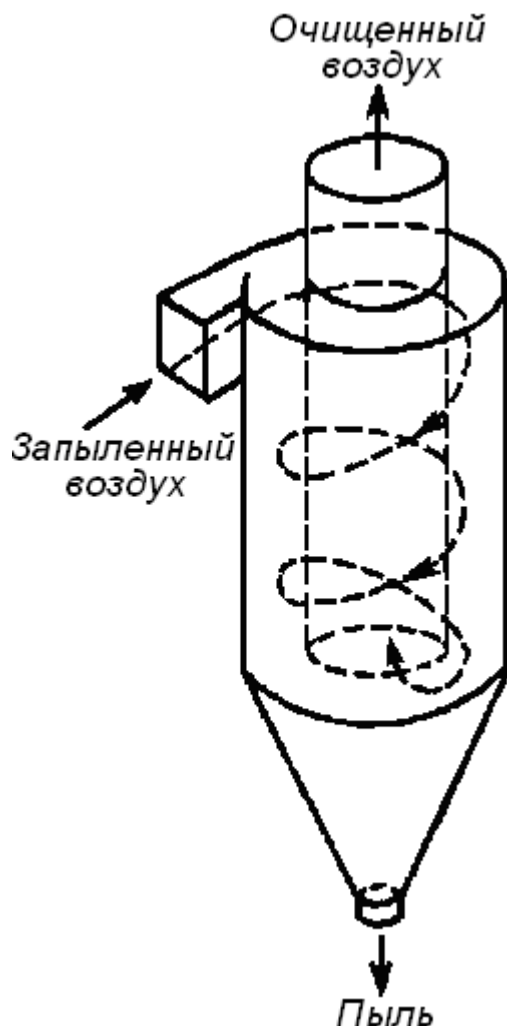


Рис 3.15. Циклон

Циклоны используют в цементной, угольной, химической, металлургической промышленности для очистки газов от пыли с размерами частиц больше 10 мкм или в качестве первой ступени очистки перед пылеуловителями более интенсивного действия.

Для очистки больших объемов газов применяют батарейные циклоны (мультициклоны), которые состоят из большого числа циклонных элементов, установленных параллельно и размещенных в общем корпусе.

В СНГ газы очищают в основном типовыми циклонами НИИОГАЗа. Существует два типа этих циклонов:

- цилиндрические – ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 (рис. 3.16, а),
- конические – СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М, СДК-ЦН-33 (рис. 3.16, б).

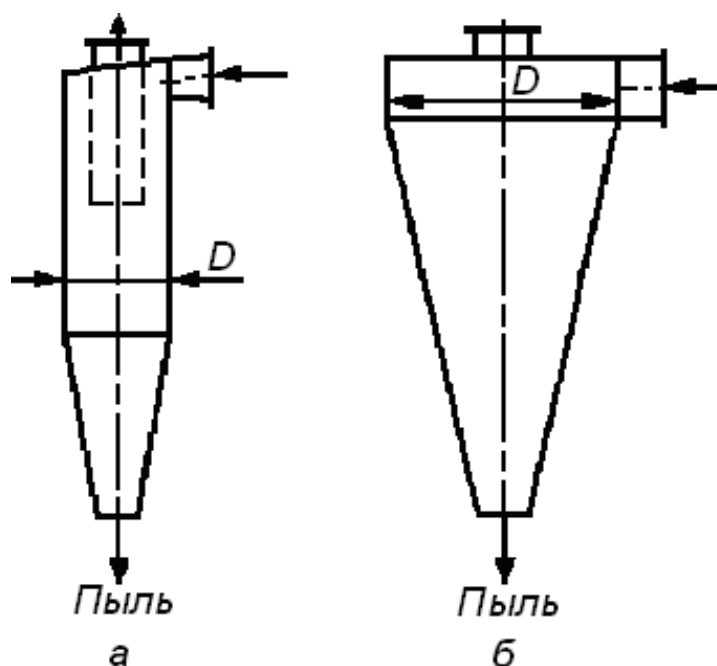
Циклоны представляют собой конструкции, сваренные из стальных листов и труб.

Для циклонов принят следующий стандартный ряд внутренних диаметров D : 200, 300, ... , 1000, 1200, ... , 2000, 2400, 3000 мм. Остальные геометрические размеры цилиндрических и конических циклонов вычисляют по каталогам в долях диаметра D .

Цилиндрические циклоны НИИОГАЗа предназначены для улавливания золы из дымовых газов котельных, работающих на твердом топливе, пыли из сушилок и т.п. при начальной запыленности

0,8 ... 400 г/м³. Избыточное давление газов, поступающих в циклоны, не должно превышать 2500 Па. Температура газов во избежание конденсации паров жидкости выбирается на 30 ... 50°С выше точки росы, а по условиям прочности конструкции (тепловые деформации) – не выше 400°С.

Рис. 3.16. Цилиндрические и конические циклоны



Производительность циклона зависит от его диаметра D и увеличивается с ростом диаметра. Циклоны серии ЦН имеют производительность 100 ... 68 000 м³/ч, гидравлическое сопротивление 750 Па и обеспечивают эффективность очистки 0,83 ... 0,975 для пыли с размером частиц более 10 мкм. Наиболее эффективно циклоны очищают газ от пыли с размером частиц больше 20 мкм.

Конические циклоны НИИОГАЗа серии СК предназначены для очистки газов от сажи и обладают большей эффективностью очистки по сравнению с циклонами ЦН вследствие большего гидравлического сопротивления циклонов серии СК. Входная концентрация сажи на входе в конические циклоны не должна превышать 30 ... 50 г/м³.

Методики подбора типовых циклонов описаны в литературе, например в работе [23].

К аппаратам инерционного действия относят также ротационные пылеуловители, которые могут очищать воздух от пыли с размерами частиц больше 5 мкм. Такие пылеуловители очень компактны, так как вентилятор, прокачивающий воздух через аппарат, устанавливают вместе с пылеуловителем в одном корпусе. В циклонных установках для размещения вентиляторов требуется дополнительная площадь в машинном зале.

Конструктивная схема простейшего ротационного пылеуловителя показана на рис. 3.17.

При вращении вентиляторного колеса 1 с угловой скоростью ω

частицы пыли под действием центробежных сил отбрасываются к стенке спирального кожуха 2, движутся по ней к пылеприемному отверстию 3 и отводятся в пылевой бункер. Очищенный от пыли газ поступает в выхлопную трубу 4.

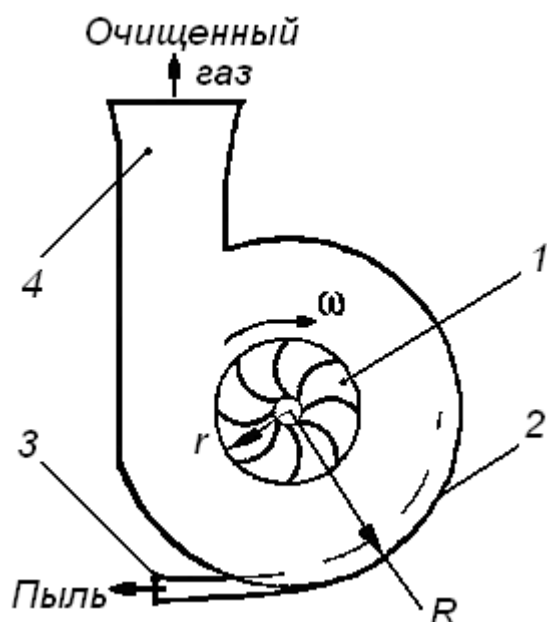


Рис. 3.17. Ротационный пылеуловитель

Центробежная сила, действующая на частицу пыли массой m , расположенную на радиусе r , равна $F_{цб} = mr\omega^2$, значит для повышения эффективности таких пылеуловителей можно:

- увеличить скорость очищаемого потока в кожухе (путем увеличения скорости вращения колеса вентилятора ω). Однако это может привести к резкому повышению гидравлического сопротивления аппарата;

- уменьшить радиус кривизны спирали кожуха (расстояние от оси до стенки кожуха R ; увеличивается, поэтому возрастает путь осаждения частиц пыли и снижается производительность пылеуловителя, что является недостатком пылеуловителя).

Пылеуловители такой конструкции обеспечивают достаточно высокую эффективность очистки воздуха только при улавливании сравнительно крупных частиц пыли (свыше 20 ... 40 мкм).

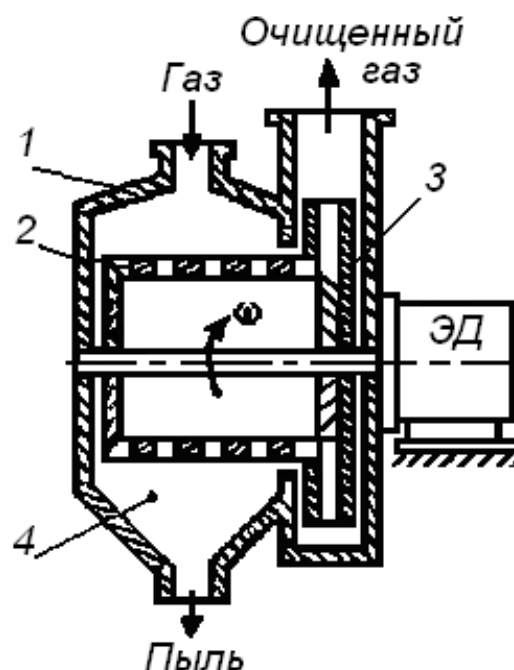
Более перспективны противопоточные ротационные пылеотделители (ПРП) (рис. 3.18). Они предназначены для очистки воздуха от частиц пыли размером больше 5 мкм.

Пылеотделитель состоит из размещенного в кожухе 7 ротора 2 и колеса вентилятора 3, которые насажены на общий вал. Ротор имеет перфорированную поверхность (поверхность с отверстиями).

При вращении вала вентилятор засасывает запыленный воздух внутрь кожуха. В последнем пылевой поток закручивается вокруг ротора. Поэтому возникают центробежные силы, отбрасывающие частицы пыли в радиальном направлении. Одновременно на эти части-

цы в противоположном направлении действуют силы аэродинамического сопротивления. Частицы, у которых центробежные силы больше сил аэродинамического сопротивления, отбрасываются к стенкам кожуха и поступают в бункер 4. Очищенный воздух через перфорацию ротора отсасывается вентилятором и затем выводится наружу.

Рис. 3.18. Противопоточный ротационный пылеотделитель



Эффективность очистки ПРП зависит от выбранного соотношения между центробежными силами и силами аэродинамического сопротивления и теоретически может достигать единицы (практически 0,8 – 0,99). Центробежные силы – это функция от числа оборотов n и радиуса ротора R . Силы аэродинамического сопротивления зависят от скорости просасывания воздуха через перфорацию ротора, т.е. от производительности вентилятора Q_v , м³/с.

Производительность в ПРП определяется формулой И.А. Шепелева, полученной исходя из равенства центробежных сил и сил аэродинамического сопротивления для частицы пыли:

$$Q_v = \frac{400\pi b w^2 \rho_p d_c^2}{\rho_e V}, \quad (3.1)$$

где ρ_p , ρ_e – плотность пыли и воздуха, кг/м³; d_c – диаметр улавливаемых частиц, м; V – коэффициент кинематической вязкости, м²/с;

w – окружная скорость, м/с; $b = \frac{id_0^2}{8R}$ – приведенная ширина всасывающего отверстия ротора, м

($\frac{id_0^2\pi}{4}$ – сумма площадей отверстий перфорации ротора; $(2\pi R)$ – длина окружности ротора; b – их отно-

шение).

Из этой формулы можно найти наименьший диаметр частиц пыли, улавливаемых данным ПРП:

$$d_{min} = \frac{1}{20w} \sqrt{\frac{\rho_{\text{с}} V}{\rho_{\text{п}} \pi b} Q_v}. \quad (3.2)$$

Преимущества ротационных пылеуловителей перед циклонами:

- габаритные размеры ротационных пылеуловителей в 3 – 4 раза меньше;
- удельные затраты на очистку 1000 м³ газа у циклонов на 20 ... 40% больше.

Недостатки ротационных пылеуловителей – сложность конструкции и эксплуатации.

Эффективность очистки воздуха значительно повышается при использовании мокрых пылеуловителей, скрубберов, циклонов-промывателей и т.п., в которых для смывания пыли со стенок применяют воду.

В скрубберах (рис. 3.19) вода распыляется специальной оросительной системой с форсунками, в результате чего на стенках внутри цилиндра образуется постоянно стекающая вниз пленка, смывающая загрязнения.

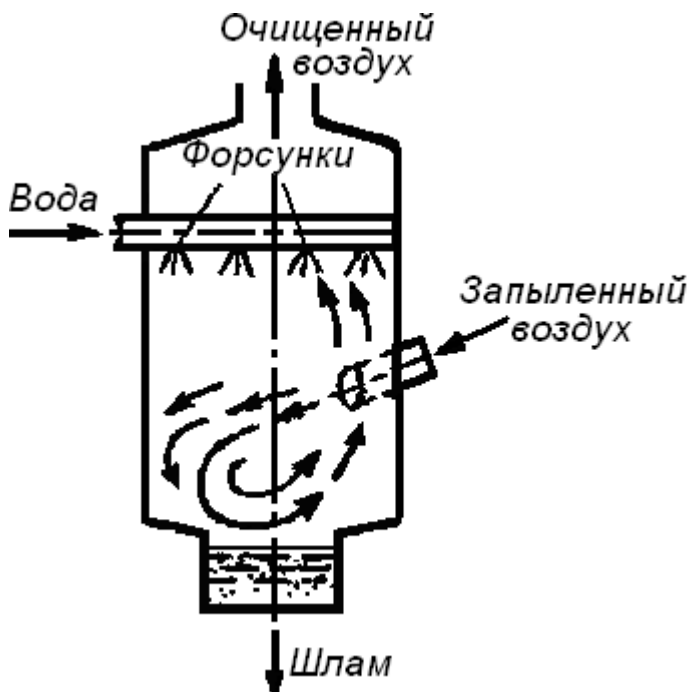


Рис. 3.19. Скруббер

В циклонах-промывателях вода распыляется во входном патрубке.

3.11. Нагрев воздуха в системах вентиляции

Для нагревания воздуха в приточных вентиляционных системах применяют калориферы: КВ, обогреваемые водой, и КП, обогреваемые

мые паром.

Калорифер (рис. 3.20) состоит из трубок для теплоносителя (воды или пара) 4, оребренных пластинами 3, двух коллекторов 2 – металлических коробок для распределения теплоносителя по трубкам и сбора его. Предусмотрены также два штуцера 1 и 5 для присоединения калорифера к трубопроводам теплоносителя.

Кроме калориферов, обогреваемых водой и паром, выпускают электрокалориферы, представляющие собой стальную раму с натянутыми на нее спиралями, которые нагреваются электрическим током и отдают тепло проходящему около них воздуху.

В других конструкциях электрокалориферов нагревательным элементом служат трубки (иногда с оребрением для увеличения поверхности теплоотдачи), внутри них находится омическое сопротивление. Трубки располагаются в несколько рядов в шахматном порядке и омываются нагреваемым воздухом.

Мощность электрокалориферов, выпускаемых как секции к центральным кондиционерам, составляет 10, 50, 150 и 200 кВт, питание осуществляется электрическим током 220 и 380 В. Конструкция электрокалориферов предусматривает возможность регулирования теплоотдачи за счет включения части мощности по сравнению с номинальной.

Проектирование калориферной установки сводится к определению необходимой площади теплоотдающей поверхности и числа калориферов. Если одного калорифера недостаточно для нагрева воздуха до необходимой температуры, то устанавливают два или несколько калориферов (рис. 3.21). Для слабого подогрева большого количества воздуха калориферы устанавливают параллельно (рис. 3.21, а). Если воздух надо нагреть на 40°C и более, их устанавливают последовательно (рис. 3.21, б).

При больших расходах воздуха, нагреваемых на значительную разность температур, калориферы устанавливают по смешанной схеме, т.е. несколько параллельных рядов калориферов располагают последовательно один за другим.

Использование для конкретных условий различных схем установки калориферов дает различные эксплуатационные и строительные экономические показатели. В связи с этим окончательный вывод об экономичности того или другого способа соединения калориферов в группу можно получить в результате сравнения расходов на строительство, ремонт и стоимость затрачиваемой энергии.

Решающий фактор чаще всего – необходимый перепад температур воздуха в установке и конструктивные соображения. Так, в центральных кондиционерах предусматривается последовательная схема расположения калориферов по ходу движения воздуха, а в установках, состоящих из паровых калориферов, – обводный канал с клапаном для регулирования теплосъема с калорифера. Изменяя соотношение количества воздуха, проходящего через калорифер, и воз-

духа, идущего в обход его, добиваются получения нужной температуры смеси из калорифера.

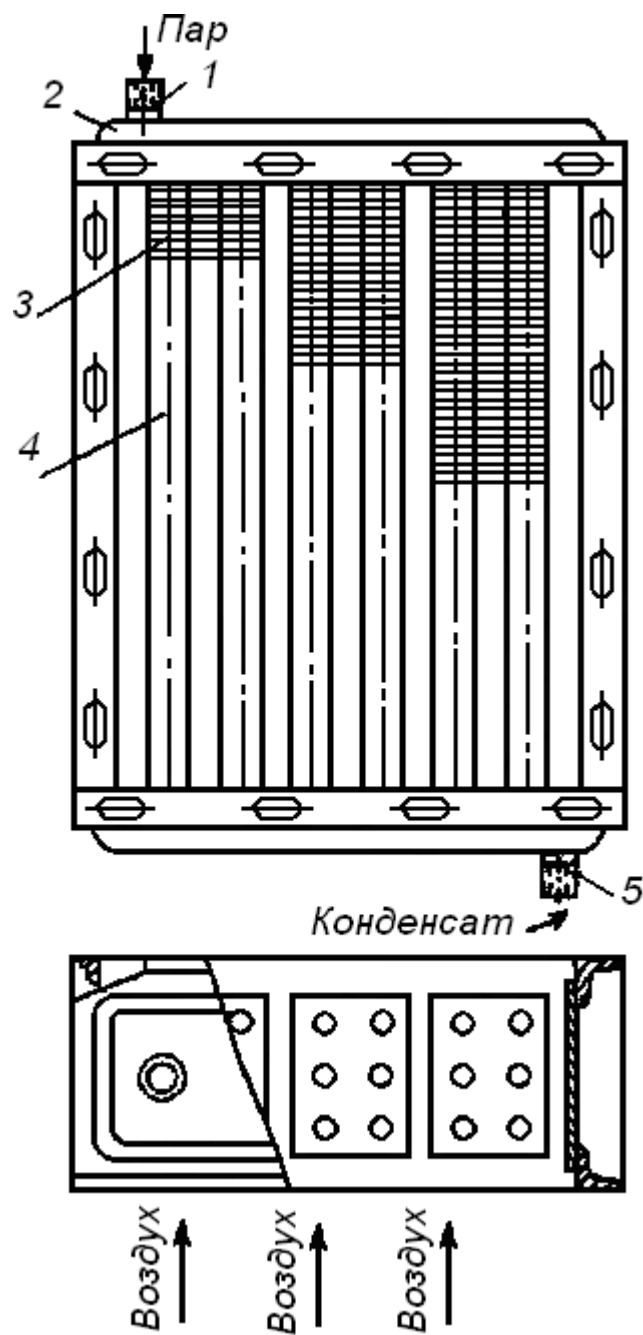
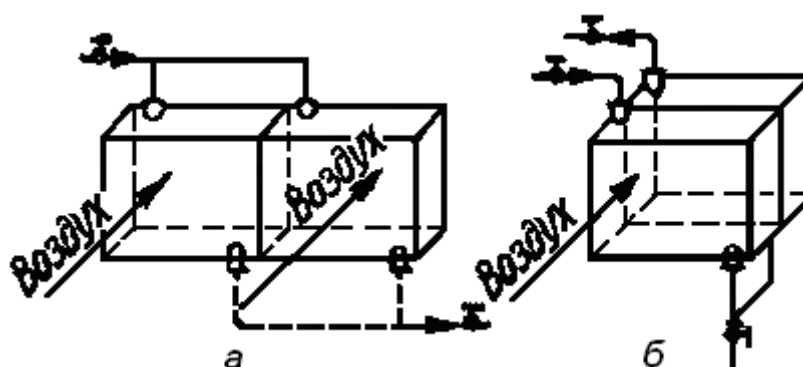


Рис. 3.20. Калорифер

Рис. 3.21. Схемы
установки
калориферов



Для паровых калориферов такое устройство регулирования их теплоотдачи необходимо, так как регулировка теплосъема путем изменения температуры пара практически исключается. В установках водяных калориферов устройство обводного канала необязательно, потому что теплоотдача калориферов регулируется путем изменения температур теплоносителя. Однако и здесь при наличии обводного канала улучшаются условия регулирования теплосъема и в некоторых случаях повышается экономичность системы.

По ходу движения теплоносителя различают такие же три схемы подключения, что и при установке калориферов по ходу движения воздуха. При этом включение калориферов в сеть для подачи теплоносителя может быть выполнено различными способами независимо от расположения их по ходу движения воздуха. При последовательном включении калориферов в тепловую сеть их живое сечение по теплоносителю (воде) меньше, чем при параллельном. Следовательно, скорость движения теплоносителя будет больше.

Если в качестве теплоносителя применяется вода, то увеличение скорости ее движения вызывает интенсификацию теплопередачи, но вместе с тем требует большего напора в сети. Поэтому в разных условиях используют различные схемы подключения калориферов к трубопроводам.

Если в качестве теплоносителя используют пар, то увеличение скорости его движения не оказывает существенного влияния на увеличение интенсивности теплопередачи. Кроме того, при последовательном подключении теплоотдача второго и последующих калориферов может резко упасть в связи с превращением пара в конденсат в первом калорифере. В связи с этим паровые калориферы подключают в сеть параллельно. Направление движения пара в калорифере принимается сверху вниз.

Кроме определения необходимой площади теплоотдающей поверхности и числа калориферов при расчете следует получить исходные данные для проектирования гидравлической части системы, т.е. сопротивления проходу воздуха через калорифер и теплоносителя по трубам.

Расчет калориферов ведется в следующем порядке:

1. Расход теплоты на нагрев воздуха

$$Q = c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} V (t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}) \text{ кДж/ч,}$$

где $c_{\text{в}}$ – удельная теплоемкость воздуха, кДж/кг $^{\circ}$ С (для сухого воздуха $c_{\text{в}} = 1$ кДж/кг $^{\circ}$ С); V – расчетный расход воздуха, м 3 /ч (расчет воздухообмена в помещении – см. выше); $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, имеющего температуру, при которой определялся расход воздуха V , кг/м 3 ; $t_{\text{нач}}$ и $t_{\text{кон}}$ – температуры воздуха до и после нагревания, $^{\circ}$ С:

$$t_{\text{нач}} = t_{\text{нар}}, \quad t_{\text{кон}} = t_{\text{пр}},$$

где $t_{нар}$ – температура наружного воздуха по параметрам A для данного района (по СНиП 2.04.05-91 [20]); $t_{пр}$ – температура приточного воздуха (для холодного периода $t_{пр} = 18 \dots 20^\circ\text{C}$).

2. Необходимая площадь поверхности нагрева калориферов

$$F = \frac{0,28Q}{k(t_{ср.м} - t_{ср.в})} \text{ м}^2,$$

где k – коэффициент теплопередачи калориферов, $\text{Вт/м}^2\text{°C}$; $t_{ср.м}$ и $t_{ср.в}$ – средние температуры теплоносителя и воздуха, $^\circ\text{C}$.

Среднюю температуру теплоносителя $t_{ср.м}$ определяют как среднеарифметическое значение температур воды на входе t_2 и на выходе t_0 из калорифера; для пара $t_{ср.м}$ равна температуре насыщения пара при данном его давлении в трубах.

Средняя температура воздуха

$$t_{ср.в} = \frac{t_{нар} + t_{пр}}{2}.$$

Коэффициент теплопередачи рассчитывают при разных теплоносителях:

– для воды $k = B(v\rho_v)_{ср}^n w^m$,

– пара $k = C(v\rho_v)_{ср}^n$,

где B , C , n , m , r – коэффициенты и показатели степеней, зависящие от конструкции калорифера; w – скорость движения воды в трубах, м/с ; V – скорость воздуха, м/с .

Коэффициенты теплопередачи для различных конструкций калориферов приведены в справочной литературе в зависимости от $(v\rho_v)_{ср}$ и w .

Обычно при расчетах сначала задают скорость движения воздуха $(v\rho_v)_{ср}$, ориентируясь на ее оптимальное значение $7 \dots 10 \text{ кг/м}^2\text{с}$.

Затем определяют живое сечение калорифера для прохода воздуха:

$$f_{ж} = \frac{G}{3600(v\rho_v)_{ср}} \text{ м}^2,$$

где $G = V\rho_v$ – расход воздуха, кг/ч .

По этой же формуле находят $f_{ж}$ при последовательной установке калориферов. При параллельной установке m калориферов в знаменатель формулы добавляется число m .

По найденному $f_{\text{ж}}$ подбирают конструкцию калорифера и установки.

Скорость движения воды в калориферах определяют по выражению

$$w = \frac{Q}{3600 \cdot 1000 c f_{\text{мп}} (t_{\text{е}} - t_0)} \text{ м/с,}$$

где Q – теплоотдача калорифера, кДж/ч; c – удельная теплоемкость воды, кДж/кг $^{\circ}$ С; $f_{\text{мп}}$ – общая площадь живого сечения трубок по воде, м 2 .

Расход теплоносителя

$$W = \frac{Q}{1000 c (t_{\text{е}} - t_0)} \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Сопротивление калорифера проходу воздуха

$$p = D (v \rho_{\text{в}})^z \text{ Па,}$$

где D и z – числа, зависящие от конструкции калорифера.

Сопротивление калориферов движению воды в трубках рассчитывают по справочной литературе.

При подборе калориферов запас на расчетную площадь нагрева F принимается в пределах 10% – для паровых и 20% – для водяных калориферов, на сопротивление проходу воздуха – 10%, на сопротивление движению воды – 20%.

Расчет электрических калориферов сводится к определению их установочной мощности N , Вт, для получения необходимой теплоотдачи Q , Вт (Q , Вт = $\frac{Q, \text{кДж} / \text{ч}}{3,6}$). Считают, что $N = Q$.

Во избежание перегрева трубок расход воздуха через электрокалориферы не должен быть меньше установленного для данного калорифера заводом-изготовителем.

Воздушно-тепловые и воздушные завесы. Воздушно-тепловые завесы – это устройства, препятствующие врыванию холодного воздуха через проходы или проемы в ограждениях, которые в соответствии с технологическим процессом должны быть постоянно или в течение длительного времени открытыми (ворота промышленных цехов; входы в вестибюли общественных зданий; проемы, через которые проходят транспортеры и т.д.). Такие завесы дают возможность поддерживать в холодный период года в помещениях требуемый по нормам температурный режим без значительного расхода тепла на нагрев врывающегося холодного воздуха.

Воздушные завесы (без подогрева воздуха) устраивают между помещениями с одинаковыми или близкими тепловыми режимами и используют для предотвращения доступа воздуха из одних помеще-

ний, где выделяются вредные пары или газы, в другие.

Принцип действия воздушно-тепловых завес можно проследить из схем устройства такой завесы у входа в здание. Воздух поступает из верхней зоны вестибюля, подогревается в калориферах до 50°C, подается вентилятором в воздухораспределительную камеру и далее через воздуховод равномерной раздачи выпускается у двери. Воздух выходит через щели или отверстия в воздуховоде. Образовавшаяся струя создает вертикальную воздушную завесу, высота которой принимается до 1,6 м от пола. Воздух выходит снизу у двери или сбоку на нужную высоту, а в воздушную завесу подается от приточной вентиляции без дополнительного подогрева.

Завесы по принципу и эффекту действия могут быть шиберного (шиберующего) и смесительного типов. В первом случае завеса максимально или полностью предотвращает (перекрывает) доступ воздуха в ограждаемое помещение; скорость воздуха из установки для создания таких завес должна быть высокой – до 25 м/с. Такие завесы устраивают при низкой температуре наружного воздуха и частом открывании дверей. В установках смесительного типа происходит смешивание врывающегося холодного воздуха с нагретым воздухом тепловой завесы. В результате через дверь и завесу в помещение поступает теплый воздух, не создающий ощущения холодного дутья.

Воздушные и воздушно-тепловые завесы рассчитывают по специальной методике. В результате для шиберующих завес должна быть получена необходимая скорость воздуха в струе, препятствующая прорыву в помещение наружного воздуха, а для смесительных завес – расход воздуха в струе, дающий нужное количество тепла для получения нормативной температуры смеси.

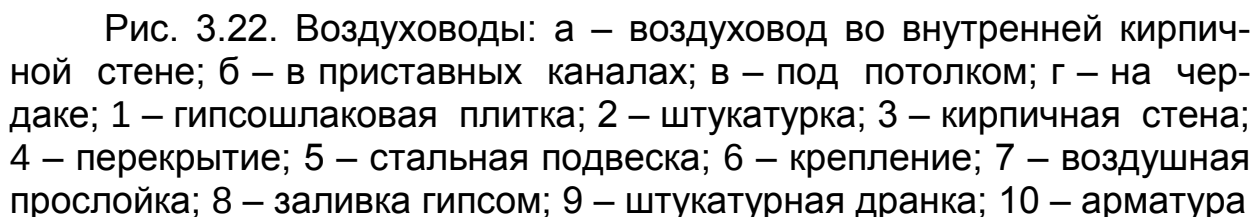
Методика учитывает температуру врывающегося и внутреннего воздуха, интенсивность прохода людей через защищаемый вход, размеры и конструкцию входа, тепловой напор воздуха.

3.12. Воздуховоды

Воздуховоды представляют собой каналы, по которым транспортируется вентиляционный воздух. Материал, размеры и форма их зависят от назначения и схемы вентиляционной системы, а также от параметров транспортируемого воздуха.

В вентиляционных системах применяют воздуховоды, изготовленные из стали, ставинила, железобетона, поливинилхлорида, полиэтиленовой пленки, винипласта и бумаги.

В системах вентиляции жилых, общественных и административных зданий, а также служебных и вспомогательных помещений промышленных предприятий используют воздуховоды, изготавливаемые из шлакоалебастровых, шлакобетонных, асбестоцементных, армоцементных и пластмассовых плит, кирпича, бетона и т.д. (рис. 3.22).



Стальные воздуховоды изготавливают круглого и прямоугольного сечений определенных размеров, установленных нормами, что позволяет заранее выполнять на монтажных заводах типовые детали некоторых элементов систем.

Круглые воздуховоды должны иметь гладкую внутреннюю поверхность. Фальцевые соединения так же, как и сварные швы, должны быть ровными. Воздуховоды круглого сечения в основном изготавливают механизированным путем на специальных станках.

86

Таблица 3.2

Диаметр воздуховода, мм	Толщина стенки, мм
100, 125, 140, 160, 180, 200	0,5
225, 280, 325, 355, 400, 450	0,6
500, 560, 630, 710, 800	0,7
900, 1000, 1200, 1250, 1400, 1600	1
1800, 2000	1,4

В жилых, общественных и административных зданиях применяют преимущественно воздуховоды прямоугольного сечения, дающие большие возможности для их соответствующего архитектурного оформления. Для прокладки прямоугольных вертикальных воздуховодов нужно максимально использовать внутренние стены, в которых оставляют соответствующие каналы. При невозможности размещения каналов в стенах их устраивают в виде приставных каналов и шахт.

Стандартами предусмотрено 56 типоразмеров стальных прямоугольных воздуховодов – от наименьшего размером 100×150 мм до наибольшего размером 1600×2000 мм. В зависимости от размера прямоугольные воздуховоды изготавливают из стали толщиной 0,5; 0,7; 0,9 мм. Кроме воздуховодов указанных размеров стандарты предусматривают крупногабаритные воздуховоды прямоугольного сечения размерами от 600×2400 до 3200×1000 мм. Толщина стали для них определяется расчетом.

Прямоугольные стальные воздуховоды изготавливают так же, как и круглые, из листов или ленты посредством фальцевых швов либо путем сварки. Прямоугольные воздуховоды могут быть изготовлены и с помощью защелочных швов. Такие соединения имеют много преимуществ перед другими видами швов.

В настоящее время широко применяют воздуховоды из спирально-замковых и спирально-сварных труб. Использование таких труб в значительной степени снижает себестоимость заготовительных и монтажных работ. Изготавливают эти трубы как на монтажных заводах, так и на строительных площадках.

Спирально-замковую трубу (рис. 3.23) производят из стальной низкоуглеродистой холоднокатаной ленты на высокопроизводительной установке – стане СТД-3921. На этом стане можно изготавливать трубы диаметром 160 ... 2000 мм из стальной ленты толщиной до 1 мм. Спирально-сварную трубу (рис. 3.24) изготавливают на стане СТД-3918А из стальной ленты толщиной 1 ... 2 мм. Длина труб не лимитируется.

Весьма экономичны воздуховоды из ставинила или металлопласта. Это стальная холодноотянутая лента из низкоуглеродистой стали, покрытая с одной или двух сторон поливинилхлоридной пленкой.

Процесс изготовления воздуховодов из ставинила заключается в нанесении на поверхность стальной ленты клеевого слоя, сушке и ак-

тивизации его в печи при температуре 140...150°C, плакировании пластмассовой пленки с последующим ее охлаждением и тиснением в валковой машине. Слой клея, которым покрывают ленту, имеет толщину 25 ... 60 мкм, а поливинилхлоридная пленка – 0,2 ... 3 мм.



Рис. 3.23. Спирально-замковая труба



Рис. 3.24. Спирально-сварная труба

Пленку выпускают различных цветов, что способствует наилучшей эксплуатации систем и решению вопросов промышленной эстетики.

Ставинул выпускают с односторонним и двухсторонним покрытием. Одностороннее – наносят на ту сторону (внутреннюю или наружную), где при эксплуатации воздуховода будет более коррозионная среда. Ставинул сочетает прочность стального листа с высокой химической стойкостью пластмассы. Из ставинила изготавливают спирально-замковые воздуховоды (рис. 3.25) диаметром от 100 до 800 мм.

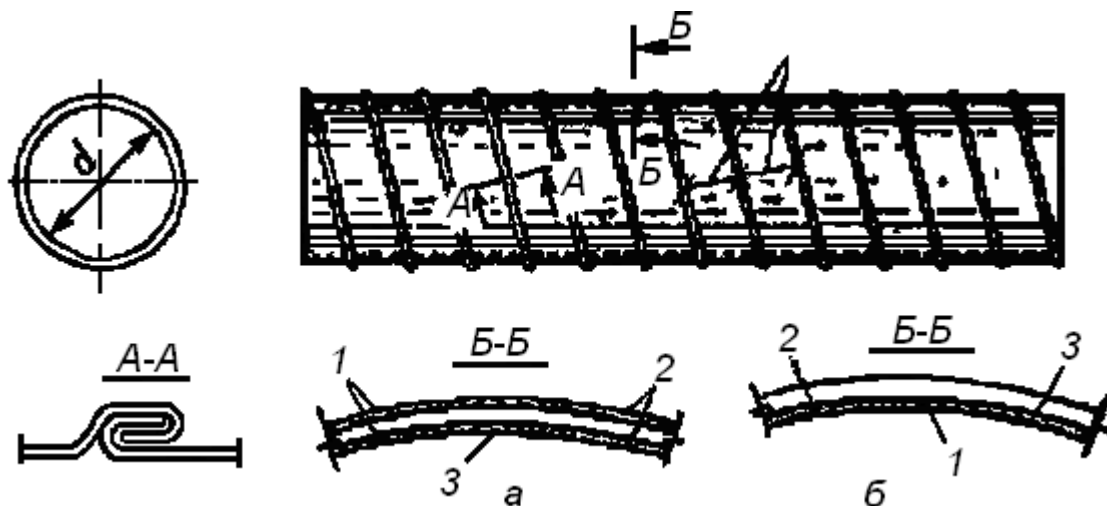


Рис. 3.25. Спирально-замковый воздуховод: а – для двухстороннего ставинила; б – для одностороннего ставинила; 1 – пластмассовые пленки; 2 – клей; 3 – стальная лента

В вентиляционных системах применяют воздуховоды из асбестоцементных коробов. По своим качествам они обладают преимуществами перед другими воздуховодами, в том числе и перед стальными. Например, асбестоцементные короба долговечны, не подвержены коррозии, имеют гладкую внутреннюю поверхность, обладают малой

теплопроводностью, допускают транспортирование воздуха с влажностью до 70% и температурой до 70°C. Их легко распиливать и сверлить. Недостатки асбестоцементных коробов – хрупкость и сложность транспортирования и монтажа.

Воздуховоды из пластмасс имеют преимущества перед стальными, асбестоцементными и другими конструкциями. Однако не каждую пластмассу можно использовать для изготовления воздуховодов, так как большинство пластмасс – легковоспламеняющиеся материалы. В основном для воздуховодов применяют поливинилхлорид, который обладает высокой стойкостью к агрессивным средам и сравнительно недорог. Поливинилхлорид хорошо формуется при температуре 120 ... 175°C, склеивается и сваривается, но при температуре ниже 0°C становится хрупким.

Изделия из поливинилхлорида получают методом прессования и последующей термической обработки. Для придания материалу необходимых качеств применяют различные пластификаторы и наполнители.

Станки для изготовления гибких труб имеют малые габариты, небольшую массу и просты в обслуживании, что позволяет использовать их непосредственно на строительной площадке. Процесс изготовления труб состоит из двух операций, протекающих одновременно и непрерывно: изготовление из жесткого поливинилхлорида эластичной ленты стреловидного профиля и труб из этой ленты на станке для навивки труб.

Сменные формующие головки позволяют изготавливать на одном станке трубы различных диаметров. Витые трубы получают специальной навивкой. При этом стреловидный край ленты одного витка входит в паз, а другой край ленты соседнего витка образует надежный замковый шов. Труба, вращаясь с помощью двух валиков, оклеенных слоем резины, сходит с формующей головки и опирается на направляющие штанги, вращающиеся в патрубках опорных переносных стоек. Расположение штанг и стоек регулируют в зависимости от диаметра и длины трубы. Чтобы получить отрезок трубы нужной длины, ленточный профиль вручную перерезают ножницами до входа в формующую головку.

Для изготовления труб разного диаметра (рис. 3.26) применяют ленты шириной от 12 до 16 мм и толщиной от 3 до 5 мм. Скорость выхода готовой трубы диаметром 100 ... 195 мм примерно 1 м/мин. Номенклатура и технические условия для применения воздуховодов из поливинилхлорида разработаны ГПИ Промстройпроект (серия ЭМ-027).

Гибкие витые поливинилхлоридные трубы герметичны, выдерживают давление до 0,2 МПа, очень удобны при монтаже. Их можно вручную удлинять или укорачивать, изменяя длину витка спирали путем перемещения стреловидного конца в пазе соседнего витка. Трубы можно легко изгибать, расширять или сужать вследствие подвижности

спирально-замкового шва и эластичности стенок ленты. Общая жесткость трубы при этом не уменьшается, герметичность не нарушается, форма сечения остается круглой.

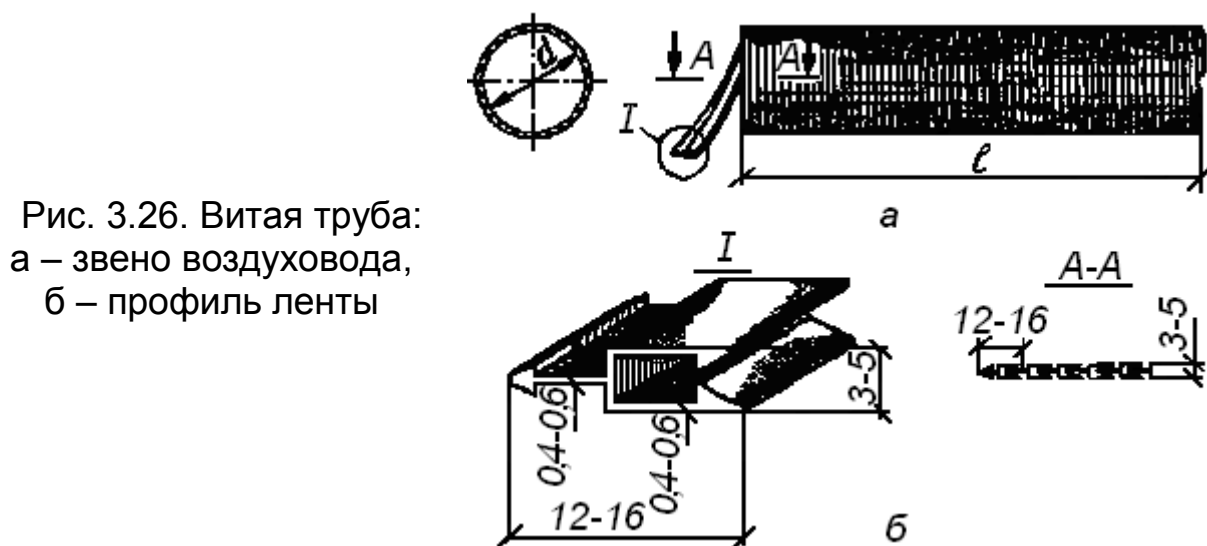


Рис. 3.26. Витая труба:
а – звено воздуховода,
б – профиль ленты

В табл. 3.3 приведены возможные отклонения диаметров труб от их стандартного диаметра.

Таблица 3.3

Нормальный	Максимальный	Минимальный
110	130	80
115	165	90
130	195	100
165	235	130
195	255	150
235	320	190
285	375	230
320	440	250
375	495	285
440	595	350
495	660	375
595	775	475
660	885	520
775	1025	620
885	1150	700
1025	1335	820

Труба расширяется при вращении витков против направления навивки, а сужается – при вращении по направлению навивки. Стыковые соединения гибких витых труб выполняют без фланцев, бандажей, муфт, сварки или клея. Для соединения двух витков труб стреловидный конец одной трубы вводят в паз конца ленты другой трубы. Стыки располагают на прямых участках труб.

Возможность расширять и сужать гибкие витые трубы позволяет резко сократить число типоразмеров тройников. Унифицированные тройники (рис. 3.27) позволяют сочетать воздуховоды разных диаметров в местах их соединений и разветвлений. Унифицированный тройник размером 320×320×195 мм, использованный для соединения или разветвления гибких витых труб различных диаметров, заменяет 24 прямых тройника и четыре полуотвода по действующей нормали на фасонные части стальных воздуховодов.

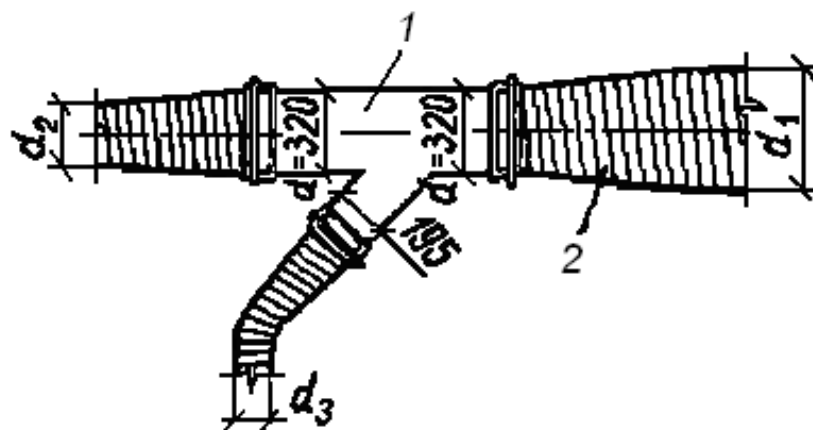


Рис. 3.27. Унифицированный тройник:
1 – тройник, 2 – гибкие витые трубы

Варианты диаметров воздуховодов, подсоединяемых к унифицированному тройнику: d_1 – 320, 375 мм; d_2 – 235, 285, 320 мм; d_3 – 130, 165, 195, 235 мм.

Таким образом, необходимо иметь шесть моделей тройников, чтобы обеспечить любое соединение и разветвление воздуховодов. Они заменяют примерно 500 прямых тройников и 16 полуотводов, применяемых в вентиляционных системах и выполняемых из стали, и имеют следующие размеры: 130×130×115 мм; 235×235×130 мм; 320×320×195 мм; 440×440×285 мм; 660×600×375 мм; 885×885×595 мм.

Для изготовления воздуховодов вентиляционных систем в помещениях с коррозионными средами применяют полиэтиленовую пленку. Использование полиэтилена для изготовления напорных воздуховодов снижает себестоимость вентиляционных систем и сокращает сроки монтажных работ.

Полиэтилен – желтовато-белый плотный материал, получаемый из этилена путем его полимеризации, отличается высокой химической стойкостью. Хорошо противостоит действию воды и коррозионных сред (кроме крепкой азотной кислоты); достаточно прочен (предел прочности на разрыв 1,5 ... 1,7 МПа) и легок; хорошо обрабатывается режущим инструментом, склеивается и сваривается, обладает высокими электроизоляционными свойствами. Недостаток полиэтилена – низкая теплостойкость (до 60°C).

Пленку для вентиляционных воздуховодов изготавливают из полиэтилена и выпускают в виде рулона, на который наматывают

300 ... 400 м полотна шириной до 4 м и толщиной 30 ... 200 мкм.

Воздуховоды из полиэтиленовой пленки обладают следующими преимуществами по сравнению с воздуховодами из металла: благодаря гладкой поверхности стенок воздуховодов скорость движения воздуха может достигать 30 м/с (в металлических воздуховодах аналогичных вентиляционных систем допустимая скорость движения воздуха 12 м/с), что позволяет значительно сократить площадь сечения воздуховодов; масса полиэтиленовых воздуховодов во много раз меньше массы стальных; стоимость полиэтилена значительно ниже стоимости стали.

Для изготовления воздуховодов используют нестабилизированную или стабилизированную пленку, которую выпускают в виде полотна или рукава диаметром 150, 300 и 400 мм. Воздуховоды других диаметров получают сваркой полотна пленки. При этом прочность сварного шва должна быть не меньше прочности пленки. Для сварки полиэтиленовую пленку заданного размера складывают вдвое по длине и зажимают между двумя дюралевыми уголками, после чего лишнюю пленку обрезают. Оставшиеся кромки шириной 3 ... 4 мм сваривают струей воздуха, нагретого до температуры 270 ... 300°С. Кромки прогревают до полного их расплавления. Вместо горячего воздуха можно использовать простейший электрический подогреватель мощностью 1,8 ... 2 кВт с температурой нихромовой спирали 800 ... 900°С. Расстояние от спирали до свариваемой пленки должно составлять 9 ... 10 мм.

Если полиэтиленовые воздуховоды служат для равномерной подачи приточного воздуха в помещение, то по всей длине воздуховода делают отверстия диаметром не более 40 мм, так как при большем диаметре нарушается форма сечения воздуховода. Отверстия по всей длине воздуховода пробивают на одинаковом расстоянии, которое должно быть не менее 250 мм; при меньших расстояниях снижается прочность воздуховода. Полиэтиленовые воздуховоды подвешивают на стальных кольцах, изготавливаемых из круглой проволоки диаметром 4 ... 5 мм. На проволоку надевают поливинилхлоридную трубку. Диаметр колец должен быть на 10% больше диаметра воздуховода. Воздуховоды крепят к несущему канату либо посредством скрутки, либо с помощью пластины с вырезом. Расстояние между крепежными кольцами должно быть не более 2 м. Несущий канат натягивают вдоль оси воздуховода и крепят к несущим конструкциям здания через каждые 20 ... 25 м. Чтобы исключить возможность появления электрических зарядов на пленке воздуховода, несущий канат заземляют не менее чем в двух местах. Для протаскивания воздуховода через кольца используют монтажные ролики, которые подвешивают к несущему канату через каждые 15 ... 20 м.

Перед началом монтажа воздуховод, намотанный на втулку, устанавливают на козлах в конце несущего каната. Конец воздуховода привязывают к предварительно протянутой через кольца веревке

или тросу. Сматываемый с рулона воздуховод перед протягиванием через кольца складывают вдоль вдвое или втрое; после его протягивания монтажные ролики снимают.

Конечный элемент воздуховода изготавливают из оцинкованной стали. Чтобы исключить продольные перемещения, воздуховод при его наполнении воздухом натягивают до тех пор, пока не исчезнут провесы пленки между монтажными кольцами. Конечный элемент должен иметь отверстия для смягчения ударов, возникающих при наполнении воздуховода воздухом. Диаметр этих отверстий составляет 0,1 – 0,2 диаметра воздуховода. К металлическим частям воздуховода полиэтиленовый рукав крепят с помощью банджа из мягкой вязальной проволоки и хлопчатобумажной изоляционной ленты или ленточного хомута.

Допустимая температура воздуха, перемещаемого по воздуховодам из пленки, должна быть не более 45°C. Так как скорости воздуха, следовательно, и расходы воздуха в пленочных воздуховодах можно изменять в широких пределах, то сортамент воздуховодов может быть ограничен тремя-четырьмя диаметрами, что упростит проектирование и монтаж систем.

При удалении из вентилируемых помещений загрязненного воздуха, содержащего пары кислот, некоторые газы и другие примеси, сильно корродирующие сталь, воздуховоды следует изготавливать из винипласта.

3.13. Воздухораспределители

Воздухораспределители предназначены для подачи воздуха в помещение или в заданную (рабочую) зону помещения. Они должны быть простыми в конструктивном исполнении и с архитектурной и эстетической точек зрения не нарушать интерьера, иметь небольшое аэродинамическое сопротивление при подаче расчетного количества воздуха. Аэродинамический шум, возникающий при прохождении через воздухораспределитель максимального количества воздуха, не должен превышать предела, установленного для данного помещения.

В зависимости от способа подачи приточного воздуха все воздухораспределители подразделяют на устройства, подающие воздух компактными, плоскими и веерными струями. Широко распространены воздухораспределители, выполненные в виде приточных насадок, которые позволяют формировать различные струи.

Для регулирования воздухораспределения в вентиляционных системах применяют клапаны (заслонки) и шиберы. Клапаны более надежны в эксплуатации и имеют меньшие наружные размеры. В воздуховодах, расположенных в труднодоступных местах, используют клапаны с механическим приводом и дистанционным управлением.

Клапаны и шиберы на воздуховодах вентиляционных систем устанавливают:

- на участках, где необходимо изменять расходы воздуха в процессе эксплуатации системы;
 - перед всеми воздухораздаточными устройствами приточных систем (воздухораспределителями, приточными насадками и т.д.) и воздухоприемными устройствами общеобменной вытяжной вентиляции, не имеющими в своей конструкции регулирующих и закрывающих устройств;
 - на всех местных отсосах вытяжных систем. Регулирующие диафрагмы устанавливают на ответвлениях от магистрали. Эти диафрагмы служат для регулирования системы в период ее пуска и наладки в целях выравнивания потерь давления, а следовательно, и достижения нужного воздухораспределения по отдельным участкам системы.
- На всех вытяжных шахтах между вентилятором и выходом шахты наружу устанавливают двухпозиционные дроссельные клапаны, которые должны быть открыты во время работы вентилятора и закрыты, когда вентилятор не работает.

3.14. Расчет воздуховодов

Воздуховоды имеют прямолинейные участки постоянного сечения, а также места изменения сечений, ответвлений, слияния или разделения потоков и поворотов, называемые фасонными частями или местными сопротивлениями.

Аэродинамический расчет воздуховодов заключается в определении необходимых размеров их поперечного сечения, а также потерь давления на всех участках системы для обеспечения беспрепятственного транспортирования по ним расчетного количества воздуха. В зависимости от общей потери давления в системе подбирают вентиляторную установку или проверяют достаточность естественного побуждения движения воздуха.

Если размеры поперечного сечения воздуховодов заданы или определены по архитектурно-конструктивным соображениям, то в результате аэродинамического расчета находят расход воздуха, потери давления в системе и на ее участках. В этом случае изменение расхода воздуха может быть достигнуто посредством назначения соответствующей скорости его движения с учетом допустимых норм.

Движение воздуха по воздуховодам – это частный случай движения жидкостей по трубам и, следовательно, подчиняется общим законам гидродинамики.

Различают статическое, динамическое (скоростной напор) и полное давление воздуха, движущегося по воздуховодам.

Статическое давление характеризует степень сжатия воздуха. Его можно рассматривать как результат сопротивления движению воздуха, вызывающего его уплотнение. В соответствии с законом Паскаля это давление передается по всем направлениям и одинаково дей-

ствуется на любую площадку независимо от ее ориентации относительно потока воздуха.

Различают абсолютное и относительное статическое давление. Статическое – называют абсолютным, если оно отсчитывается от абсолютного вакуума. За начало отсчета относительного статического давления принимают величину атмосферного давления. Величина относительного статического давления может быть положительной и отрицательной.

Динамическое давление создается исключительно движением воздуха и действует на любую площадку, не параллельную движению потока, если эта площадка неподвижна или движется со скоростью, отличной от скорости потока воздуха.

Динамическое давление, Па, вычисляют по формуле

$$p_d = \left(\frac{v^2 \rho_{\text{в}}}{2} \right) \sin \alpha,$$

где α – угол между направлением движения воздуха и площадкой; $\rho_{\text{в}}$ – плотность (объемная масса) воздуха, кг/м³; v – скорость движения воздуха, м/с.

Полное давление представляет собой сумму статического и динамического давлений.

Поперечные сечения воздуховодов выбирают в зависимости от нормативных скоростей движения воздуха в элементах вентиляционных систем.

В соответствии с принятыми скоростями и размерами сечений определяют потери давления на прямолинейных участках сети (на трение) и в местных сопротивлениях с использованием таблиц или номограмм. На рис. 3.28 показана номограмма для расчета воздуховодов в системах естественной вентиляции, а на рис. 3.29 – в системах искусственной вентиляции.

Таблицы и номограммы для расчета прямолинейных участков составлены для круглых воздуховодов из листовой стали, имеющей величину абсолютной эквивалентной шероховатости $K_{\text{э}} = 0,1$ мм. В них приведены значения удельных потерь давления, диаметры и скорости воздуха (или расходы).

Воздуховоды прямоугольного сечения рассчитывают с помощью тех же таблиц и номограмм, что и для круглых воздуховодов. Для перехода от прямоугольного сечения к круглому вводят понятие эквивалентного диаметра $d_{\text{э}}$. Его значение определяют из условия, что потери давления в рассматриваемом прямоугольном и круглом воздуховодах эквивалентных диаметров одинаковы.

Переход к эквивалентному диаметру осуществляется по скорости $d_{\text{э}v}$ или расходу $d_{\text{э}V}$. Чаще используют эквивалентный диаметр по

скорости

$$d_{эв} = \frac{2ab}{a+b},$$

где a и b – размеры прямоугольного сечения.

При расчете неметаллических воздуховодов к данным, полученным из таблиц или номограмм, составленным для металлических воздуховодов, вводят поправку n на шероховатость (табл. 3.4) в зависимости от материала воздуховода и скорости воздуха. При составлении таблицы приняты следующие значения $K_э$: для шлакоалестровых плит – 1 мм; шлакобетонных плит – 1,5 мм; кирпича – 4 мм; штукатурки – 10 мм; винипласта, асбестоцемента и фанеры – 0,1 мм.

Потери давления на местные сопротивления определяют по формуле Вейсбаха

$$p_{м.с} = \sum \zeta \frac{V^2}{2} \rho = Z,$$

где ζ – безразмерный коэффициент местного сопротивления, определяемый опытным путем; V – скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³.

Приведем методику аэродинамического расчета воздуховодов.

Пример. Рассчитать воздуховоды механической приточной системы вентиляции зрительного зала и фойе кинотеатра на 800 зрителей. Наружный воздух забирается через приточную шахту, расположенную на зеленом газоне, проходит по подземному каналу прямоугольного сечения из бетонных плит. В приточной вентиляционной камере установлены: утепленный клапан, фильтры ячейковые масляные типа ФЯВ, калориферы марки КЗВП. Воздух транспортируется по воздуховодам из листовой стали прямоугольного сечения. Приточные отверстия выполняют прямоугольной формы с декоративной решеткой. Воздухообмен в зрительном зале составляет 29 600, в фойе – 3900 м³/ч; наружный воздух поступает в объеме 16 000, рециркуляционный – 17 500 м³/ч.

Решение.

1. Составляют аксонометрическую схему системы (рис. 3.30).
2. Определяют расход воздуха через приточные отверстия при условии, что расход через все отверстия равномерный:

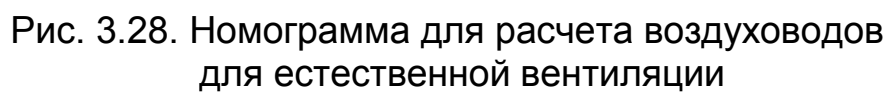
– в зрительном зале

$$V_1 = 29600 / 6 = 4930 \text{ м}^3/\text{ч},$$

– в фойе

$$V_2 = 3900 / 3 = 1300 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Выбирают расчетную магистраль (наиболее загруженная и длинная – магистраль 1-2-3-4-5-6-7-8), затем нагружают расчетные участки.



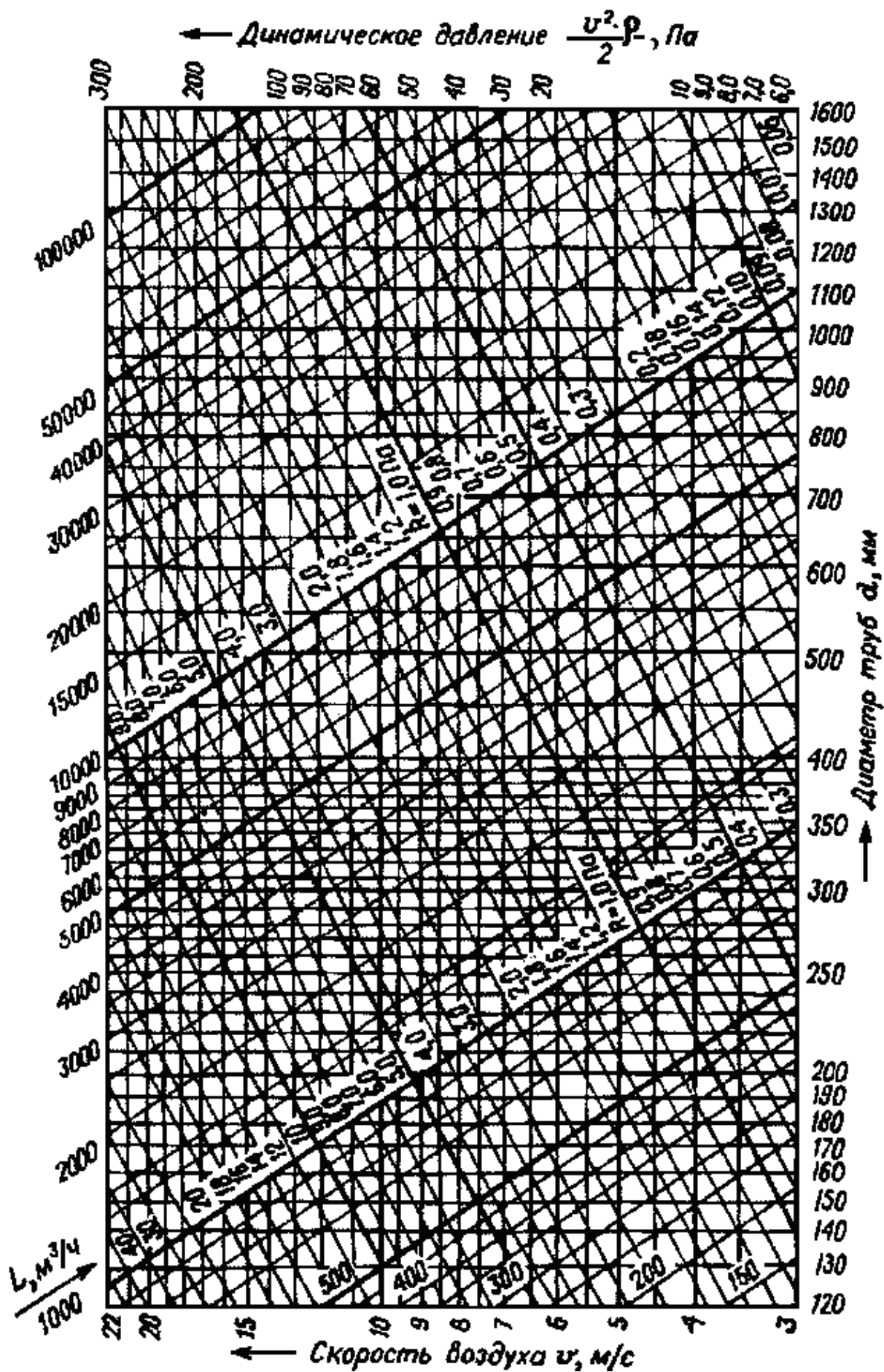


Рис. 3.29. Номограмма для расчета воздуховодов для искусственной вентиляции

Таблица 3.4

V, м/с	K _э , мм			
	1	1,5	4	10
1	1,16	1,23	1,46	1,77
2	1,25	1,35	1,65	2,04
3	1,32	1,43	1,77	2,2
4	1,37	1,49	1,86	2,32
5	1,41	1,54	1,93	2,41
6	1,44	1,58	1,98	2,48
7	1,47	1,61	2,03	2,54
8	1,49	1,64	2,06	2,58
9	1,51	1,66	2,10	2,62
10	1,53	1,68	2,12	2,66
11	1,54	1,70	2,15	2,69
12	1,56	1,71	2,17	2,72

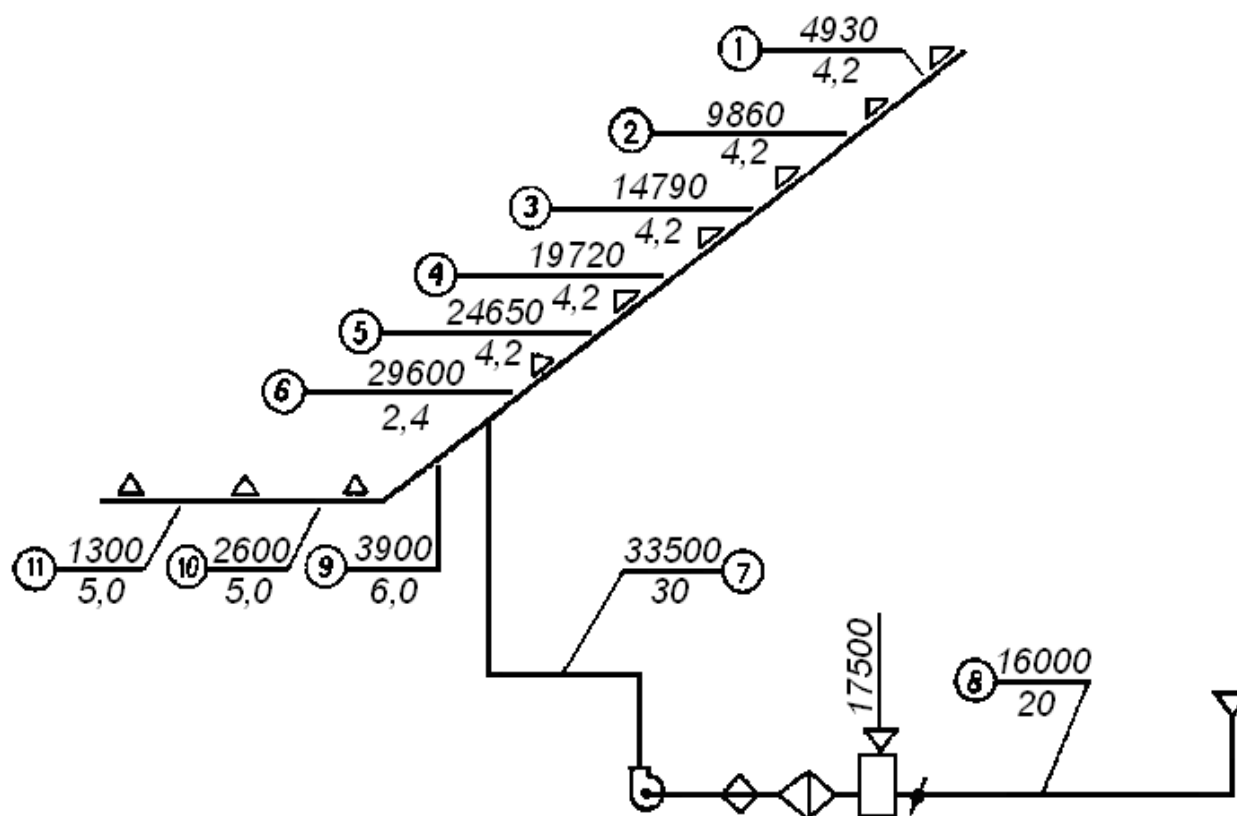


Рис. 3.30. Аксонометрическая схема

4. Вычисляют площади поперечного сечения воздуховодов, м², на участках, задаваясь скоростью движения воздуха в горизонтальных воздуховодах $V = 8$ м/с:

– первом

$$f_1 = 4930 / (3600v),$$

– втором

$$f_2 = 9860 / (3600v) \text{ и т.д.}$$

После этого по значению f подбирают стандартные размеры воздуховодов (см. справочники). Эквивалентные диаметры прямоугольных воздуховодов вычисляют по формуле (3.3). Все данные расчета заносят в табл. 3.5.

5. По значениям расхода воздуха и $d_{эв}$ на участке находят удельные потери давления R , фактическую скорость движения воздуха V и динамическое давление $p_d = V^2 \rho / 2$. Для этого пользуются либо расчетной таблицей, либо номограммой (см. рис. 3.29).

6. Определяют потери давления в местных сопротивлениях:

Участок 1-6 – отверстие на выходе воздуха

$$v_n / v_1 = 1, \quad \zeta = 1,8.$$

Участок 7:

– тройник 90° приточный прямоугольного сечения

$$v_n / v_c = 1, \quad \zeta = 1,6;$$

– колено с острыми кромками прямоугольного сечения

$$\alpha = 90^\circ, \quad d_0 / b_0 = 800 / 2000 = 0,4;$$

– диффузор пирамидальный после вентилятора

$$\alpha = 32^\circ, \quad F_0 / F_1 = 0,25, \quad \zeta = 0,52;$$

– конфузор перед вентилятором

$$\alpha = 30^\circ, \quad l / d = 0,15, \quad \zeta = 0,22;$$

– внезапное сужение поперечного сечения

$$F_0 / F_1 = 0,2, \quad \zeta = 0,4, \quad \sum \zeta = 7,14;$$

– фильтр – сопротивление по расчету

$$\Delta p = 100 \text{ Па};$$

– калорифер – сопротивление по расчету

$$\Delta p = 200 \text{ Па.}$$

Участок 8:

– квадратная приточная шахта с зонтом

$$\zeta = 1,4;$$

– колено с острыми кромками прямоугольного сечения

$$\alpha = 90^\circ, \quad \zeta = 1,2 \cdot 1,07 = 1,3;$$

– дроссель-клапан при числе створок $n = 4$

$$\alpha = 10^\circ, \quad \zeta = 0,25;$$

– внезапное расширение потока

$$F_0 / F_1 = 0,2, \quad \zeta = 0,64, \quad \sum \zeta = 3,59.$$

Общее сопротивление воздуховодов движению воздуха (табл. 3.5) равно 714,4 Па.

Таблица 3.5

Номер участка	Количество воздуха, м³/ч	Длина l, м	Скорость v, м/с	Размеры прямоугольных воздухоотводов			Потери давления на трение, Па		Динамическое давление $P_{дин}$, Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\sum \xi$	Потери давления на местные сопротивления $\Delta P_{мест}$, Па	Общие потери давления на участке $(R+Z)$, Па	Суммарные потери давления на участках от начала сети $\sum(R+Z)$
				$F, \text{ м}^2$	$a \times b, \text{ мм}$	$d_0 = 2ab / (a+b)$	на 1 м R	на всем участке Rl					
1	4930	4,2	5,7	0,24	600×400	480	0,7	2,9	19,5	1,8	35,2	38,1	38,1
2	9860	4,2	5,7	0,48	600×800	680	0,4	1,68	19,5	1,8	35,2	36,88	74,98
3	14790	4,2	5,7	0,72	600×1200	800	0,4	1,68	19,5	1,8	35,2	36,88	111,86
4	19720	4,2	5,7	0,96	600×1600	860	0,3	1,26	19,5	1,8	35,2	36,46	148,32
5	24650	4,2	5,3	1,28	800×1600	1070	0,28	1,2	17,0	1,8	31,0	32,2	180,52
6	29600	2,4	5,1	1,6	800×2000	1140	0,25	0,6	15,6	1,8	28,0	28,6	209,12
7	33500	30,0	5,8	1,6	800×2000	1140	0,25	7,5	20,0	7,14	142,8÷300	450,3	659,42
8	16000	20,0	4,65	0,96	600×1600	860	0,5	10,0	12,6	3,59	45,0	55	714,42

3.15. Приточные и вытяжные устройства

Раздача воздуха в помещения и его вытяжка осуществляются через приточные и вытяжные отверстия в воздуховодах. Для лучшего распределения воздуха в помещении и удовлетворения повышенных архитектурных требований вместо простых отверстий в воздуховодах применяют специальные устройства – воздухораспределители, имеющие соответствующее оформление.

К конструкции приточных и вытяжных отверстий, а также воздухораспределителей и их расположению предъявляются требования, позволяющие обеспечить наилучшее состояние воздушной среды в рабочей зоне помещения, подвижность воздуха в соответствии с нормами, возможность регулирования его расхода. Оформление отверстий должно соответствовать создаваемому интерьеру помещения, однако используемые для этого решетки не должны уменьшать живое сечение отверстий более чем на 40%.

На рис. 3.31 показаны некоторые виды оформления приточных и вытяжных отверстий, применяемых в жилых, общественных и промышленных зданиях. Наряду с простейшими конструкциями в виде решеток и отверстиями в воздуховоде с сеткой и шибером (рис. 3.31, а, б) разработаны более сложные конструкции воздухораспределителей, обеспечивающих вертикальную, горизонтальную и наклонную подачу воздуха. Потолочные воздухораспределители (плафоны) могут образовывать компактную и веерную струи, направленные вниз или стелющиеся вдоль потолка. Они универсальные, так как могут применяться на притоке и вытяжке (рис. 3.31, в).

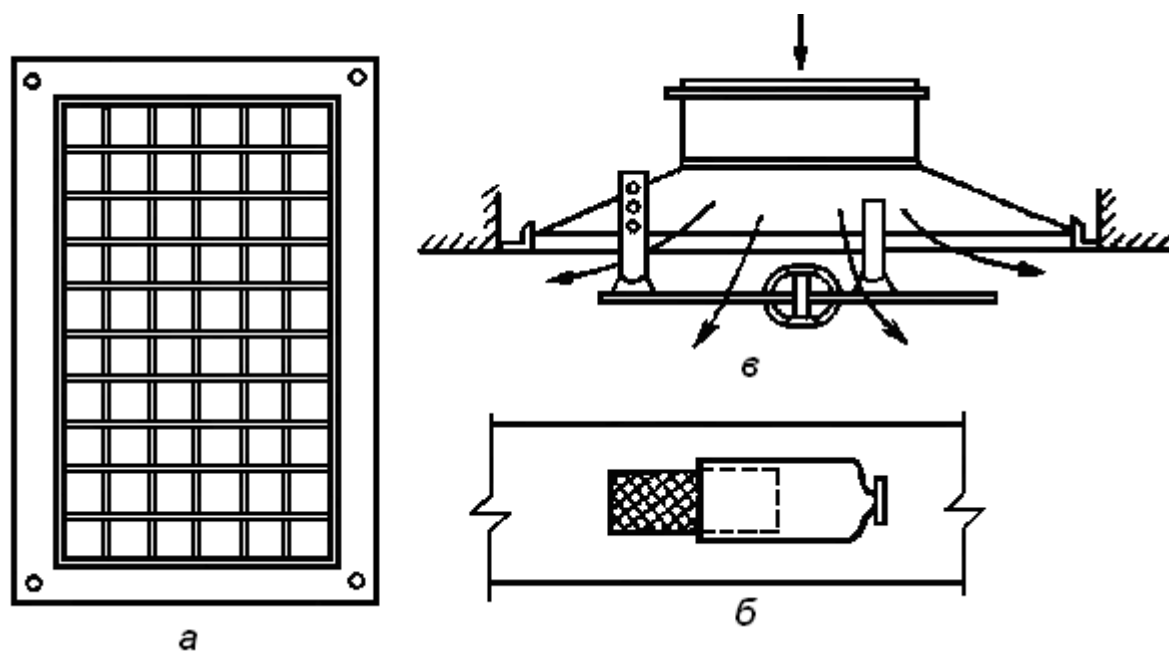


Рис. 3.31. Приточные и вытяжные отверстия

В помещениях небольшой высоты (до 5 м) воздух может распределяться через перфорированные панели, вмонтированные в пото-

лок. В этом случае достигается нормативная подвижность воздуха в рабочей зоне при большой кратности воздухообмена. Отверстия перфорации выполняют диаметром от 2 до 10 мм, площадь живого сечения панели очень мала и не превышает 10% от полной площади панели.

В воздухоораспределителях-светильниках воздух выпускается (удаляется) через люминесцентные светильники, вмонтированные в конструкцию подвесного потолка. Такое решение при вытяжке воздуха сокращает поступление тепла от освещения в помещение, так как часть этого тепла уходит вместе с вытяжным воздухом, к тому же благодаря охлаждению ламп повышается освещенность.

Удовлетворительное воздухоораспределение может быть достигнуто с использованием перфорированных воздуховодов. Отверстия в воздуховоде переменного по длине сечения расположены в нижней его части.

В последние годы разработаны воздуховоды с лункообразной перфорацией, способствующие быстрому затуханию скорости приточной струи.

3.16. Вентиляторы

Вентиляторы – это механические побудители движения воздуха в вентиляционных системах. Они передают воздуху энергию, необходимую для преодоления сопротивления при движении его в системе вентиляции. По величине создаваемого давления вентиляторы разделяют на три группы:

- низкого давления – до 1000 Н/м^2 ;
- среднего – от 1000 до 3000 Н/м^2 ;
- высокого – от 3000 до 12000 Н/м^2 .

По устройству и принципу действия различают вентиляторы осевые (рис. 3.32, а) и радиальные (рис. 3.32, б). В последних воздух засасывается через боковой приемный патрубок в кожух вентилятора вращающимся рабочим колесом с лопатками, отбрасывается к стенкам улиткообразного кожуха и выбрасывается через выходное отверстие. Таким образом, направление движения воздуха в радиальном вентиляторе меняется на 90° .

Вентиляторы выпускают с односторонним и двухсторонним всасыванием, с правым и левым вращением рабочего колеса. В зависимости от состава перемещаемого воздуха вентиляторы могут быть:

- в обычном исполнении – из углеродистой стали для перемещения неагрессивных сред с температурой до 80°C ;
- в коррозионно-стойком исполнении – из титана, нержавеющей стали, алюминия, винипласта, полипропилена, углеродистой стали с антикоррозионным покрытием;
- во взрывобезопасном исполнении – по специальным условиям.

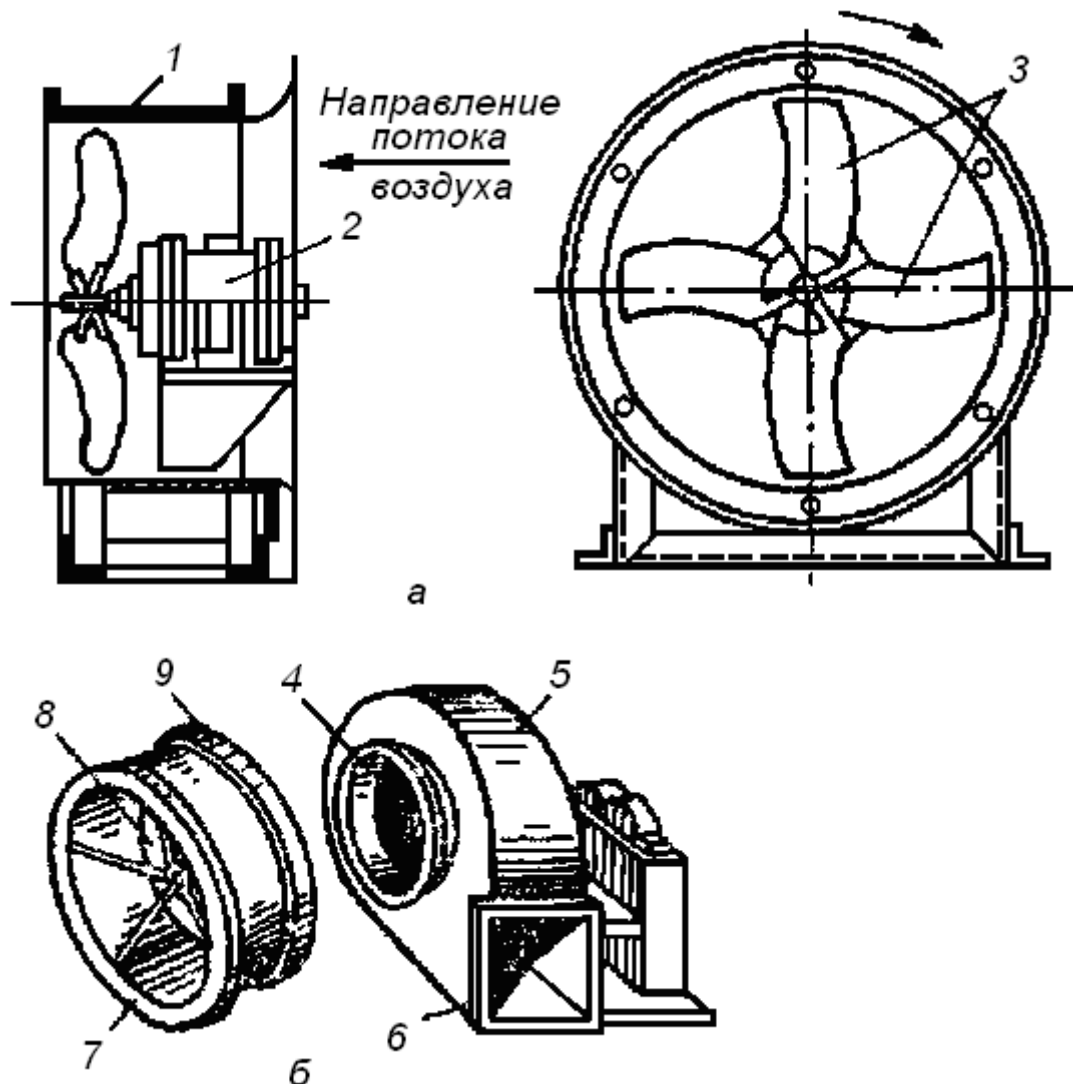


Рис. 3.32. Вентиляторы: а – осевой; б – радиальный: 1 – обечайка; 2 – электродвигатель; 3 – лопатки рабочего колеса; 4 – всасывающее отверстие; 5 – улиткообразный кожух; 6 – вал; 7 – нагнетательный патрубок; 8 – переднее кольцо; 9 – ступица; 10 – основной диск

В настоящее время широко используют радиальные вентиляторы типов Ц4-70 и Ц4-76 от номера 2,5 до 20 (номер вентилятора означает диаметр рабочего колеса в дециметрах), вентиляторы среднего давления Ц14-46 и высокого давления ВВД и Ц10-28.

Электродвигатель, приводящий во вращение рабочее колесо вентилятора, соединяется с последним одним из способов:

- непосредственно насаживается на один вал или через эластичную муфту;
- клиноременной передачей с постоянным передаточным отношением;
- регулирующей бесступенчатой передачей через гидравлические и индукционные муфты скольжения.

Последние два способа применяют для вентиляторов больших размеров.

Осевые вентиляторы представляют собой рабочее колесо, поме-

щенное внутри кожуха (обечайки) и посаженное на один вал с электродвигателем. Они имеют высокую производительность по воздуху, но развивают малое давление (до 700 Н/м^2), поэтому их применяют в системах вентиляции с малым аэродинамическим сопротивлением.

Осевые вентиляторы в отличие от радиальных реверсивные: при изменении направления вращения рабочего колеса меняется направление движения воздуха, но снижается производительность.

Вентиляторы выбирают по их аэродинамическим характеристикам и номограммам (рис. 3.33, номограмма для подбора радиальных вентиляторов Ц4-70), составленным на основе стендовых испытаний. На графике с координатами L (производительность вентилятора) и p (полное давление) нанесены кривые давлений с указанием числа оборотов n рабочего колеса, значения КПД (η). К расчетному расходу воздуха вводится поправочный коэффициент на утечки и подсосы воздуха, равный 1,1 для стальных, пластмассовых и асбестоцементных воздуховодов и 1,15 – для остальных.

По заданным значениям L и p находят число оборотов вентилятора n , его КПД и необходимую установочную мощность двигателя. При этом следует получить возможно больший КПД (близкий к максимальному). Выбирать вентиляторы надо, сравнивая характеристики нескольких номеров вентиляторов и лучше нескольких номеров в разных сериях. При окончательном выборе номера вентилятора нужно стремиться к достижению максимального значения КПД (не ниже 0,9 максимального). Электродвигатели обычно поставляют в комплекте с вентилятором (вентиляторный агрегат).

Потребляемая мощность на валу электродвигателя N , Вт, определяется формулой

$$N = \frac{L p}{3600 \eta_e \eta_n},$$

где η_e – КПД вентилятора, η_n – КПД передачи.

Установочная мощность электродвигателя принимается с коэффициентом запаса

$$N_{\text{дв}} = k_z N,$$

где значение k_z принимается равным 1,1 – 1,5 в зависимости от потребляемой мощности.

4. ОТОПИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

При создании благоприятных условий для пребывания человека в жилых и производственных помещениях следует правильно спроектировать системы отопления и вентиляции воздуха. В промышленности эти системы необходимы также для обеспечения правильного хода технологического процесса.

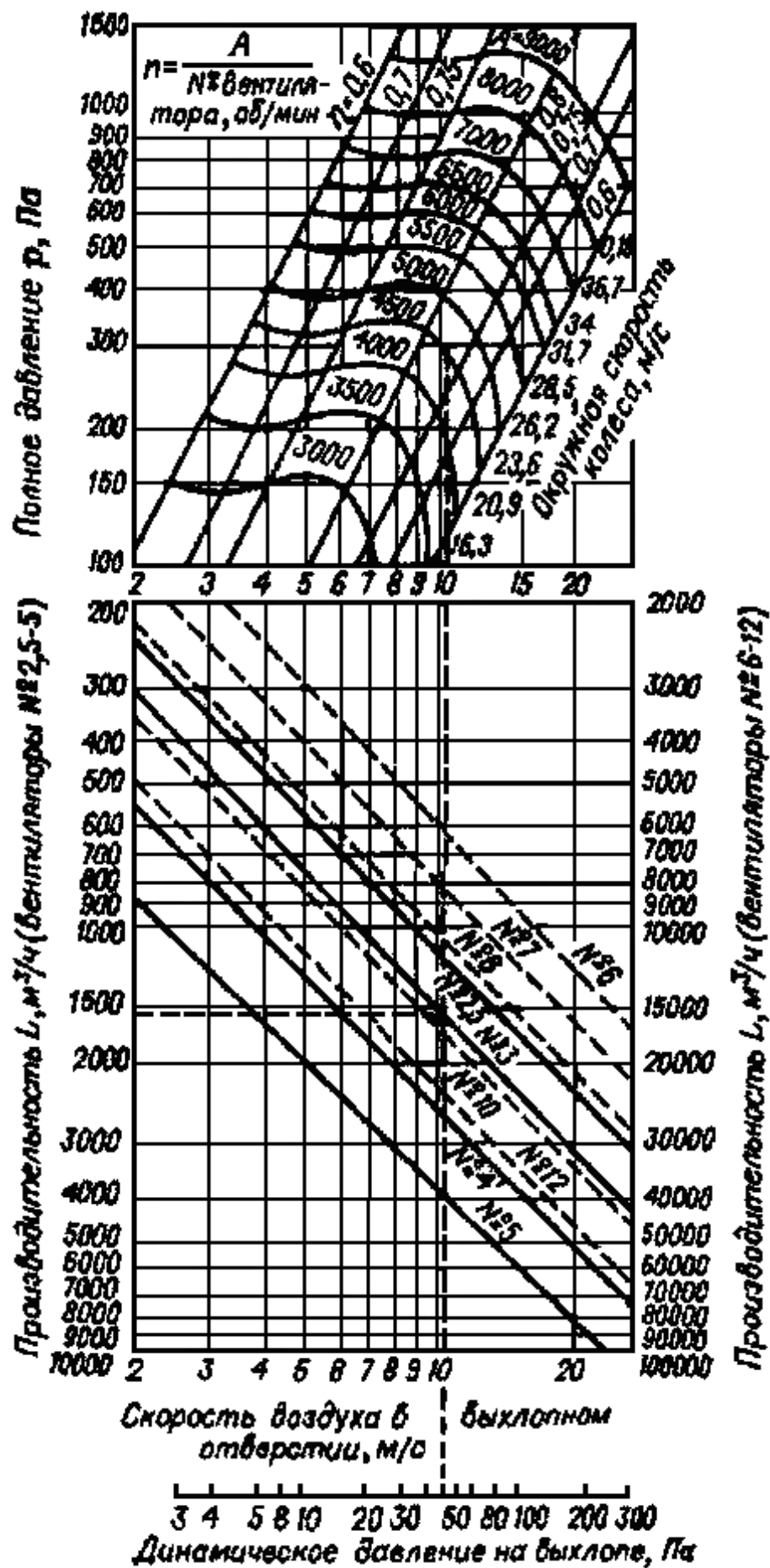


Рис. 3.33. Номограмма для подбора радиальных вентиляторов

Эффективность и долговечность отопительно-вентиляционных установок в первую очередь зависят от качества инженерного проекта, правильного их монтажа, наладки и эксплуатации.

Основные требования, которые следует выполнять при проектировании этих установок, изложены в СНиП 2.04.05-91 «Отопление, вентиляция и кондиционирование» [20].

4.1. Тепловой баланс помещения. Теплопоступления в помещение

Перед разработкой конструкции отопительных систем для проектируемого здания необходимо составить тепловой баланс, т.е. узнать, какое количество тепла поступает в здание и какое количество тепла теряется через окружающие конструкции (стены, полы, крышу). Составление теплового баланса позволяет определить, какое дополнительное количество тепла следует подавать в помещение для поддержания в нем комфортной температурной обстановки.

Количество теплоты, кДж/ч, поступающей в помещение, где идет производственный процесс:

$$Q_{\text{пост}} = Q_{\text{л}} + Q_{\text{техн}} + Q_{\text{комм}} + Q_{\text{м}} + Q_{\text{тр}} + Q_{\text{осв}} + Q_{\text{гор}} + Q_{\text{с.р}},$$

где $Q_{\text{л}}$ – теплота, выделяемая людьми, кДж/ч; $Q_{\text{техн}}$ – теплота, выделяемая в результате технологического процесса, кДж/ч; $Q_{\text{комм}}$ – теплота, выделяемая коммуникациями (трубопроводами), кДж/ч; $Q_{\text{м}}$ – теплота, выделяемая нагретыми материалами, полуфабрикатами и изделиями, кДж/ч; $Q_{\text{тр}}$ – теплота, выделяемая транспортными средствами, Дж/ч; $Q_{\text{осв}}$ – теплота, выделяемая источниками искусственного освещения, кДж/ч; $Q_{\text{гор}}$ – теплота от непосредственного сжигания топлива в помещении (теплота продуктов горения), кДж/ч; $Q_{\text{с.р}}$ – теплота солнечной радиации, кДж/ч.

1. Количество теплоты, кДж/ч, выделяемой людьми:

$$Q_{\text{л}} = \sum n q_{\text{л}},$$

где n – число людей в конкретной функциональной группе, $q_{\text{л}}$ – тепловыделения одного человека в этой группе, кДж/ч.

Например, тепловыделения мужчины при температуре воздуха в помещении 20°C (комфортная температура) в состоянии покоя ~420 кДж/ч; при легкой работе ~545 кДж/ч; при работе средней тяжести ~730 кДж/ч; при тяжелой работе 1050 кДж/ч. При определении тепловыделений женщин эти величины надо умножить на 0,85, а для детей – на 0,75.

2. Тепловыделения при технологическом процессе (от электродвигателей, станков, технологического оборудования) образуются в результате перехода механической энергии в тепловую. Их можно

найти по первому закону термодинамики

$$Q_{\text{техн}} = 3,6N\eta \text{ кДж/ч},$$

где N – мощность электродвигателя, кВт; η – КПД, учитывающий использование мощности, степень загрузки, поглощение тепла от оборудования воздухом помещения (для различных цехов колеблется от 0,1 до 0,25).

3. Количество теплоты от коммуникаций, проложенных в помещении, кДж/ч, вычисляют по формуле

$$Q_{\text{комм}} = Fk(t_{\text{ср}} - t_{\text{в}})a,$$

где F – площадь поверхности коммуникаций, м²; k – коэффициент передачи тепла от нагретой поверхности окружающей среде, кДж/м²ч°С; $t_{\text{ср}}$ – средняя температура поверхности коммуникаций, °С; $t_{\text{в}}$ – температура воздуха внутри помещения, °С; a – коэффициент, учитывающий изменения теплообмена в зависимости от положения коммуникаций.

4. Количество теплоты, выделяемой нагретыми материалами при их остывании, находят так:

$$Q_M = Gc(t_M - t_{\text{в}})B \text{ кДж/ч},$$

где G – масса остывающего материала, кг; c – удельная теплоемкость материала, кДж/кг°С; t_M – начальная температура материала, °С; B – коэффициент, учитывающий интенсивность выделения тепла во времени (для первого часа $B = 0,5$; для второго – $B = 0,3$; для третьего – $B = 0,2$).

5. Количество теплоты, выделяемой транспортными средствами, находящимися в помещении, определяют опытным путем для каждой машины.

6. Количество теплоты, выделяемой источниками искусственного освещения,

$$Q_{\text{осв}} = 3,6N_0\beta \text{ кДж/ч},$$

где N_0 – суммарная мощность источников освещения, кВт, β – коэффициент, показывающий, какая часть электроэнергии переходит в тепло ($\beta = 0,92 - 0,97$).

7. Количество теплоты, поступающей в помещение при сжигании топлива,

$$Q_{\text{гор}} = B_T Q_H^p \varphi \text{ кДж/ч},$$

где B_T – расход топлива, кг/ч; Q_H^p – низшая теплота сгорания топлива (без учета теплоты, выделяющейся при конденсации водяных паров, входящих в состав продуктов сгорания, которая переходит в окружающую среду), кДж/кг; φ – коэффициент, учитывающий количество теплоты, попадающей в цех ($\varphi = 0,2 - 0,3$).

8. Тепло солнечной радиации проникает в помещение двумя путями: через окна $Q_{с.р}^o$ и непрозрачные ограждения (покрытия) $Q_{с.р}^п$:

$$Q_{с.р}^o = F_o q_o A_o \text{ кДж/ч,}$$

$$Q_{с.р}^п = F_n q_n k_n \text{ кДж/ч,}$$

где F_o и F_n – площади остекленных и непрозрачных ограждений, m^2 ; q_o – удельное поступление тепла солнечной радиации через остекление, $кДж/м^2ч$.

В окнах с двумя деревянными переплетами при направлении на северо-восток и северо-запад $q_o \approx 75 \text{ кДж/м}^2ч$, на север $Q_{с.р}^o = 0$, на остальные стороны горизонта $q_o \approx 150 \text{ кДж/м}^2ч$, с двойными металлическими переплетами q_o соответственно ~ 100 ; 0 ; $190 \text{ кДж/м}^2ч$;

q_n – удельное поступление тепла через непрозрачное покрытие: $q_n \approx 63 \text{ кДж/м}^2ч$; A_o – коэффициент, учитывающий прозрачность стекол (для обычных оконных стекол $A_o = 1,45$; для матовых – $A_o = 0,4$; для сильно загрязненных – $A_o = 0,7$); k_n – коэффициент теплопередачи покрытия, $кДж/м^2ч^{\circ}C$.

Теплопоступления от солнечной радиации учитывают в тепловом балансе только для переходного и летнего периодов при наружной температуре $10^{\circ}C$ и выше.

4.2. Теплотери помещения и укрупненный расчет теплотерьер зданий

Потери тепла всего помещения – сумма теплотерьер через каждое ограждение этого помещения:

$$Q_{пот}^{осн} = \sum k_{огр} F_{огр} (t_v - t_n) n \text{ Дж/ч,}$$

где $k_{огр}$ – коэффициент теплопередачи ограждающей конструкции, $кДж/м^2ч^{\circ}C$; $F_{огр}$ – площадь ограждения, m^2 ; t_n – температура воздуха снаружи помещения, $^{\circ}C$; n – поправочный коэффициент к разности температур.

При определении площади $F_{огр}$ размеры ограждений находят следующим образом (рис. 4.1):

1. Высоту стен первого этажа при устройстве пола на грунте принимают между уровнями полов первого и второго этажей:

– при конструкции пола на лагах (поперечных досках, уложенных на брусья) или в неотапливаемом подвале – от нижнего уровня пола первого этажа до уровня пола второго этажа h_1 ;

– высоту стен промежуточных этажей h_2 – между уровнями полов

расчетного и лежащего выше этажей;

– высоту стен верхних этажей – от уровня пола этажа до верха утепляющего слоя чердачного покрытия h_3 .

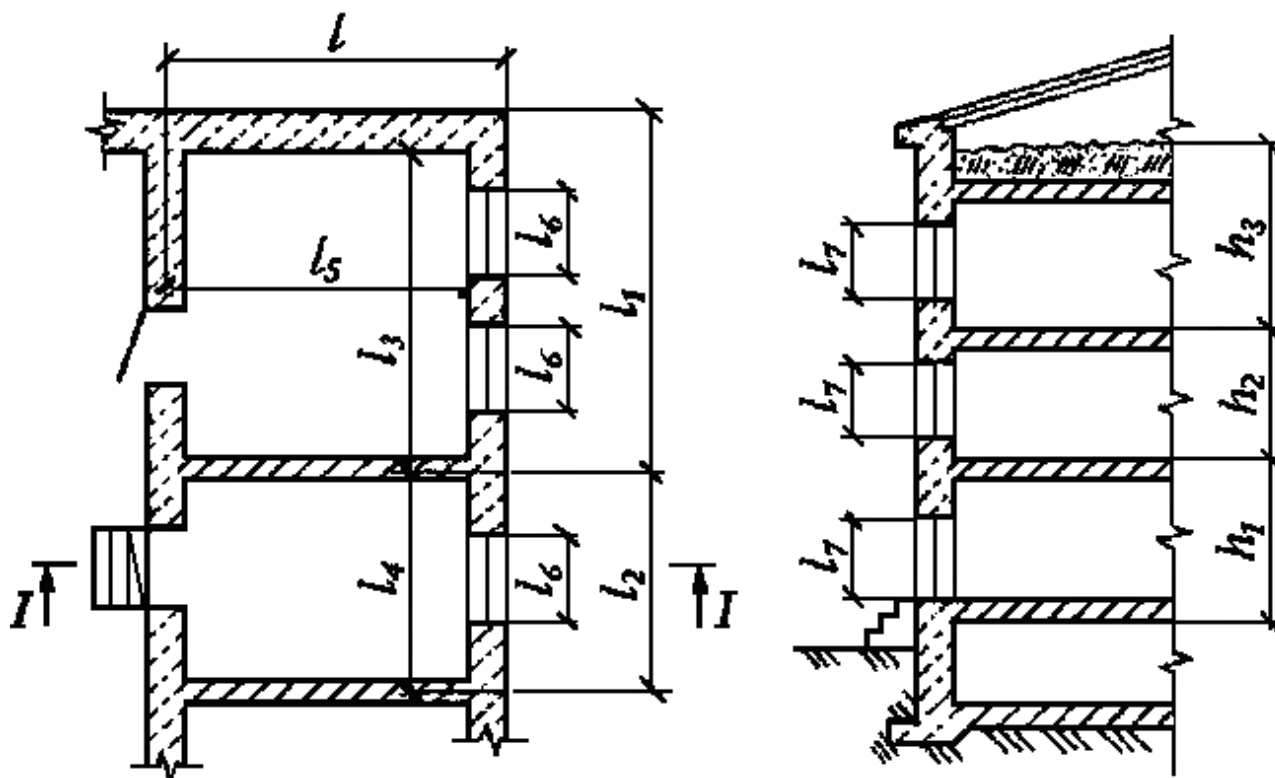


Рис. 4.1. Размеры ограждений помещения

2. Длину наружных стен углового помещения l и l_1 – от линии пересечения наружных поверхностей стен до осей внутренних перегородок:

– длину наружных стен в неугловых помещениях l_2 – между осями внутренних перегородок;

– длину внутренних стен – от внутренних поверхностей наружных стен до осей внутренних стен l_3 или между осями внутренних стен l_4 .

3. Длину и ширину потолков и полов над подвалами – между осями внутренних стен l_4 и от внутренней поверхности наружной стены до осей внутренних стен l_3 и l_5 .

4. Ширину и высоту окон или дверей l_6 и l_7 – по наименьшим размерам в свету.

Линейные размеры ограждений определяют с точностью до 0,1 м, а площади поверхностей ограждений – с точностью до 0,1 м².

Расчетную температуру внутреннего воздуха t_e в жилых, общественных и административно-бытовых помещениях для холодного и переходного периодов согласно приложению 1 СНиП 2.04.05-91 [20] принимают равной 18 ... 22°С.

В производственных помещениях t_e принимают с учетом приложения 2 СНиП 2.04.05-91 в зависимости от тяжести работы:

- для легкой – 21 ... 24°C;
- для средней тяжести – 17 ... 20°C;
- для тяжелой – 16 ... 18°C.

Расчетную температуру наружного воздуха t_n принимают по параметрам «Б» – для данной местности по приложению 8 СНиП 2.04.05-91.

Коэффициент передачи $k_{огр}$ (а также k_n) рассчитывают по требуемому термическому сопротивлению ограждения:

$$k = \frac{1}{R_{mp}},$$

$$R_{mp} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n} \text{ м}^2\text{ч}^\circ\text{С/кДж},$$

где α_e и α_n – коэффициенты теплообмена на внутренних и наружных поверхностях ограждения, кДж/м²ч°С; δ и λ – толщина, м, и теплопроводность, кДж/м²ч°С, слоев материала ограждения.

Коэффициенты α_e и α_n для разных конструкций приведены в табл. 4.1.

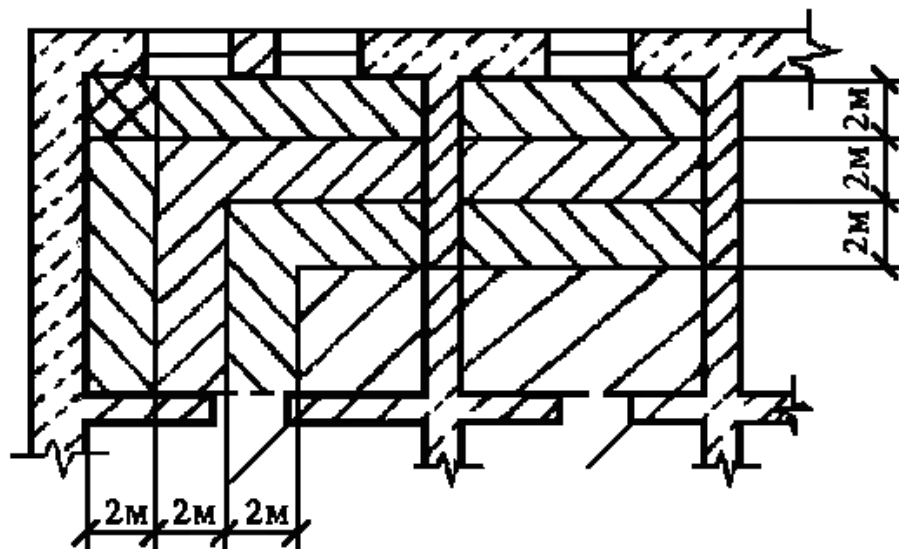
Таблица 4.1

Конструкция	Коэффициент	
	α_e , кДж/м ² ч°С	α_n , кДж/м ² ч°С
Внутренние поверхности наружных стен, полов и потолков	31,3	
Наружные стены перекрытия над проездами и открытыми холодными подпольями		84
Перекрытия над холодными подвалами и этажами		63
Чердачные перекрытия и перекрытия над подвалами с окнами		42
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами без окон		21

Теплопроводность λ , кДж/м²ч°С, некоторых материалов ограждений имеет следующие значения:

- бетон на щебне 6,7;
- железобетон 7,3;
- вата минеральная 0,18;
- хвойные породы дерева (поперек волокон) 0,63;
- хвойные породы дерева (вдоль волокон) 1,26;
- кирпич глиняный красный 1,9;
- штукатурка 3;
- рубероид 0,63.

Рис. 4.2. Разбивка пола на зоны



Теплопотери через пол, расположенный на грунте, зависят от размещения данного участка пола относительно наружной стены, поэтому площадь пола разбивают на зоны (рис. 4.2).

Запишем значения термических сопротивлений $R_{п.гр}$, $м^2 \cdot ^\circ C / кДж$, для каждой зоны пола на грунте:

- для первой зоны (расположенной на расстоянии до 2 м от наружной стены) – 0,6;
- для второй (от 2 до 4 м) – 1,2;
- для третьей (от 4 до 6 м) – 2,4;
- для остальной площади пола – 3,9.

Если пол имеет утепленный слой, то термическое сопротивление $R_{ут.п}$ зон пола определяется как сумма $R_{п.гр}$ утепляющих слоев:

$$R_{1ут.п} = 0,6 + \sum \frac{\delta}{\lambda}, \quad R_{2ут.п} = 1,2 + \sum \frac{\delta}{\lambda} \text{ и т.д.,}$$

где $\sum \frac{\delta}{\lambda}$ – сумма термических сопротивлений утепляющих слоев.

Утепляющими считаются слои, выполненные из материала с теплопроводностью меньше $4,19 \text{ кДж/м} \cdot ^\circ C$.

При расчете теплопотерь через полы, расположенные на лагах, термическое сопротивление каждой зоны

$$R_{1лаг} = 1,18 \left(R_{1п.гр} + \sum \frac{\delta}{\lambda} \right), \quad R_{2лаг} = 1,18 \left(R_{2п.гр} + \sum \frac{\delta}{\lambda} \right) \text{ и т.д.}$$

Теплопотери через заглубленные стены и полы подвалов определяют, разбивая стены и полы на зоны (рис. 4.3) и вычисляя R каждой зоны.

Коэффициент n в формуле для $Q_{пот}^{осн}$ зависит от положения наружного ограждения по отношению к наружному воздуху (табл. 4.2).

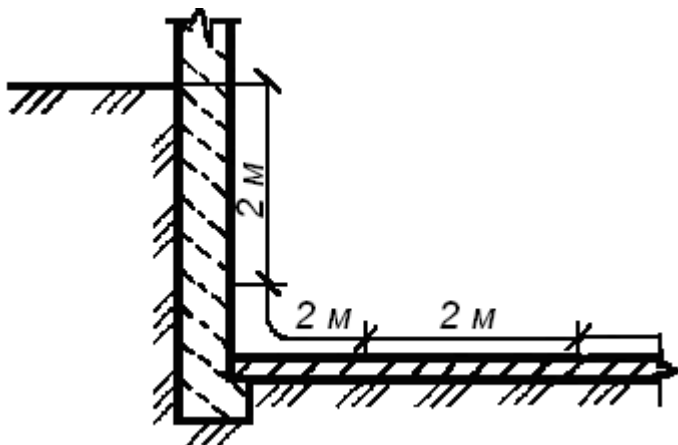


Рис.4.3. Разбивка заглубленных стен и полов на зоны

Таблица 4.2

Ограждение	Коэффициент n
Наружные стены, перекрытия чердачные и над проездами, над холодными подпольями выше уровня земли	1
Перекрытия над подпольями ниже уровня земли	0,4
Перекрытия над неотапливаемыми подвалами с окнами	0,75
Перекрытия без окон со стенами, расположенными выше уровня земли	0,6
Перекрытия без окон со стенами, расположенными ниже уровня земли	0,4

Для правильного составления теплового баланса помещения необходимо учитывать дополнительные потери тепла. Эти добавки принимают в процентах от основных теплопотерь:

$$Q_{пот} = Q_{пот}^{осн} + Q_{пот}^{ор} + Q_{пот}^{выс} + Q_{пот}^{дв} + Q_{пот}^{инф},$$

где $Q_{пот}^{ор}$ – учитывают ориентацию наружных ограждений здания. Для ограждений, ориентированных на север, восток, северо-восток и северо-запад, к основным теплопотерям добавляют 10%, а на юго-восток и запад – 5%. При наличии в одном помещении двух различно ориентированных наружных стен или более добавляют еще 5% от $Q_{пот}^{осн}$;

$Q_{пот}^{выс}$ – учитывают высоту помещения в общественном здании. Если высота помещения более 4 м, то на каждый метр высоты сверх 4 м вносят добавки 2% от $Q_{пот}^{осн}$;

$Q_{пот}^{дв}$ – учитывают потери тепла при открывании наружных дверей. При тройных и двойных дверях без тамбура $Q_{пот}^{дв} = 100n\%$ от

$Q_{пот}^{осн}$; при наличии тамбура – $80n\%$, при одинарных дверях – $65n\%$. Здесь n – число этажей помещения, примыкающего к входной двери (для лестничной клетки);

$Q_{пот}^{инф}$ – учитывают инфильтрацию воздуха (поступление холодного воздуха в помещение через щели и неплотности в окнах (и в ограждениях)).

В табл. 4.3 даны $Q_{пот}^{инф}$, %, от $Q_{пот}^{осн}$ для жилых, общественных и административных зданий. Для промышленных зданий добавка на инфильтрацию составляет $\sim 30\%$ от $Q_{пот}^{осн}$.

Таблица 4.3

Число этажей в здании	Добавочные потери тепла на этаж, %							
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й
3	5	-	-	-	-	-	-	-
4	10	5	-	-	-	-	-	-
5	10	10	5	-	-	-	-	-
6	15	10	5	5	-	-	-	-
7	20	15	10	5	-	-	-5	-
8	20	15	10	10	5	-	-	-5

Для промышленных зданий учитывают и другие потери тепла: нагревание вносимых в помещение холодных материалов, въезжающий транспорт и др.

Часто возникает необходимость определения ориентировочных затрат теплоты на отопление всего здания. Такие данные нужны для проектирования котельной и предварительного заказа основного санитарно-технического оборудования и топлива.

Для укрупненного расчета вводят понятие «удельная тепловая характеристика здания» X , $\text{кДж/м}^3\text{ч}^\circ\text{С}$. Эту величину определяют по формуле

$$X = 4,19[(1 + 2d)F + S]/V,$$

где d – степень остекления наружных стен здания в долях единицы; F – площадь наружных стен, м^2 ; S – площадь здания в плане, м^2 ; V – объем здания, м^3 .

Ориентировочные значения теплотерь здания рассчитывают так:

$$Q_{пот} = XV(t_{ср.в.} - t_n) \text{ кДж/ч,}$$

где $t_{ср.в.}$ – средняя температура отапливаемых помещений здания, $^\circ\text{С}$.

4.3. Тепловая мощность системы отопления и пример составления теплового баланса и определения тепловой мощности отопительной системы

Система отопления должна поддерживать внутри помещения температуру воздуха t_g , установленную гигиеническими нормами, СНиП или условиями технологического процесса.

В отдельных производственных помещениях при отсутствии людей и временной остановке техпроцесса возможно устройство систем, обеспечивающих минимальные положительные температуры воздуха (например $+5^{\circ}\text{C}$, чтобы в помещении не замерзла вода и не лопнули трубопроводы). Такие системы называются системами дежурного отопления.

Количество теплоты, которое должна подавать система отопления в помещение или здание (тепловая мощность системы) $Q_{сист}$ кДж/ч, рассчитывают по формуле

$$Q_{сист} = (\sum Q_{пот} - \sum Q_{пост})k,$$

где $\sum Q_{пот}$ – сумма тепловых потерь в помещении, а в здании – сумма теплопотерь во всех помещениях здания; $\sum Q_{пост}$ – то же для теплопоступлений; k – коэффициент, учитывающий бесполезные потери тепла системой (на чердаках, в подвалах и т.п.). Для производственных помещений $k = 1,1$, для остальных $k = 1,15$.

Определяя тепловую мощность системы, учитывают максимально возможные потери (в холодный период года) и минимальные теплопоступления при эксплуатации здания.

Конструкция системы отопления должна обеспечить не только подачу нужного количества тепла в здание, но и равномерное распределение его по всему объему помещений.

Пример

Найти тепловую мощность отопительной системы в общественном помещении (аудитории) для самого холодного периода года (см. рис. 4.1). Здание 3-этажное в г. Чернигове ($t_n = 1,15^{\circ}\text{C}$ по приложению 8 СНиП 2.04.05-91 [20]). Помещение расположено над неотапливаемым подвалом, не имеющим окон; торец здания ориентирован на восток. В аудитории и граничащих с ней помещениях должна поддерживаться одинаковая температура воздуха. Теплопоступлений в помещение нет.

Внутренние размеры помещений, м:

- в плане – с торца 8 – 9 – со стороны окон;
- высота – 3,2;
- толщина наружных стен – 0,5;
- толщина перегородок – 0,1;
- толщина перекрытий – 0,6.

Размеры одного окна: ширина – 2, высота – 1,8.

Известны коэффициенты теплопередачи ограждений:

– для стен в два кирпича с внутренней штукатуркой

$$k_{н.с} = 4,18 \text{ кДж/м}^2\text{ч}^\circ\text{С};$$

– пола

$$k_{п} = 2,88 \text{ кДж/м}^2\text{ч}^\circ\text{С};$$

– двойных окон в деревянных переплетах

$$k_{д.о} = 10,4 \text{ кДж/м}^2\text{ч}^\circ\text{С}.$$

Расчет

Так как тепlopоступления равны нулю, то при расчете системы отопления учитываем только тепловые потери. Теплотери через перегородки и потолок не учитываются, так как $(t_{в} - t_{н}) = 0^\circ\text{С} < 5^\circ\text{С}$.

Для удобства теплотери рассчитывают на специальном бланке (табл. 4.4). Названия ограждающих конструкций и их ориентацию записывают сокращенно, например: НС – наружная стена; ДО – окно с двойным остеклением; ОО – окно с одинарным остеклением; Пл – пол; Пт – потолок и т.д.

Нумерацию помещений первого этажа начинают с номера 101, второго – с номера 201 и т.д. Помещения лестничных клеток, проходящие через несколько этажей, обозначают буквами А, Б, В и т.д. Теплотери лестничной клетки определяют так же, как и теплотери одного помещения (по всей высоте клетки).

Для упрощения удобно из площади стен не вычитать площадь окон и дверей, но коэффициенты k_0 и k_d принимать уменьшенными на величину $k_{н.с}$ для стен. Суммарные теплотери помещения при этом не меняются.

Тепловая мощность отопительной системы для помещения

$$Q_{сист} = k \sum Q_{пот} = 115 \cdot 24 \cdot 203 = 27833 \text{ кДж/ч}.$$

Это мощность для самого холодного периода года, но так как температура наружного воздуха постоянно меняется, то текущие затраты теплоты на отопление непостоянны. Средний расход тепла в течение отопительного периода

$$Q_{сист.ср} = Q_{сист} \frac{t_{в} - t_{н.ср}}{t_{в} - t_{н}},$$

где $t_{н.ср}$ – средняя температура отопительного периода (для г. Чернигова $t_{н.ср} = -3,5^\circ\text{С}$).

$$\text{Тогда } Q_{сист.ср} = 27833 \frac{20 + 3,5}{20 + 27} = 13917 \text{ кДж/ч}.$$

Годовой расход теплоты

$$Q_{сист.г} = Q_{сист.ср} Z_{о.п} = 13917 \cdot 214 \cdot 24 = 7,1510^7 \text{ кДж/год},$$

Таблица 4.4

Номер помещения	Назначение помещения и температура воздуха в нем	Ограждение			Площадь ограждения $F_{огр}, M^2$	Коэффициент теплопередачи $k_{огр},$ $кДж/м^2 \cdot ^\circ C$	Разность температур $(t_{в} - t_{н}), ^\circ C$	Поправочный коэффициент η	Основные потери тепла, $Q_{осн},$ $кДж/ч$	Добавки к теплотерям, %		Общий добавочный множитель	$Q_{пот}$ с добавками, $кДж/ч$
		Название	Ориентация	Размеры, м						На ориентацию $Q_{ор},$ $Q_{пот}$	Другие $Q_{инф},$ $Q_{пот}$		
101	Общественное $t_{в}=20^\circ C$ (приложение 1 СНиП 2.04.05-91)	НС	В	8,55x4,4	37,6	4,18	47	1	7387	10+5	5	1,2	8864
		НС	Ю	9,55x4,4	42	4,18	47	1	8251	5	5	1,1	9076
		ДО	Ю	2x1,8x2	7,2	10,4-4,18	47	1	2105	5	5	1,1	2316
		Пл	-	8,05x9,05	72,9	2,88	47	0,4	3947	-	-	1	3947
											$\Sigma Q_{пот} = 24203$		
201	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

где $Z_{o.л}$ – продолжительность отопительного периода, ч (для г. Чернигова $Z_{o.л}^{сум} = 214$ суток).

4.4. Классификация систем отопления

Система отопления здания состоит из трех основных частей:

1. Генератор тепла (котельная установка, электронагревательный элемент) преобразует химическую энергию топлива или электроэнергию в тепловую энергию, передаваемую теплоносителю.

2. Коммуникации (системы трубопроводов), по которым перемещается теплоноситель.

3. Отопительные приборы, передающие тепло от теплоносителя воздуху отапливаемого помещения.

В зависимости от радиуса действия системы отопления разделяют на местные и центральные.

В местных – генератор тепла, теплопроводы и отопительные приборы объединены в одном устройстве, находящемся в одном помещении (например, печи, электрические радиаторы).

В центральных отопительных системах генератор тепла размещают вне отапливаемых помещений, а в помещения теплоноситель подают по системе трубопроводов. Один генератор тепла может отапливать несколько зданий.

По виду теплоносителя системы отопления разделяют на водяные, паровые, воздушные и комбинированные. Особенность пара: процесс теплоотдачи теплоносителя происходит за счет конденсации пара без изменения температуры. Вода и воздух в отличие от пара позволяют изменять температуру в зависимости от изменения температуры наружного воздуха.

В зависимости от способа перемещения теплоносителя отопительные системы бывают с естественной или искусственной циркуляцией.

В системах с естественной циркуляцией вода (или воздух) перемещается вследствие того, что плотность нагретого теплоносителя меньше, чем охлажденного. Такие системы используют редко и только при условии, что генератор тепла находится в том же здании, а горизонтальная протяженность коммуникаций от генератора до отопительного прибора не превышает 30 м. Генератор тепла должен располагаться как минимум на 3 м ниже нагревательных приборов.

Для отопления зданий в основном применяют системы с искусственной циркуляцией, где вода (или воздух) перемещается с помощью механической энергии, передаваемой им циркуляционным насосом или вентилятором.

По расположению магистральных трубопроводов системы разделяют на системы с верхней, нижней и поэтажной разводкой.

По схеме присоединения отопительных приборов к трубопрово-

дам системы подразделяют на двухтрубные, когда отопительные приборы подключаются параллельно, и однетрубные, когда отопительные приборы подключаются последовательно. В однетрубных системах теплоноситель подводят к прибору и отводят от него по одной трубе.

По расположению участков системы, по которым теплоноситель подводят к отопительным приборам, системы разделяют на вертикальные и горизонтальные.

По направлению движения теплоносителя в трубопроводах системы бывают с попутным и тупиковым движением теплоносителя.

Систему отопления выбирают в зависимости от числа этажей здания, его планировки, режима эксплуатации отопительной системы и других факторов. Рекомендации по выбору систем отопления зданий различного назначения приведены в приложении 11 СНиП 2.04.05-91 [20].

4.5. Конструкции отопительных приборов. Расчет площади их теплоотдающей поверхности

Отопительные приборы предназначены для передачи тепла от теплоносителя отапливаемому помещению. Их подразделяют на металлические (чугунные, стальные, из цветных металлов), комбинированные (бетонные панели со стальными змеевиками внутри) и неметаллические (керамические, бетонные с полиэтиленовыми змеевиками).

По конструкции приборы разделяют на радиаторы, конвекторы, бетонные отопительные панели, гладкие и оребренные трубы.

Чугунные радиаторы (рис. 4.4) собирают из отдельных литых секций, соединяемых ниппелями (рис. 4.5). Из секций можно собрать прибор с теплоотдающей поверхностью, близкой к расчетной.

Недостатки чугунных приборов – большая металлоемкость и ручной труд при изготовлении и монтаже.

Стальные радиаторы из двух штампованных листов толщиной 1,25 ... 1,5 мм (рис. 4.6) гораздо легче чугунных, дешевле, требуют меньших затрат ручного труда. Однако по сравнению с чугунными у них большая коррозионность, а значит меньше срок службы и больше расходы на подготовку воды для снижения внутренней коррозии.

Конвекторы – отопительные приборы, изготовленные из стальных труб с насаженными на них ребрами из листовой стали. Часто конвекторы закрывают кожухами. Недостаток их – относительно малая теплоотдача, достоинство – малые потери давления при протекании теплоносителя, поэтому их используют в многоэтажных зданиях, что позволяет уменьшить мощность насоса, перекачивающего теплоноситель через систему.

В крупнопанельных зданиях для отопления иногда применяют бетонные панели со встроенными в них нагревательными элементами

из чугуновых, алюминиевых или стальных труб.

Теплоотдача труб, замоноличенных в бетонный массив, повышается вследствие увеличения теплоотдающей поверхности. Другое достоинство бетонных панелей заключается в том, что их можно изготовлять прямо на строительной площадке, они хорошо вписываются в интерьер помещения.

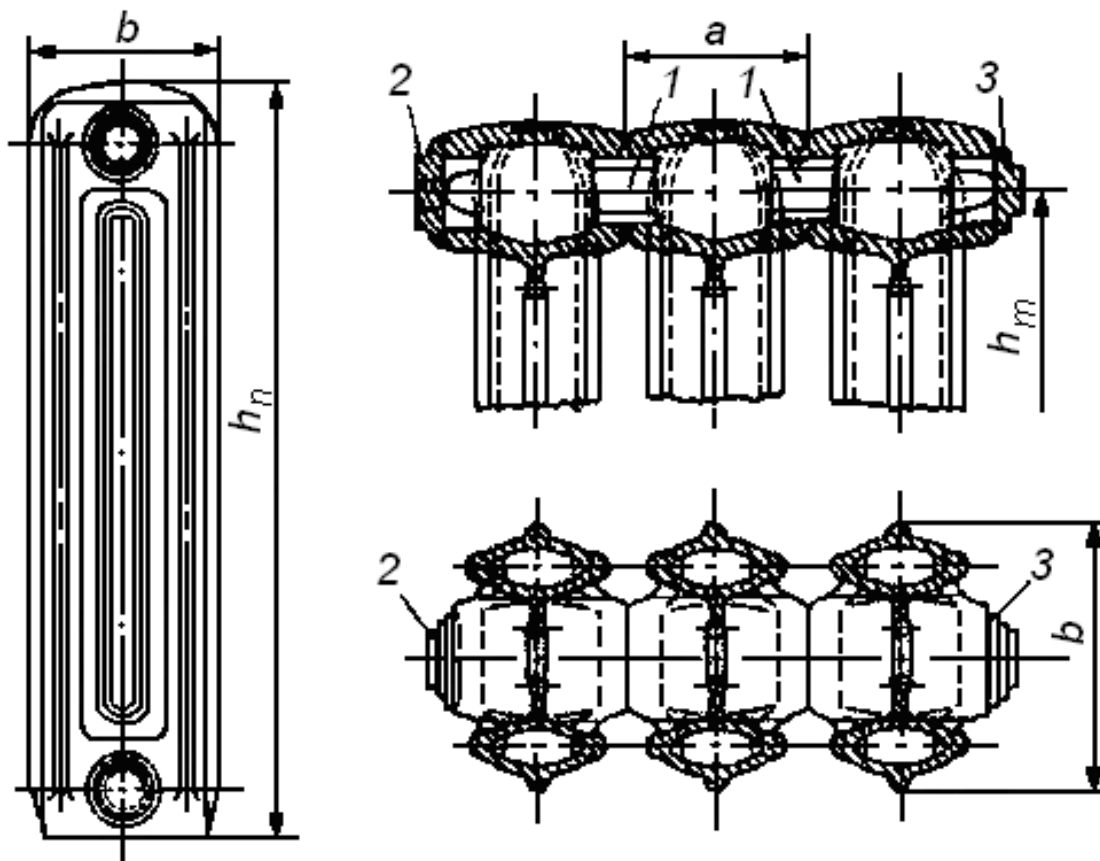


Рис. 4.4. Чугунный радиатор М-140: 1 – ниппель; 2 – проходная футорка; 3 – глухая пробка

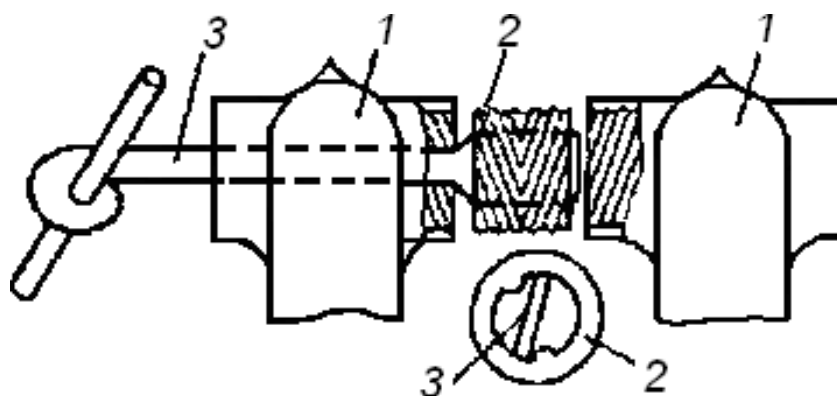


Рис. 4.5. Сборка чугунного радиатора: 1 – секция; 2 – ниппель; 3 – радиаторный ключ

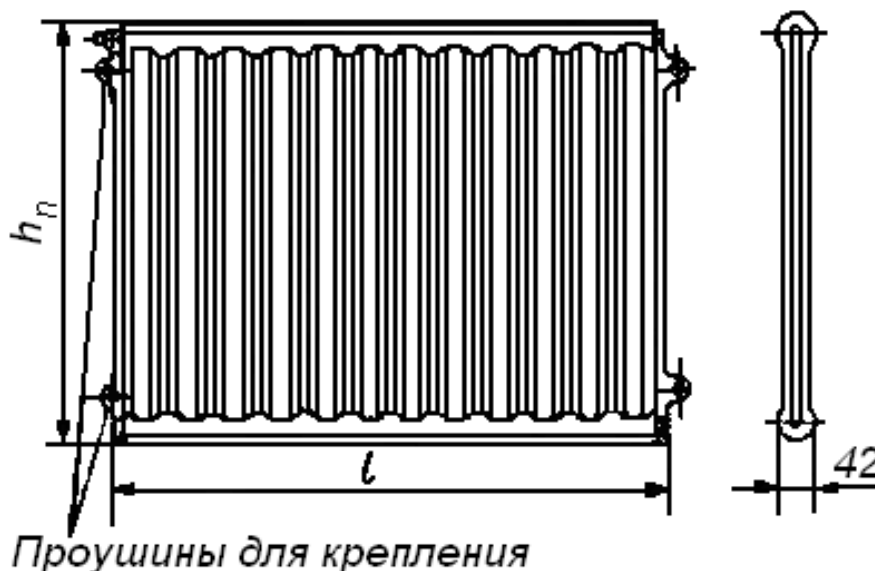


Рис. 4.6. Стальной радиатор

Недостатки бетонных панелей – сложность ремонта, большая масса, замедляющая прогревание панелей. Чаще всего панели размещают под окнами, чтобы обеспечить нагревание поступающего в помещение наружного воздуха. Для снижения теплопотерь через наружную стену за панелью устанавливают теплоизоляцию.

Самые простые по конструкции – отопительные приборы из гладких труб (рис. 4.7), которые сваривают. Такие приборы в основном устанавливают в запыленных помещениях (деревообрабатывающие цехи, шлифовальные и т.п.), так как их легко очищать от пыли. Недостатки – большие габариты и расход металла.

Чугунные ребристые трубы (рис. 4.8) из-за их низких гигиенических качеств используют только в производственных помещениях, где нет выделения пыли, а также в помещениях с повышенной влажностью (прачечные, бани).

Отопительные приборы для помещений и системы отопления выбирают одновременно на основании рекомендаций приложения 11 СНиП 2.04.05-91 [20].

Например, для общественного помещения можно применить центральное водяное отопление с радиаторами или конвекторами с двухтрубным присоединением при температуре теплоносителя 95°C.

Отопительные приборы устанавливают обычно под окнами таким образом, чтобы расстояние от низа прибора до пола было 60 ... 100 мм, а зазор между радиатором и стеной 30 ... 60 мм.

Если прибор устанавливают под подоконником, то теплоотдача ухудшается на 2 ... 5%. Окрашивание приборов в светлые тона уменьшает их теплоотдачу по сравнению с неокрашенными лишь на 1 ... 2%, а при алюминиевой или медной окраске – на 25%; при окраске в темные тона теплоотдача увеличивается на 3 ... 5%.

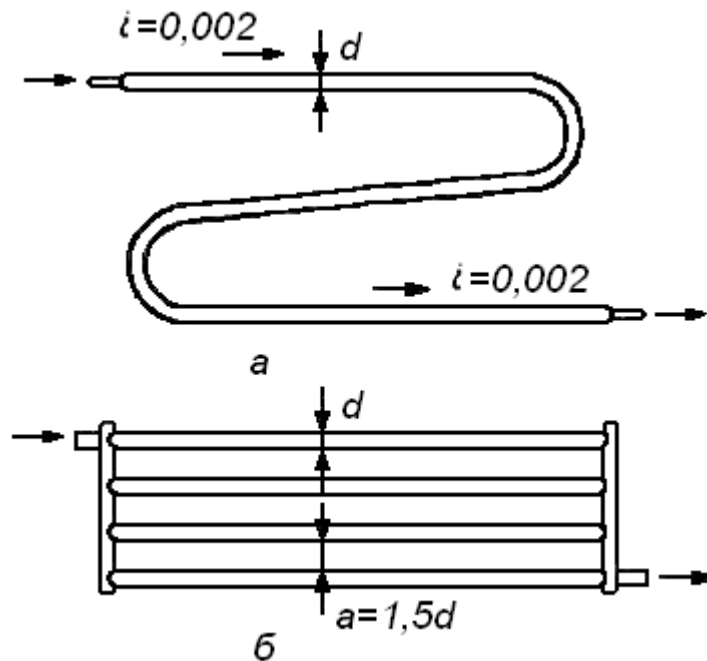


Рис. 4.7. Отопительные приборы из гладких труб

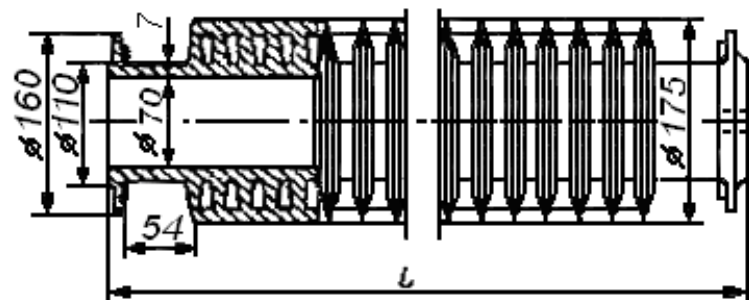


Рис. 4.8. Чугунная ребристая труба

К трубопроводам отопительные приборы можно присоединить, используя разные схемы (рис. 4.9). Наиболее распространенные схемы «сверху вниз» и «снизу вверх». Приборы верхнего этажа удобнее присоединять по схеме «снизу вниз». В пределах одного помещения можно устанавливать приборы «на сцепке». Приборы с большой горизонтальной протяженностью, например, радиаторы с числом секций более 25, надо присоединять по диагональной схеме.

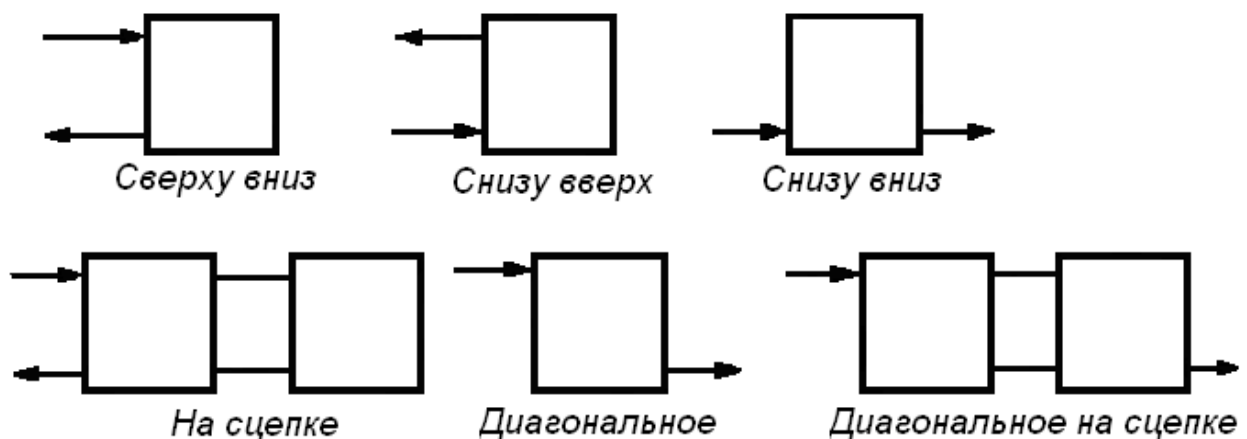


Рис. 4.9. Схемы присоединения отопительных приборов

Отопительные приборы должны отдавать такое количество теплоты $Q_{сист}$, чтобы обеспечить в помещении заданную температуру t_e . Если $Q_{сист}$ известно, то необходимую площадь теплоотдающей поверхности отопительных приборов, m^2 , можно определить по формуле

$$F_{пр} = \frac{Q_{сист}}{k_{пр}(t_{ср.м} - t_e)},$$

где $k_{пр}$ – коэффициент теплопередачи прибора, $кДж/м^2ч^{\circ}C$; $t_{ср.м}$ – средняя температура теплоносителя в приборе, $^{\circ}C$.

Если теплоноситель – вода, то $t_{ср.м}$ – среднее значение между температурами воды, входящей в прибор t_e (горячая вода) и выходящей из прибора t_o (обратная вода):

$$t_{ср.м} = \frac{t_e + t_o}{2}.$$

Чаще всего в системах водяного отопления принимают $t_e = 95^{\circ}C$ и $t_o = 70^{\circ}C$ (для рассчитываемой аудитории это согласуется со СНиП).

Для расчета системы отопления следует также знать площади секций отопительных приборов и $k_{пр}$ (табл. 4.5) при $t_e = 20^{\circ}C$.

Таблица 4.5

Прибор	$F_{пр}^{секц}, m^2$	$k_{пр}, кДж/м^2ч^{\circ}C$
Радиатор чугунный: М-140-АО	0,287	35,6
РД-90	0,203	36,4
Радиатор стальной штампованный МЗ-500, $\ell = 518$ мм	0,64	36,9
Ребристая чугунная труба $\ell = 1000$ мм	2	~20

Принимая для рассматриваемого примера в качестве отопительных приборов чугунные радиаторы М-140-АО (в соответствии со СНиП), получаем

$$F_{пр} = \frac{27833}{35,6 \left(\frac{95 + 70}{2} - 20 \right)} = 12,5 m^2.$$

Такую площадь должна иметь общая теплоотдающая поверхность чугунных радиаторов, установленных в аудитории.

Количество секций чугунных радиаторов

$$Z = \frac{F_{пр}}{F_{пр}^{секц}} = \frac{12,5}{0,287} = 44 \text{ шт.}$$

Общая длина состыкованных секций

$$\ell = \ell_{секц} Z = 0,096 \cdot 44 = 4,22 \text{ м.}$$

Так как ширина каждого из двух окон равна 2 м и с учетом того, что трубопроводы, соединяющие элементы отопительной системы, также отдают тепло помещению, то под каждым окном размещаем

радиатор, состоящий из $Z' = 20$ ($Z = \frac{2 \text{ м}}{0,096 \text{ м}} = 20,8$ округляем в

меньшую сторону).

Таким образом, спроектирована система отопления общественного помещения, которая сможет обеспечить требуемую температуру воздуха даже в самый холодный период года.

Теперь рассмотрим расположение элементов отопительной системы всего здания для самых распространенных систем водяного отопления.

4.6. Системы водяного отопления

В системах водяного отопления подающие магистрали располагают на чердаке или под потолком верхнего этажа (верхняя разводка магистрали). При нижней разводке магистрали прокладывают по полу первого этажа или в подвале. При любом положении магистрали схема подведения теплоносителя к приборам может быть двухтрубной, т.е. воду подводят к прибору по одному стояку, а отводят по другому, или однотрубной, когда горячую воду подводят и отводят по одному стояку.

При движении воды по горячей и обратной магистрали в одном направлении система называется с попутным движением воды, а при движении в противоположные стороны – с тупиковым.

Рассмотрим схему двухтрубной системы водяного отопления с естественной циркуляцией теплоносителя, верхней разводкой, тупиковым движением воды (рис. 4.10).

В генераторе тепла 1 воду нагревают до температуры t_g и по главному стояку 2 подают к горячей магистрали 3 (расположенной вверху помещения), откуда подводят ее к горячим стоякам 4 (вертикальным участкам системы) и по ним подают на каждый этаж к горячим подводкам 5, подводящим горячую воду непосредственно к отопительным приборам 6.

На горячей подводке устанавливают кран 7, предназначенный для регулирования количества воды, подаваемой в прибор. Пройдя по прибору, вода по обратной подводке 8, обратному стояку 9 и обратной магистрали 10 поступает с температурой t_0 в генератор теп-

ла, замкнув циркуляционное кольцо.

Для регулирования расхода теплоносителя на всех частях системы устанавливают задвижки 11, а также тройники с вывертывающейся пробкой 12 для удаления из системы воздуха или слива воды. В верхней точке системы отопления помещают расширительный сосуд 13 для приема дополнительного объема воды, образующегося при ее нагревании.

В схеме с искусственной циркуляцией теплоносителя перед генератором тепла устанавливают циркуляционный насос 14, а в отдаленной точке магистрали ставят воздухоотборник 15.

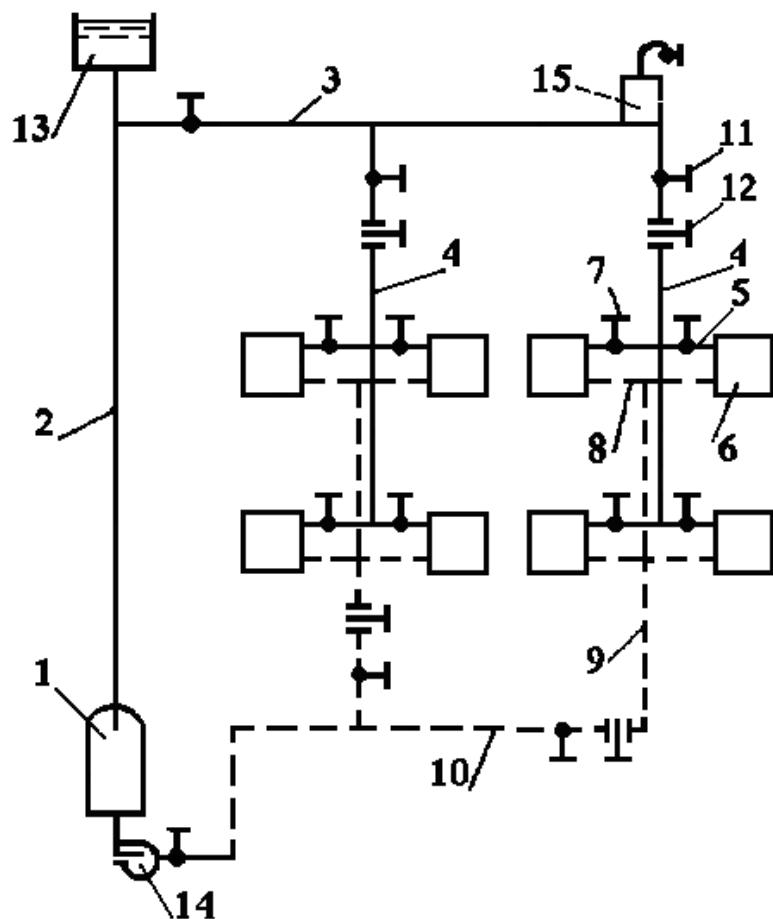


Рис. 4.10. Двухтрубная система

Однотрубные системы отличаются от двухтрубных конструкцией стояка. На рис. 4.11 показана схема стояка однотрубной системы водяного отопления с нижней разводкой.

Расход воды в системе, кг/ч, вычисляют по формуле

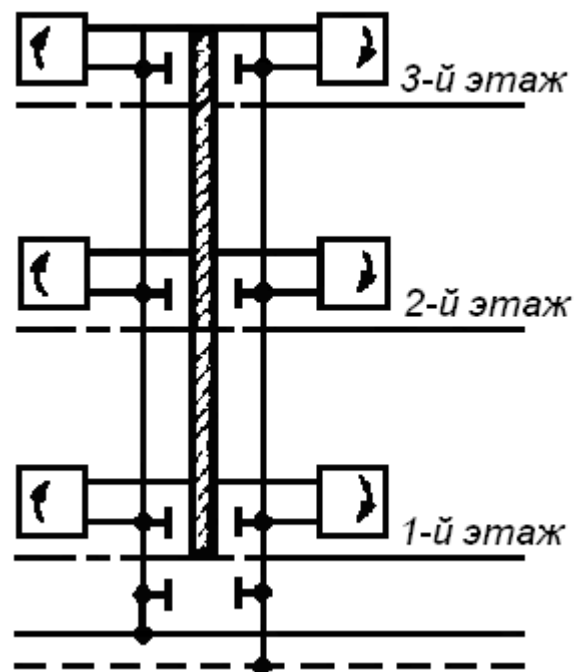
$$G_{сист} = \frac{Q_{сист}}{c(t_2 - t_0)},$$

где $c \approx 4,2$ кДж/кг $^{\circ}$ С – удельная теплоемкость воды.

Для рассматриваемого примера

$$G_{сист} = \frac{27833}{4,2(95 - 70)} \approx 442 \text{ кг/ч.}$$

Рис. 4.11. Однотрубная система



Подачу такого расхода обеспечивает циркуляционный насос. Давление (напор), которое должен создавать насос, определяют путем суммирования потерь давления из-за трения теплоносителя о внутренние поверхности элементов отопительной системы (о стенки трубопроводов, отопительных приборов и т.д.), за вычетом давления, создаваемого из-за постепенного остывания теплоносителя к концу участков системы (давление естественной циркуляции).

4.7. Электрическое отопление

Тепловую энергию для отопления можно получать путем преобразования электрической энергии. Наряду с системами водяного отопления широко распространены системы электрического отопления.

Достоинства систем электрического отопления:

- нет продуктов сгорания топлива и, следовательно, выбросов, загрязняющих атмосферу (хотя на ТЭС, где вырабатывается электроэнергия, они есть);
- сравнительно простая конструкция систем;
- высокий КПД;
- подача тепла легко автоматизируется.

Недостатки:

- высокая температура греющих элементов (не во всех конструкциях), поэтому повышенная пожароопасность;
- большие эксплуатационные расходы из-за высокой стоимости электроэнергии.

Электрические отопительные приборы разделяют на высокотемпературные с температурой греющих элементов больше 70°C (масляные радиаторы, рефлекторы-отражатели) и низкотемпературные с

температурой поверхностей 25 ... 70°C.

Низкотемпературные приборы изготавливают из огнеупорных материалов с заделанными в них спиралями или в виде панелей, внутри которых проходят кабели.

Теплоотдача электроотопительного прибора зависит от длины, поперечного сечения и материала проводника и напряжения сети.

Количество теплоты, отдаваемой поверхностью проводника,

$$Q = \frac{\pi d \ell}{1000} \alpha (t_{\text{пров}} - t_{\text{с}}) \text{ Вт}, \quad (4.1)$$

где d – диаметр проводника, мм; ℓ – длина проводника, м; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м²°C; $t_{\text{пров}}$ – температура проводника, °C.

Мощность отопительного прибора по закону Ома

$$Q = IU = \frac{U^2}{R} \text{ Вт.}$$

Сопротивление проводника R , Ом, можно выразить через удельное сопротивление r , Ом·мм²/м, длину ℓ , м, и площадь поперечного сечения, F , мм²:

$$R = \frac{r \ell}{F} = \frac{4 r \ell}{\pi d^2},$$

тогда

$$Q = \frac{U^2 \pi d^2}{4 r \ell}. \quad (4.2)$$

Из уравнения (4.1)

$$d = \frac{1000 Q}{\pi \ell \alpha (t_{\text{пров}} - t_{\text{с}})}.$$

Подставляя полученное значение d в (4.2), определяем

$$Q = \frac{U^2 \pi 1000^2 Q^2}{4 r \ell^3 \pi^2 \alpha^2 (t_{\text{пров}} - t_{\text{с}})^2}.$$

Тогда длина проводника

$$\ell = 433 \sqrt{\frac{U^2 Q}{r \alpha^2 (t_{\text{пров}} - t_{\text{с}})^2}}.$$

Для более точного расчета надо учесть, что удельное сопротивление проводника r изменяется в зависимости от его температуры:

$$r_t = r_{20} (1 + \alpha_c (t_{\text{пров}} - 20)),$$

где r_{20} – удельное сопротивление проводника при температуре 20°C, α_c – температурный коэффициент изменения сопротивления проводника на градус повышения температуры.

Рассчитаем электроотопительный прибор для обогрева рассматриваемого общественного помещения.

Допустим, что проводник отопительного прибора изготовлен из константана, для которого

$$r_{20} = 0,48 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}, \quad \alpha_c = 0,00004.$$

Согласно приложению 11 СНиП 2.04.05-91 [20] температура теплоотдающей поверхности электрических отопительных приборов, устанавливаемых в общественном помещении, $t_{\text{пов}} = 95^\circ\text{C}$. При этой температуре коэффициент теплоотдачи проволоки равен $26 \dots 52 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ при $d = 3 \dots 0,5 \text{ мм}$. Выберем предварительно $d = 3 \dots 0,5 \text{ мм}$, тогда $\alpha = 36 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Напряжение электросети в общественных помещениях равно $U = 220 \text{ В}$. Определим длину проводников отопительных приборов, необходимую для поступления в помещения тепла

$$Q = Q_{\text{пот}} = 24203 \text{ кДж/ч}, \quad \frac{24203}{3,6} = 6723 \text{ Вт.}$$

Тогда для каждого из

двух приборов, расположенных под окнами, $Q = 3361,5 \text{ Вт}$:

$$\ell = 433 \sqrt{\frac{200^2 \cdot 3361,5}{0,481 \cdot 36^2 (95 - 20)^2}} = 155 \text{ м},$$

где $r_{95} = 0,48[1 + 0,00004(95 - 20)] = 0,481$, $\text{Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

Пересчитаем

$$d' = \frac{1000 \cdot 3361,5}{\pi 155 \cdot 36 \cdot 75} = 2,6 \text{ мм}.$$

Для этого диаметра $\alpha = 30 \text{ Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Теперь рассчитаем длины проводников во втором приближении:

$$\ell' = 433 \sqrt{\frac{200^2 \cdot 3361,5}{0,481 \cdot 30^2 75^2}} = 174 \text{ м},$$

$$d'' = \frac{1000 \cdot 3361,5}{\pi 174 \cdot 30 \cdot 75} = 2,7 \approx d,$$

принимаям ℓ' и d'' как окончательные значения.

5. ПОЛИГОНЫ ПО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ТОКСИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ

Полигоны – это природоохранные сооружения, предназначенные для централизованного сбора, обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий и учреждений.

В состав полигона входят:

– завод по обезвреживанию токсичных промышленных отходов,

предназначенный для сжигания и физико-химической переработки отходов в целях их обезвреживания или понижения токсичности (класса опасности), перевода их в нерастворимые формы, обезвреживания и сокращения объема отходов, подлежащих захоронению.

– участок захоронения токсичных промышленных отходов, т.е. территория для размещения специально оборудованных котлованов, в которые складировуют токсичные твердые отходы (карты), а также вспомогательные здания и сооружения.

– гараж автотранспорта для перевозки токсичных промышленных отходов, поступающих на полигон.

По своим физико-химическим свойствам и методам переработки промышленные токсичные отходы подразделяют на группы, в зависимости от которых применяется тот или иной метод обезвреживания и захоронения:

1-я группа. Жидкие отходы гальванических производств, слабо-кислые или щелочные, содержащие соли металлов или их гидроксиды. Эти отходы перерабатывают физико-химическим методом, который заключается в понижении валентности металлов, нейтрализации, осаждении гидроксидов и других нерастворимых солей, фильтрации. Осадки после фильтрации транспортируют на захоронение в специальные карты, а фильтрат – на очистку.

2-я группа. Жидкие шламовые осадки очистных сооружений. К ним помимо компонентов первой группы относятся минеральные соли. Метод переработки отходов – физико-химический.

3-я группа. Жидкие, твердые и смолообразные отходы, содержащие соединения мышьяка. Способ переработки – физико-химический, он заключается в переводе соединений мышьяка в арсенид кальция, отстаивании и фильтрации. Осадок после фильтрации транспортируют на захоронение в специальные карты, а фильтрат – на выпарку.

Твердые и смолообразные отходы погружают в герметичные контейнеры и отправляют в специальные карты.

4-я группа. Твердые и жидкие отходы с цианистыми соединениями. Способ переработки – физико-химический, заключается в дроблении твердых отходов и их перемешивании с жидкими отходами или водой, переводе цианидов в цианаты, отстаивании и фильтрации. Осадок после фильтрации транспортируют в специальные карты, а фильтрат – на локальные очистные сооружения.

5-я группа. Органические горючие отходы – твердые, жидкие и пастообразные. К ним относятся обтирочные материалы, загрязненные опилки, ветошь, загрязненная деревянная тара, смолы, мастика, промасленная бумага и упаковка, обрезки пластмасс, оргстекла, остатки лакокрасочных материалов, пестициды, масла, нефтепродукты, не подлежащие регенерации, загрязненные растворители.

Метод переработки – термическое обезвреживание с утилизацией тепла отходящих газов для выработки водяного пара энергетических параметров в котлах-утилизаторах и с системой очистки отходящих

газов от пыли и паров хлористого водорода, фтористого водорода и оксидов серы. Зола и шлак, образующиеся при сжигании отходов, транспортируют на захоронение.

6-я группа. Жидкие органические горючие отходы, содержащие не менее 40% хлора (загрязненные растворители, кубовые остатки). Метод переработки – термическое обезвреживание с утилизацией тепла отходящих газов для выработки водяного пара в котлах-утилизаторах и с системой утилизации хлористого водорода в виде раствора соляной кислоты, хлористого кальция или других солей.

7-я группа. Сточные воды, не подлежащие обезвреживанию физико-химическими и биологическими методами (слабокислые или щелочные растворы, содержащие органические и минеральные соли или вещества). Эти отходы обезвреживают термически с последующей очисткой от уноса солей. Смесь минеральных солей, образующихся в результате термического обезвреживания, выводят путем фильтрации (сушкой), а затем транспортируют на захоронение в специальные карты.

8-я группа. Твердые отходы гальванических производств, представляющие собой смесь солей металлов или их гидроксидов. При необходимости из них извлекают ценные металлы, а оставшуюся часть подвергают захоронению в специальные карты.

9-я группа. Ртутьсодержащие отходы (неисправные ртутные лампы). Их переработка заключается в демеркуризации ламп с утилизацией ртути и других ценных металлов.

10-я группа. Песок, загрязненный нефтепродуктами, которые перерабатывают посредством прокаливания с утилизацией песка и последующей очисткой дымовых газов от уноса песка и примесей вредных веществ.

11-я группа. Формовочная земля, загрязненная органическими веществами, перерабатываемыми путем прокаливания с утилизацией земли и последующей очисткой дымовых газов от уноса земли и примесей вредных веществ.

12-я группа. Испорченные и немаркированные баллоны с остатками веществ. Баллоны взрывают в специальной камере, затем промывают и нейтрализуют. Промывные воды направляют на физико-химическое или термическое обезвреживание.

13-я группа. Твердые и пастообразные сильнодействующие ядовитые вещества (мышьяковый и мышьяковистый ангидриды, сулема, соли синильной кислоты, соли нитрилакриловой кислоты). Эти отходы затаривают в герметичные контейнеры и отправляют в специальные карты.

Жидкие токсичные промышленные отходы перед вывозом их на полигон по возможности должны обезвреживаться на предприятиях. На полигон принимают жидкие токсичные отходы только от промышленных предприятий, на которых при соответствующем технико-экономическом обосновании нерационально их обезвреживание.

- Приему на полигон не подлежат следующие виды отходов:
- для которых разработаны эффективные методы извлечения металлов или других веществ;
 - радиоактивные;
 - нефтепродукты, подлежащие регенерации.

5.1. Размещение полигонов

Полигоны размещают:

- на площадках, где возможно осуществление мероприятий и инженерных решений, исключающих загрязнение окружающей среды;
- с подветренной стороны (для преобладающего направления ветра) по отношению к населенным пунктам и зонам отдыха;
- ниже мест водозаборов питьевой воды, рыбоводных хозяйств;
- на землях, непригодных для сельского хозяйства;
- на участках со слабофильтрующими грунтами (глиной, суглинками, сланцами), с наибольшим уровнем грунтовых вод, не достигающим 2 м от нижнего уровня захороняемых отходов. При необходимости на выбранной площадке следует предусматривать инженерные мероприятия, обеспечивающие снижение уровня грунтовых вод.

Полигоны нельзя размещать:

- на площадях залегания полезных ископаемых;
- в опасных зонах отвалов породы угольных и сланцевых шахт или обогатительных фабрик;
- в зонах активного карста;
- в зонах оползней, селевых потоков и снежных лавин;
- в заболоченных местах;
- в зонах питания подземных источников питьевой воды;
- в зонах санитарной охраны курортов;
- на территориях зеленых зон городов;
- на землях, занятых или предназначенных под занятие лесами, лесопарками и другими зелеными насаждениями, выполняющими защитные и санитарно-гигиенические функции и являющимися местом отдыха населения;
- на участках, загрязненных органическими и радиоактивными отходами, до истечения сроков, установленных органами санитарно-эпидемиологической службы.

Устройство полигонов на просадочных грунтах допускается при условии полного устранения просадочных свойств грунтов.

Размер участка захоронения токсичных промышленных отходов устанавливают исходя из срока накопления отходов в течение 20 – 25 лет.

Мощность полигона определяют количеством токсичных отходов (тыс. т), принимаемых на полигон в течение одного года, включая отходы, поступающие на завод по обезвреживанию токсичных промышленных отходов и на участок захоронения отходов. Количество отхо-

дов, подлежащих захоронению в контейнерах, определяют с учетом массы контейнеров.

При нахождении требуемой вместимости карт на участке захоронения отходов кроме отходов, поступающих непосредственно на захоронение от промышленных предприятий, необходимо учитывать твердые токсичные отходы, образующиеся на заводе по их обезвреживанию.

В состав исходных данных для проектирования полигона должны входить рекомендации по защите карт захоронения от грунтовых и поверхностных вод, сведения об отведенных местах сброса вод и материалы инженерных изысканий.

5.2. Устройство завода по обезвреживанию токсичных отходов

Отходы, поступающие на полигон, следует перерабатывать на заводе по обезвреживанию токсичных промышленных отходов.

В состав завода по обезвреживанию токсичных промышленных отходов входят:

- административно-бытовые помещения, лаборатория, центральный диспетчерский щит управления технологическими процессами, медпункт и столовая;
- цех термического обезвреживания твердых и пастообразных горючих отходов;
- цех термического обезвреживания сточных вод и жидких хлорорганических отходов;
- цех физико-химического обезвреживания твердых и жидких негорючих отходов;
- цех обезвреживания испорченных и немаркированных баллонов;
- цех обезвреживания ртутных и люминесцентных ламп;
- цех приготовления известкового молока;
- склад легковоспламеняющихся и горючих жидкостей с насосной станцией;
- открытый склад под навесом для отходов в таре;
- склад химикатов и реактивов;
- склад огнеупорных изделий;
- автомобильные весы;
- специальная прачечная;
- механизированная мойка спецмашин, тары и контейнеров;
- ремонтно-механический цех;
- контрольно-пропускной пункт;
- общезаводские объекты.

На рис. 5.1 показано устройство современного цеха термического обезвреживания твердых горючих отходов с рекуперацией энергии и очисткой отходящих газов.

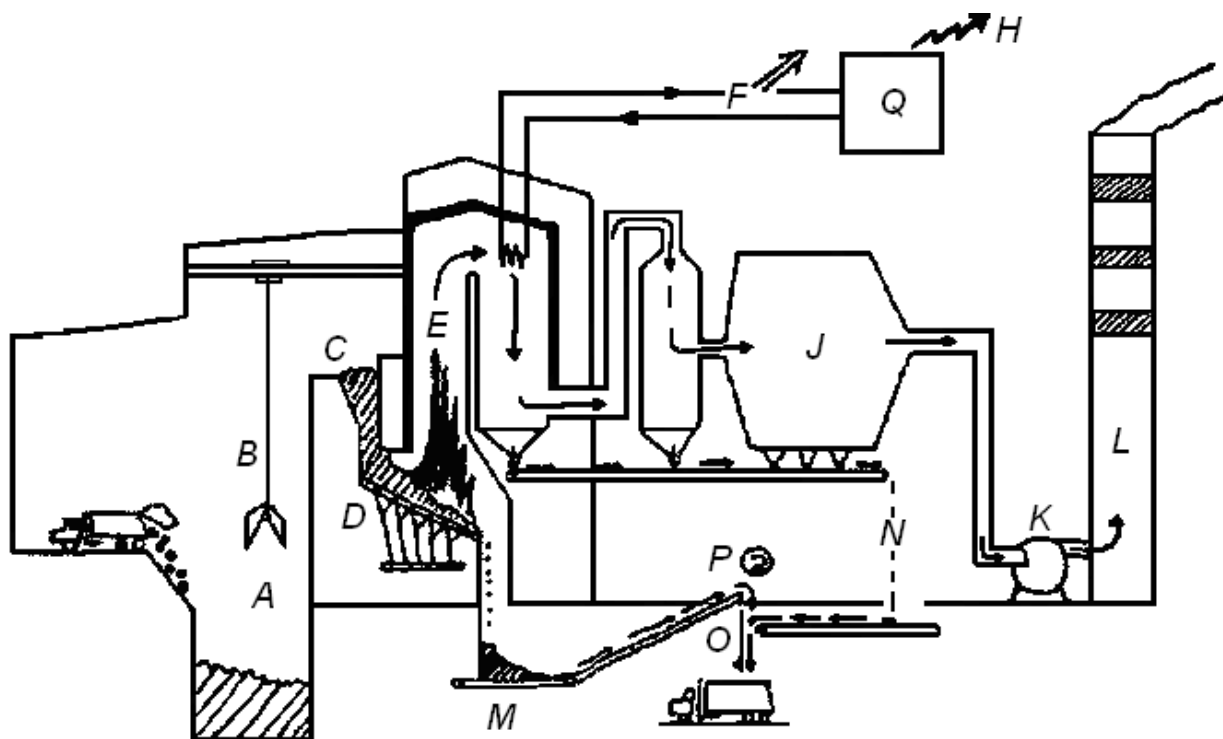


Рис. 5.1. Цех термического обезвреживания

Цех состоит из следующих основных частей: *A* – бункер для загрузки мусора (помещение должно быть закрыто и недоступно ветру); *B* – загрузочный кран (должно быть два, снабженных весами и спецгидравликой для применения в случае возникновения пожара); *C* – сжигаемый мусор; *D* – горелки печи с форсунками; *E* – отходящие из печи газы, поступающие в котел-утилизатор для выработки водяного пара; *F* – трубопроводы водяного пара; *Q* – турбина; *H* – электричество; *I* – отмывка кислых газов (скруббер); *J* – пакетные фильтры (противопылевые); *K* – дымосос; *L* – отходящие газы; *M* – шлак; *N* – летучая зола (зола уноса) и масса из скруббера; *O* – смешение шлака и золы; *P* – магнитный сепаратор.

Согласно схеме, изображенной на рис. 5.1, процесс переработки мусора в цехе состоит из таких этапов:

Загрузка. Мусор, предназначенный для термического обезвреживания, транспортируют в цех и ссыпают в бункер, представляющий собой сложное инженерное сооружение:

- емкость хранилища отходов должна быть большой, чтобы можно было хранить отходы в период закрытия одной из печей сжигания;
- при нормальном функционировании завода отходы нельзя содержать в хранилище более одной недели;
- разгрузочных кранов должно быть два, чтобы не нарушить работу сжигателя;
- бункер должен иметь закругленную форму для облегчения его периодической очистки, а для предохранения от неприятных запахов и образования взрывчатых смесей с выделяющимися газами – мощ-

ную систему отсоса воздуха, который затем направляется в сжигатель;

- оператор должен иметь возможность постоянно следить за состоянием бункера.

Сжигание. Мусор направляют в печь для сжигания. В горячей зоне печи газы находятся при температуре не ниже 1000°C в течение не менее 2 с и при содержании кислорода не ниже 6%.

Конструкция печей для термического обезвреживания отходов может быть разной. Применяют печи с псевдоожиженным слоем, циклонные, барабанные и многоподовые, поверхностного (надслоевого) сжигания и барботажные горелки.

Более простые – камерные печи (см. рис. 5.1). В зависимости от состава горючих отходов они могут быть однокамерными и двухкамерными (кроме камеры сгорания имеется золоулавливающая камера). К камерным печам относятся обычные топки паровых котлов.

Горячие газы из печи поступают в теплообменник (котел-утилизатор) для получения пара и электроэнергии.

Очистка газов. Это самая сложная и дорогая часть цеха. Стоимость очистных сооружений составляет не менее 50% от общей стоимости мусоросжигающего завода. Для снижения стоимости цеха обычно ограничиваются установкой водяного скруббера, электростатических и противопоылевых текстильных фильтров.

Схема для глубокой очистки газов, принятая в современных мусоросжигающих цехах, показана на рис. 5.2.

После очистных сооружений в цехе предусмотрена система удаления и складирования золы и шлака (см. рис. 5.1).

Кроме печи сжигания промышленных отходов часто используют камеру дожигания, в которой при дополнительной подаче топлива и воздуха при соответствующей высокой температуре и продолжительном (не менее 2 с) времени пребывания достигается полное окисление продуктов неполного сгорания. Конструкцию камеры дожигания и расположение в ней горелок нужно проектировать так, чтобы обеспечить полное перемешивание дымовых газов, поступающих из печи, с образующимися в камере дожигания дымовыми газами.

Температура дымовых газов на выходе из камеры дожигания – не ниже 1000°C .

Визуальный контроль пламени в печи для сжигания отходов, как правило, предусматривается с помощью телевизионной камеры.

Котел-утилизатор должен удовлетворять следующим условиям работы:

- температура дымовых газов на входе – до 1450°C ;
- работа котла при резких колебаниях тепловой нагрузки (до 30% за 1 мин);
- температура стенок труб котла, соприкасающихся с дымовыми газами – $150 \dots 350^{\circ}\text{C}$;
- температура дымовых газов на входе в конвективные поверхно-

- сти котла – не выше 600°C (для исключения оседания расплавленной золы на поверхности и, следовательно, предотвращения коррозии);
- температура дымовых газов на выходе из котла – в пределах 250 ... 300°C;
 - конструкция котла должна обеспечивать доступ для осмотра поверхностей нагрева;
 - в конструкции котла должны быть предусмотрены устройства для чистки поверхностей нагрева.

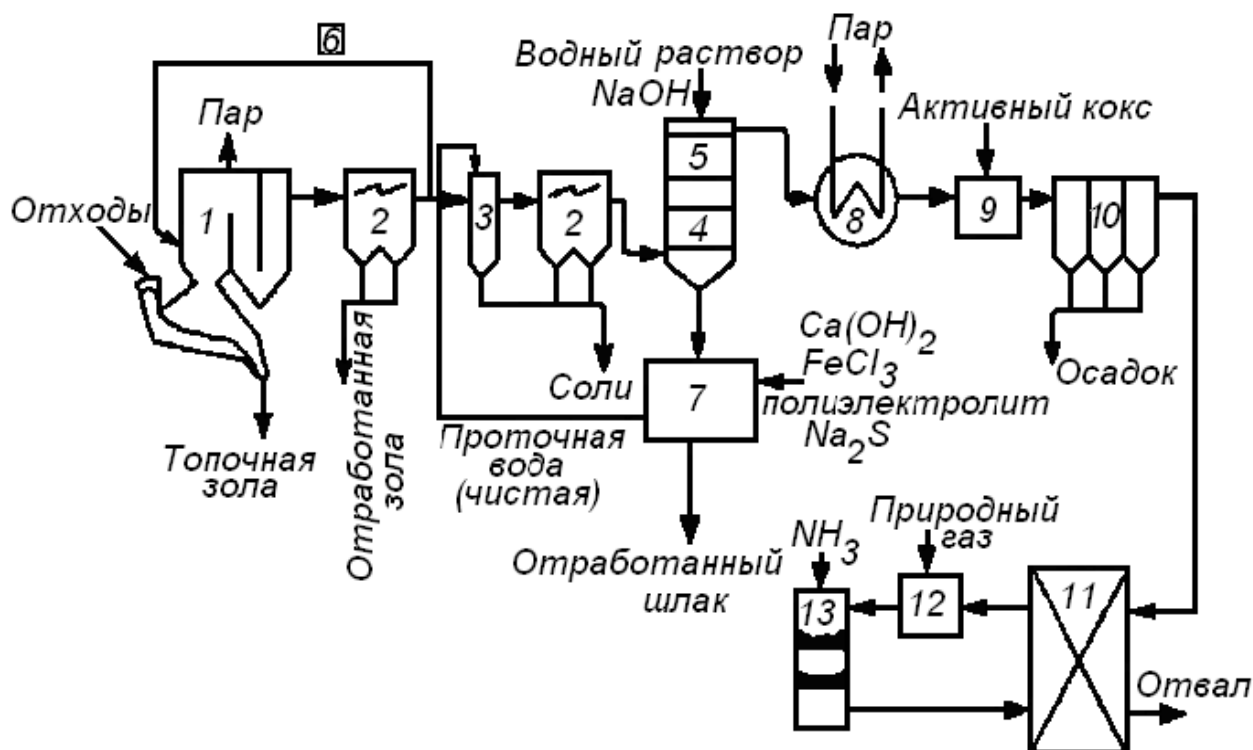


Рис. 5.2. Схема для глубокой очистки газов: 1 – топка и бойлер; 2 – электростатические фильтры; 3 – распылитель (выпаривание загрязненной воды); 4 – охлаждение и кислая промывка газов (скруббер) (1-я стадия); 5 – щелочная промывка газов (скруббер) (2-я стадия); 6 – рециркуляция отходящих газов; 7 – нейтрализация, флоккуляция, осаждение; 8 – теплообменник; 9 – реактор с инъекцией активного угля (кокса); 10 – пылевые фильтры; 11 – регенеративный теплообменник; 12 – разогрев газов; 13 – реактор каталитического дожига окислов азота

В цехе термического обезвреживания жидких отходов (сточных вод и жидких хлорорганических отходов) следует предусматривать печи для термического обезвреживания:

- сточных вод и жидких горючих отходов с системой очистки дымовых газов от уноса минеральных солей и системой вывода смеси минеральных солей в сухом виде;
- жидких хлорорганических отходов с системой утилизации хлористого водорода из дымовых газов с получением хлористого кальция

или товарной соляной кислоты и системой санитарной очистки отходящих газов.

При термическом обезвреживании сточных вод и жидких хлорорганических отходов должны соблюдаться следующие условия:

- температура отходящих газов в печах должна быть в пределах 950 ... 1050°C;

- образующиеся в результате окисления органические вещества, хлористый водород, оксиды серы и фосфора нужно нейтрализовать в печи едким натром или карбонатом натрия. Едкий натр (карбонат натрия) в объем печи необходимо подавать с 10%-ным избытком совместно со сточными водами;

- образующийся в циклонной топке плав смеси минеральных солей следует выводить в кубовую часть скруббера-охладителя;

- охлажденные газы надо очищать от минеральных солей в скоростных турбулентных газопромывателях, откуда слабый раствор солей необходимо возвращать в скруббер-охладитель для концентрирования посредством упаривания вследствие тепла высокотемпературных газов, выходящих из печи. Концентрированный раствор солей нужно непрерывно выводить из скруббера-охладителя с подачей в систему выделения смеси минеральных солей в сухом виде (сушка, центрифугирование и т.д.).

В цехе физико-химического обезвреживания твердых и жидких негорючих отходов следует предусматривать:

а) установку по обезвреживанию твердых цианосодержащих отходов, включающую в себя системы:

- приема и измельчения отходов;
- приготовления суспензии и перевода цианидов в цианаты;
- фильтрации суспензии;

б) установку по обезвреживанию отходов гальванических производств:

- емкость для приема отходов;
- систему восстановления Cr^{+6} и Mn^{+7} раствором серной кислоты и железного купороса;

- систему осаждения ионов тяжелых металлов известковым молоком;

- систему фильтрации осадка;

в) установку обезвреживания мышьяксодержащих отходов:

- емкость для приема отходов;
- систему перевода соединений трехвалентного и треххлористого мышьяка в мышьяковую кислоту, арсенат натрия и нитрооксифенил – аrosoновую кислоту;

- систему осаждения мышьяксодержащих соединений известковым молоком в виде арсената кальция;

- систему фильтрации осадка;

- систему отпарки фильтрата.

В корпусе обезвреживания испорченных и немаркированных бал-

лонов следует предусматривать:

- бронямы для подрыва баллонов;
- систему промывки и обезвреживания броням и отходящих газов;
- погреб для хранения взрывчатых веществ.

В корпусе обезвреживания ртутных и люминесцентных ламп должны быть:

- склад для приема ламп;
- агрегаты для обезвреживания ртутных и люминесцентных ламп;
- система очистки технологических газов от ртути;
- система очистки промывных вод от ртути;
- складское помещение для хранения контейнеров со ртутьсодержащими отходами, направляемыми на переработку.

Размеры санитарно-защитной зоны для завода по обезвреживанию токсичных промышленных отходов за год мощностью 100 тыс. т и более следует принимать 1000 м, а для завода мощностью менее 100 тыс. т – 500 м.

5.3. Захоронение токсичных отходов

Захоронению на участке подлежат твердые токсичные отходы.

Пастообразные отходы, содержащие особоопасные водорастворимые вещества, поступают на захоронение в металлических контейнерах, толщины стенок которых не менее 10 мм.

Контейнеры подвергают двойному контролю на герметичность (до и после заполнения отходами).

Размеры контейнеров не регламентируются, масса заполненного контейнера не должна превышать 2 т. Материал контейнера должен обладать коррозионной стойкостью по отношению к отходам, скорость коррозии не должна превышать 0,1 мм/год.

Контейнеры с отходами отправляют в железобетонные бункеры со стенками толщиной не менее 0,4 м. Бункеры разделяют на отсеки (не менее пяти). Объем каждого отсека должен обеспечивать прием контейнеров с отходами в течение 2 лет.

Всю поверхность бункера, соприкасающуюся с землей, необходимо гидроизолировать. Не допускается подтопление бункера грунтовыми водами. Для защиты отсеков от попадания дождевых вод следует предусматривать навес с боковым ограждением над всем бункером.

Наивысший уровень складирования контейнеров с отходами в отсеках бункеров должен быть ниже верхней кромки бункеров не менее чем на 2 м. Заполненные отсеки бункеров сверху перекрываются железобетонными плитами с последующей их засыпкой слоем уплотненного грунта толщиной 2 м. После этого предусматриваются водонепроницаемые покрытия, которые должны возвышаться над прилегающей территорией и выходить за пределы бункера не менее чем на

2 м с каждой стороны.

На полигонах допускается захоронение пестицидов в количестве до 300 т. Это осуществляется в зависимости от их опасности вместе с другими отходами.

Участок захоронения отходов по периметру должен иметь ограждение из колючей проволоки высотой 2,4 м и устройство автоматической охранной сигнализации.

На участке захоронения токсичных промышленных отходов по его периметру, начиная от ограждения, должны последовательно размещаться:

- кольцевой водоотводный канал, вода из которого отводится в ближайший водоток;
- кольцевое обвалование высотой 1,5 м и шириной сверху 3 м;
- кольцевая автодорога с усовершенствованным капитальным покрытием и въездами на карты;
- ливнеотводные лотки вдоль дороги или кюветы с облицовкой бетонными плитами.

Участок захоронения токсичных промышленных отходов должен быть разделен на производственную и вспомогательную зоны. Расстояние между зданиями и сооружениями зон – не менее 25 м.

В производственной зоне участка размещают карты с учетом раздельного захоронения отходов различных классов опасности. Размеры карт и их количество определяют в зависимости от количества поступающих отходов и расчетного срока действия участка.

Захоронение в одной карте разноименных отходов допускается, если при совместном захоронении они не образуют более токсичных, взрывопожароопасных веществ, а также, если при этом не происходит газообразования.

Объем карты должен обеспечивать прием отходов на захоронение в течение не более двух лет.

При захоронении отходов в грунтах с повышенной проницаемостью необходимо предусматривать изоляцию дна и откосов уплотненным слоем глины толщиной не менее 1 м (устраивать так называемый противодиффузионный экран).

При захоронении пылевидных отходов следует предусматривать мероприятия, предотвращающие разнос этих отходов ветром в момент выгрузки из транспорта и при захоронении.

Карты, заполненные нерастворимыми в воде отходами, нужно изолировать слоем местного грунта с последующей обработкой верхней части этого слоя.

Толщину изолирующего слоя принимают индивидуально в каждом конкретном случае в зависимости от свойств загрязняющих веществ на основании результатов опытно-промышленных испытаний, она должна быть не менее 2 м, включая первоначальный защитный слой.

Засыпка имеет выпуклую поверхность. На середине карты верх засыпки должен возвышаться не менее чем на 1,5 м над гребнями

дамб, а по контуру – стыковаться с ними. При этом необходимо предусматривать обработку верхнего слоя засыпки толщиной не менее 0,15 м нефтью или битумом с одновременным добавлением и перемешиванием цемента и уплотнением его гладкими катками.

Изолирующий слой (экран) должен выходить за габариты карт (на гребни дамб) не менее чем на 2 м по всему контуру, включая ливнеотводные лотки, устраиваемые после консервации карты. При отсутствии между картами постоянного проезда изолирующий слой между соседними картами должен быть единым.

В производственной зоне участка захоронения отходов размещают также контрольно-регулирующие пруды дождевых и дренажных вод, а при необходимости – и пруды-испарители.

Контрольно-регулирующие пруды дождевых, талых и дренажных вод состоят из двух секций. Вместимость каждой секции пруда следует рассчитывать на максимальный суточный объем осадков, повторяющийся раз в 10 лет.

Осветленные воды после контроля направляются:

- чистые – на производственные нужды, а при отсутствии потребителя – в кольцевой канал;
- загрязненные – в пруд-испаритель, а при невозможности его устройства – на завод по обезвреживанию токсичных промышленных отходов.

Во вспомогательной зоне участка следует предусматривать:

- административно-бытовые помещения, лабораторию;
- площадку с навесом для стоянки спецмашин и механизмов;
- мастерскую для текущего ремонта спецмашин и механизмов;
- склад топливно-смазочных материалов;
- склад для хранения материалов, предназначенных для устройства водонепроницаемых покрытий при консервации карт;
- котельную со складом топлива (котельная строится только при отсутствии других источников теплоснабжения);
- сооружение для чистки, мойки и обезвреживания спецмашин и контейнеров;
- автомобильные весы;
- контрольно-пропускной пункт.

Размеры санитарно-защитной зоны участка захоронения токсичных промышленных отходов до населенных пунктов и открытых водоемов, а также до объектов, используемых в культурно-оздоровительных целях, устанавливают с учетом конкретных местных условий, но не менее 3000 м.

Участки захоронения токсичных промышленных отходов нужно размещать на расстоянии:

- не менее 200 м от сельскохозяйственных угодий, автомобильных и железных дорог общей сети;
- не менее 50 м от границ леса и лесопосадок, не предназначенных для использования в рекреационных целях.

5.4. Механизация технологических процессов обезвреживания

На заводах по обезвреживанию токсичных промышленных отходов необходимо максимально уменьшать контакт работающего персонала с отходами. Для этого, а также в целях защиты окружающей среды предусматривают следующие меры:

- жидкие отходы принимают в емкостные аппараты с перемешивающими устройствами;
- жидкие отходы из емкостных аппаратов подают на переработку с помощью насосов или посредством передавливания инертным газом по трубопроводам;
- пастообразные горючие отходы транспортируют, как правило, в сгораемой таре;
- печь загружают твердыми отходами с помощью мостового крана (см. рис. 5.1) с многочелюстным грейфером, при этом у машиниста крана должен быть обеспечен обзор бункеров с отходами и приемного бункера печи (обзор может быть обеспечен посредством телевизионной установки);
- печь оборудуют дозирующими устройствами, обеспечивающими непрерывность подачи твердых отходов, а также устройством для подачи в печь пастообразных отходов в таре.

В процессе проектирования участка захоронения отходов необходимо учитывать максимальную механизацию разгрузки и распределение отходов в картах, их консервацию.

Транспортирование отходов, как правило, предусматривают в специальных контейнерах, оборудованных приспособлениями для дистанционной выгрузки отходов в карты. Для откачки дождевых и талых вод из карт в момент строительства предусматривают передвижные мотопомпы или насосы.

Наряду с машинами и механизмами для захоронения отходов используют машины и механизмы для устройства новых карт и водонепроницаемых покрытий при консервации заполненных карт (экскаваторы, бульдозеры, грейдеры, катки, глиномешалки, автосамосвалы, машины для розлива битума, дисковые бороны и т.д.).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аграноник Р.Я. Технология обработки осадков сточных вод с применением центрифуг и ленточных фильтр-прессов. – М.: Стройиздат, 1985. – 96 с.
2. Веселов Ю.С., Люкшин В.С., Уманский А.А. Водоочистное оборудование. Конструирование и использование. – Л.: Машиностроение, 1985. – 124 с.
3. Ганз С.Н. Очистка промышленных газов. – Дн.: Промінь, 1977. – 78 с.
4. Гвоздев В.Д., Петухов Б.С., Мазырин И.В. Очистка производственных сточных вод и утилизация. – М.: Химия, 1988. – 187 с.
5. Гусев В.М., Плужников И.С., Обморшев А.Н. Теплотехника, отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отделение, 1981. – 247 с.
6. Егiazаров А.Г. Общая теплотехника, теплоснабжение и вентиляция. – М.: Стройиздат, 1982. – 146 с.
7. Заблонский К. И. Основы проектирования машин: Учеб. пособие для вузов. – К.: Вища шк., 1981. – 344 с.
8. Косоверов О.С. Расчёт и конструирование инженерных сооружений водопроводно-канализационного хозяйства. – К.: Будівельник, 1973. – 386 с.
9. Лабашевский В.П. Курсовое и дипломное проектирование по вентиляции гражданских и промышленных зданий. – М.: Стройиздат, 1985. – 84 с.
10. Лалаян Ю.Г. Экологические аспекты отходов. – Калуга: Облиздат, 2000. – 212 с.
11. Мазус М.Г., Лепетов В.А., Рябченков А.В. Фильтры для улавливания промышленных пылей. – М.: Машиностроение, 1985. – 182 с.
12. Молчанов Б.С. Проектирование промышленной вентиляции. – М: Машиностроение, 1970. – 165 с.
13. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. – М.: Машиностроение, 1970. – 560 с.
14. Палей М.А. Очистка и рекуперация промышленных выбросов. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 241 с.
15. Петрусеви́ч А.И. Очистка промышленных сточных вод. – К.: Техніка, 1974. – 246 с.
16. Решетов Д.Н., Сидоров П.Н. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: Справочное пособие к СНиП. – М.: Стройиздат, 1990. – 287 с.
17. Реймерс А.Н. Основы конструирования машин: Справочное пособие. – М.: Машиностроение, 1965. – 423 с.
18. СНиП 2.04.02-91. «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения». – М.: Стройиздат, 1991. – 164 с.
19. СНиП 2.04.03-91. «Канализация. Наружные сети и сооружения». – М.: Стройиздат, 1991. – 148 с.

20. СНиП 2.04.05-91. «Отопление, вентиляция и кондиционирование». – М.: Стройиздат, 1991. – 206 с.
21. СНиП 2.01.28-91. «Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения проектирования». – М.: Стройиздат, 1991. – 112 с.
22. Титов А.П., Шмелев Б.А., Боровиков А.С. Обезвреживание промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1980. – 241 с.
23. Штокман Е.А. Очистка воздуха. – М.: Изд-во АСВ, 1998. – 144 с.
24. Яковлев С.В., Калицун В.И. Механическая очистка сточных вод. – М.: Изд-во лит-ры по строительству, 1972. – 198 с.
25. Яковлев С.В., Еремин Н.И., Цыпин И.О. Очистка производственных сточных вод. – М.: Стройиздат, 1985. – 234 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ.....	4
2. СИСТЕМЫ ВОДООЧИСТКИ И ВОДОПОДГОТОВКИ.....	7
2.1. Проектирование систем отвода сточных вод.....	7
2.1.1. Расчет оголовков.....	11
2.1.2. Защита подводных трубопроводов от коррозии.....	12
2.2. Проектирование решеток.....	12
2.3. Исходные данные для проектирования устройств механической очистки.....	15
2.4. Проектирование гравитационных устройств для очистки сточных вод.....	18
2.4.1. Проектирование отстойников.....	18
2.4.2. Проектирование отстойников с вращающимся сборно-распределительным устройством.....	22
2.4.3. Проектирование бетонных емкостных сооружений очистных станций.....	26
2.4.4. Нагрузки, действующие на емкостные сооружения.....	28
2.4.5. Определение размеров емкостных сооружений.....	32
2.4.6. Расчет моментов, действующих на стены прямоугольных емкостных сооружений.....	35
2.4.7. Расчет сил и моментов, действующих на днище емкостного сооружения.....	35
2.4.8. Пример расчета бетонного емкостного сооружения.....	37
2.5. Проектирование инерционных устройств для очистки сточных вод.....	41
2.5.1. Проектирование гидроциклонов.....	41
2.5.2. Проектирование центробежных очистителей жидкости.....	44
2.5.3. Проектирование осадительных центрифуг.....	48
3. ВЕНТИЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ.....	53
3.1. Воздухообмен в вентилируемом помещении.....	55
3.2. Определение расходов воздуха для местных вытяжных систем.....	57
3.3. Основные элементы вентиляционных систем.....	59
3.4. Воздухоприемные и воздуховыбросные устройства.....	60
3.5. Вентиляционные камеры.....	61
3.6. Устройства для борьбы с шумом и вибрацией в системах вентиляции.....	64
3.7. Очистка вентиляционного воздуха от пыли.....	66
3.8. Фильтры.....	68
3.8.1. Сухие пористые фильтры.....	68
3.8.2. Смоченные пористые фильтры.....	70
3.8.3. Электрические фильтры.....	72

3.9. Гравитационные пылеуловители.....	72
3.10. Проектирование инерционных устройств для очистки воздуха от пыли.....	73
3.11. Нагрев воздуха в системах вентиляции.....	78
3.12. Воздуховоды.....	84
3.13. Воздухораспределители.....	92
3.14. Расчет воздуховодов.....	93
3.15. Приточные и вытяжные устройства.....	101
3.16. Вентиляторы.....	102
4. ОТОПИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ.....	104
4.1. Тепловой баланс помещения. Теплопоступления в помещение.....	106
4.2. Теплотери помещения и укрупненный расчет теплотерь зданий.....	108
4.3. Тепловая мощность системы отопления и пример составления теплового баланса и определения тепловой мощности отопительной системы.....	114
4.4. Классификация систем отопления.....	117
4.5. Конструкции отопительных приборов. Расчет площади их теплоотдающей поверхности.....	118
4.6. Системы водяного отопления.....	123
4.7. Электрическое отопление.....	125
5. ПОЛИГОНЫ ПО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЮ ТОКСИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ.....	127
5.1. Размещение полигонов.....	130
5.2. Устройство завода по обезвреживанию токсичных отходов.....	131
5.3. Захоронение токсичных отходов.....	136
5.4. Механизация технологических процессов обезвреживания.....	139
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	140

Бетин Александр Владимирович
Бондарева Надежда Витальевна
Клименко Татьяна Сергеевна
Мурин Михаил Николаевич
Нечипорук Николай Васильевич

ТЕОРИЯ И КОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Редактор В.И. Филатова

Св. план, 2006

Подписано в печать 04. 07. 2006

Формат 60×84 1/16. Бум. офс. № 2. Офс. печ.

Усл. печ. л. 8. Уч.-изд. л. 9. Т. 100 экз. Заказ 385. Цена свободная

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского

«Харьковский авиационный институт»

61070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Издательский центр «ХАИ»

61070, Харьков-70, ул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu