

Л.Ф. Комарова  
Л.А. Кормина

Основы проектирования предприятий,  
оборудование и сооружения для защиты  
биосферы

Барнаул – 2001 г.

Л.Ф. Комарова  
Л.А. Кормина

# Основы проектирования предприятий, оборудование и сооружения для защиты биосферы

Учебное пособие

Барнаул – 2001 г.

**УДК 658.2+628+66.07**

**Комарова Л.Ф., Кормина Л.А.** Основы проектирования предприятий, оборудование и сооружения для защиты биосферы: Учебное пособие. – Барнаул, 2001. - 160с.

Рассмотрены основы организации проектирования, разработки технологических схем газо- и водоочистки, расчетов оборудования и сооружений этих схем. Даны сведения об основных конструкционных и вспомогательных материалах и способы борьбы с коррозией. Приводятся данные по транспортирующему оборудованию жидких, газообразных и твердых сред.

Даны конструкции и расчет основных аппаратов и сооружений для различных видов сточных вод: смесители и усреднители, решетки, песколовки, отстойники, гидроциклоны, фильтры – для механической очистки, установки нейтрализации, коагуляции, флотации, адсорбции и ионного обмена – для химической и физико-химической очистки, аэротенки – для биохимической очистки.

Рассмотрено оборудование для очистки газовых выбросов: инерционные и центробежные пылеуловители, аппараты для фильтрования и электрической очистки газов, "мокрые" пылеуловители, аппараты для сорбционной очистки газообразных соединений.

Рецензент: гл. инженер ОАО "Институт "Алтай-агропромпроект" Г.М. Шадрин

Рекомендовано УМО по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов в качестве учебного пособия для студентов специальности 320700.

© **Комарова Л.Ф., Кормина Л.А.**

## СОДЕРЖАНИЕ

Глава 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ .....	6
1.1. Основы организации проектирования .....	6
1.1.1. Виды и стадии проектирования .....	6
1.1.2. Этапы и организация проектирования .....	8
1.1.3. Состав проектов.....	10
1.1.4. Технические проекты по водоочистке .....	16
1.1.5. Основные пути совершенствования проектных работ .....	17
1.2. Основы разработки технологической схемы производства .....	19
1.2.1. Принципы создания технологической схемы.....	19
1.2.2. Проектирование технологических схем очистки .....	22
1.2.3. Проектирование систем водоиспользования .....	23
1.2.4. Проектирование систем газоочистки .....	31
1.3. Основы технологических расчетов при проектировании оборудования и сооружений .....	36
1.3.1. Критерии выбора оборудования .....	36
1.3.2. Проектирование оборудования и сооружений .....	38
Глава 2. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ .....	41
2.1. Требования к конструкционным материалам .....	41
2.2. Виды конструкционных материалов .....	43
2.2.1. Металлические материалы и сплавы .....	43
2.2.2. Неметаллические конструкционные материалы .....	48
2.3. Способы борьбы с коррозией.....	53
Глава 3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ .....	56
3.1. Транспортирование отходов по трубопроводам.....	56
3.1.1. Трубопроводы и трубопроводная арматура.....	56
3.1.2. Диаметры труб и расчетные наполнения труб и каналов .....	60
3.1.3. Скорости движения жидкости и минимальные уклоны .....	62
3.1.4. Гидравлический расчет трубопроводов .....	65
3.1.5. Гидро- и пневмотранспорт промышленных отходов.....	67
3.1.6. Пылегазопроводы.....	68
3.2. Транспортирующие машины.....	72
3.2.1. Насосы и насосные станции .....	72
3.2.2. Тягодутьевые машины .....	76
3.2.3. Транспортирование твердых материалов.....	78
3.3. Грузоподъемные машины.....	81
Глава 4. СООРУЖЕНИЯ И АППАРАТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД.....	86
4.1. Сооружения механической очистки .....	86

4.1.1.	Смесители и усреднители.....	86
4.1.2.	Решетки.....	88
4.1.3.	Песколовки.....	89
4.1.4.	Отстойники.....	92
4.1.5.	Удаление осадков из отстойников.....	95
4.1.6.	Гидроциклоны.....	99
4.1.7.	Фильтры.....	101
4.2.	Физико-химическая и химическая обработка воды.....	103
4.2.1.	Нейтрализация.....	103
4.2.2.	Коагуляция.....	105
4.2.3.	Флотационные установки.....	106
4.2.4.	Адсорбционные аппараты.....	108
4.2.5.	Ионообменные установки.....	110
4.3.	Биохимическая очистка сточных вод.....	113
4.3.1.	Расчет аэротенков.....	113
4.3.2.	Расчет систем аэрации в аэротенках.....	117
Глава 5.	ОБОРУДОВАНИЕ ГАЗООЧИСТКИ.....	118
5.1.	Очистка газовых выбросов гидромеханическими методами.....	118
5.1.1.	Классификация пылеуловителей.....	118
5.1.2.	Осаждение в гравитационном поле.....	120
5.1.3.	Осаждение в инерционном поле.....	121
5.1.4.	Центробежное осаждение.....	122
5.1.5.	Фильтрование аэрозолей.....	128
5.1.6.	Электрофильтры.....	136
5.1.7.	Аппараты «мокрой» очистки газов.....	140
5.2.	Аппаратурное оформление абсорбционных процессов очистки газов.....	148
5.2.1.	Классификация абсорбционных аппаратов.....	148
5.2.2.	Поверхностные абсорберы.....	149
5.2.3.	Барботажные абсорберы.....	151
5.2.4.	Распыливающие абсорберы.....	154
5.2.5.	Брызгоуловители и брызгоотбойники.....	155
5.3.	Аппаратурное оформление адсорбционных процессов очистки газовых выбросов.....	155
	ЛИТЕРАТУРА.....	159

# **ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ, ОРГАНИЗАЦИЯ И ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

## **1.1. Основы организации проектирования**

### **1.1.1. Виды и стадии проектирования**

Под проектированием понимают разработку проектной, конструкторской и другой технологической документации, предназначенной для осуществления капитального строительства и сооружения промышленного предприятия, для создания новых видов и образцов промышленной продукции.

Основными направлениями проектирования являются:

- 1) разработка нового производства;
- 2) расширение существующего производства;
- 3) реконструкция, модернизация, техническое перевооружение действующего производства, цеха или участка.

Реконструкция – это изменения, ведущие к переустройству всего производства, цеха, установки или значительной их части. Капвложения, направляемые на реконструкцию, дают примерно в два раза большую отдачу, чем при новом строительстве. Модернизация – конструктивные и технологические мероприятия по замене отдельных устаревших или недостаточно надежных деталей и их соединений в аппаратах и машинах с целью доведения эксплуатируемого оборудования до современного уровня. Техническое перевооружение – обновление производства, при котором реконструируемое производство оснащается новейшей техникой.

Разработка проектной документации на строительство, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение (далее строительство) осуществляется на основании утвержденных обоснований инвестиций в строительство. Проектной документацией детализируются принятые в обоснованиях решения и уточняются основные технико-экономические показатели (ТЭП).

Проект – это комплекс технической документации, включающей пояснительные записки, расчеты, чертежи, сметы, соответствующие задания на проектирование. Проект выполняется на основе научно-исследовательских данных и опыта эксплуатации наиболее современных действующих заводов.

Проекты разделяются на типовые и индивидуальные.

Состав, содержание, порядок разработки, согласования и утверждения типовых проектов устанавливается СНиП 11-01-95 "Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений".

Проектная документация разрабатывается преимущественно на конкурсной основе, и в том числе через торги подряда (тендер).

Типовые проекты применяются неоднократно. Строительство в каждом отдельном случае ведется по готовой проектной документации после привязки ее к конкретным условиям проектируемого объекта.

Типовые проекты имеют срок действия, в течение которого проектная организация, разработавшая проект, несет ответственность за его соответствие современному уровню науки и техники, вновь введенным стандартам, нормам и правилам проектирования. Устаревшие проекты корректируют или отменяют.

Основным источником информации о типовых проектах является строительный каталог (СК), издаваемый Центральным институтом типовых проектов (ЦИТП).

Индивидуальный проект разрабатывают для объекта при следующих условиях:

- применение типового проекта недопустимо или он отсутствует;

- применение типовых проектов приводит к большому числу отдельных сооружений, которые целесообразно сблокировать;

- требуемые основные параметры сооружения отличаются от параметров типового проекта более чем на 10 % и применение типового проекта приводит к неоправданному удорожанию строительства.

Индивидуальные проекты должны разрабатываться с применением имеющихся типовых решений отдельных узлов, деталей и т.д.

Повторно применяемые экономичные индивидуальные проекты могут быть применены повторно для строительства другого объекта после привязки к конкретным условиям строительства.

При проектировании должны быть предусмотрены:

- использование достижений науки, техники и передового отечественного и зарубежного опыта;

- высокий технико-экономический уровень;

- высокая эффективность капитальных вложений, внедрение высокопроизводительного оборудования;

- широкое использование высокоэффективных процессов производства, малоотходной и ресурсосберегающей технологий, комплексной механизации и автоматизации;

- рациональное использование природных ресурсов и экономное расходование материальных, топливно-энергетических и трудовых ресурсов;

- широкое применение типовых конструкций, проектов и типовых проектных решений;

- рациональное использование земель, охрану окружающей природной среды.

### 1.1.2. Этапы и организация проектирования

Проектные работы соответствуют трем этапам проектирования: предпроектному, проектному и послепроектному.

Предпроектный этап включает сбор исходных данных для проектирования, проведение инженерно-изыскательских и научно-исследовательских работ, разработку технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности строительства, разработку задания на проектирование, составление эскизного проекта.

Проектный этап состоит из разработки или синтеза технологической схемы, технологического и конструкционного проектирования установки, заключающегося в проведении комплекса проектно-сметных работ (расчетных, графических, множительных) по составлению технической документации, участию в комплектации строек оборудованием.

Послепроектный этап заключается в авторском надзоре за строительством, участии в пуске производства, доведении его до проектной мощности, усовершенствовании и коррекции режимов и параметров действующего оборудования.

Общая система организации проектирования приведена на рис. 1.

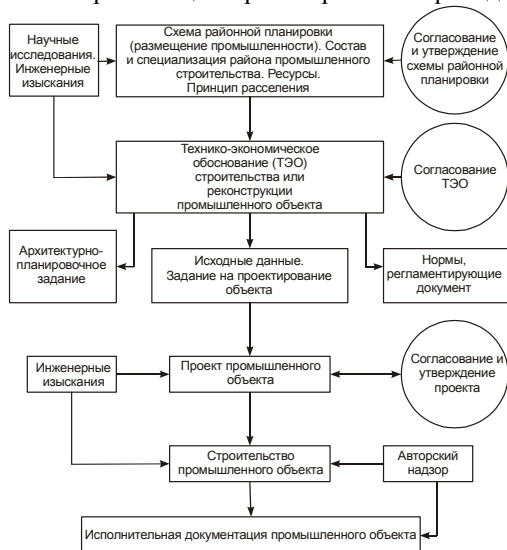


Рис. 1. Общая система организации производства

Проектно-сметная документация разрабатывается по утвержденному заданию на проектирование, в котором заказчик устанавливает стадийность проектирования. В одну стадию выполняется проект для предприятий, зданий и сооружений, строительство которых будет осуществляться по типо-



вым и повторно применяемым проектам, а также для технически несложных проектов. В две стадии проектируются другие объекты, в том числе крупные и сложные. Двухстадийное проектирование допускается также в случае применения новой технологии при усложненных объемно-планировочных и строительных решениях, использовании нового сложного оборудования и т.п. Решение о стадийности проектирования применяется обычно при утверждении ТЭО.

Технико-экономическое обоснование (ТЭО) – это предпроектная документация, которую выпускают с целью подтверждения экономической целесообразности и хозяйственной необходимости проектирования нового или расширения существующего предприятия в целом или отдельных производств, а также с целью достижения наиболее экономичных решений при последующем проектировании.

В ТЭО проектные решения разрабатываются укрупненно, без детализации, закладывают наиболее прогрессивные научные разработки и определяют стоимость строительства. При разработке ТЭО могут быть приняты оригинальные решения, по которым нет опытных разработок. ТЭО должно учитывать перспективу развития предприятия, поэтому расчет ведется на несколько сроков, так называемых расчетных сроков.

На основании ТЭО составляется задание на проектирование, которое является основным исходным документом для составления проекта. Как проектный документ задание определяет взаимную ответственность заказчика, генерального проектировщика и организации-исполнителя проекта. Две первые организации отвечают за корректность и обоснованность поставленных задач, третья – за правильность и должный технический уровень их решения. Как финансовый документ задание является основанием для определения стоимости и финансирования проектных работ.

Задание на проектирование должно содержать:

наименование проектируемого предприятия, здания, сооружения;  
основание для проектирования, район, пункт и площадка строительства;

номенклатуру продукции и мощность производства по основным видам (в натуральном или денежном) выражении на полное развитие и первую очередь;

режим работы и намеченная специализация производства;

основные источники обеспечения предприятия при его эксплуатации и строительстве сырьем, водой, теплом, газом, электрической энергией;

условия по очистке и сбросу сточных вод;

основные технологические процессы и оборудование;

предполагаемое развитие (расширение) предприятий;

намеченные сроки строительства;

намеченный размер капиталовложений и основные технико-экономические показатели предприятия, которые должны будут достигнуты при проектировании;

наименование генеральной проектной организации;

наименование строительной организации генерального подрядчика.

Источниками информации при проектировании являются: специальная научно-техническая литература, периодические издания целевого назначения, отраслевые научно-технические журналы, каталоги, отчеты о НИР и ОКР, отчеты об обследовании действующих сооружений, проектные проработки прежних лет и др. Завершающим этапом проектных работ является выпуск комплекта документации, отображающий принятые решения в форме, необходимой для производства объекта.

### **1.1.3. Состав проектов**

Проект на строительство предприятий, зданий и сооружений производственного назначения состоит из следующих разделов:

общая пояснительная записка;

генеральный план и транспорт;

технологические решения;

организация и условия труда работников; управление производством и предприятием;

архитектурно-строительные решения;

инженерное оборудование, сети и системы;

организация строительства;

охрана окружающей среды;

инженерно-технические мероприятия гражданской обороны;

мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций;

сметная документация;

эффективность инвестиций.

#### **1.1.3.1. Общая пояснительная записка**

Является основанием для разработки проекта. В ней приводятся исходные данные для проектирования, краткая характеристика предприятия и входящих в его состав производств, данные о проектной мощности, номенклатуре, качестве, конкурентноспособности, техническом уровне продукции, сырьевой базе, потребности в топливе, воде, тепловой и электрической энергии, комплексном использовании сырья, отходов производства, сведения о социально-экономических и экологических условиях района строительства.

Здесь же даются основные показатели по генплану, инженерным сетям и коммуникациям, сведения об использовании в проекте изобретений.

Приводятся технико-экономические показатели, полученные в результате разработки проекта, их сопоставление с показателями утвержденного обоснования инвестиций в строительство и установленным заданием на проектирование.

Даются сведения о проведенных согласованиях проектных решений (подтверждение соответствия разработанной проектной документации нормам, правилам, стандартам, техническим условиям и требованиям органов госнадзора и др. заинтересованных организаций).

### **1.1.3.2. Генеральный план и транспорт**

В разделе приводится краткая характеристика района и площадки строительства, основные планировочные мероприятия, решения по выбору вида транспорта, мероприятия по благоустройству территорий, решения по расположению инженерных сетей и коммуникаций.

Основные чертежи:

ситуационный план размещения предприятия с указанием существующих и проектируемых внешних коммуникаций, инженерных сетей, селитебных территорий, границы санитарно-защитной зоны (СЗЗ), особо охраняемые территории;

генеральный план, на который наносятся существующие, проектируемые и подлежащие сносу здания и сооружения, объекты охраны окружающей среды и решения по расположению внутриплощадочных инженерных сетей и коммуникаций, планировочные отметки территории.

### **1.1.3.3. Технологические решения**

В разделе дается краткая характеристика и обоснование решений по технологии производства, данные по механизации и автоматизации технологических процессов, состав и обоснование предлагаемого оборудования, решения по применению малоотходных и безотходных технологических процессов и производств, повторному использованию тепла и материалов, предложения по организации контроля качества продукции.

Приводятся данные о количестве и составе вредных выбросов в атмосферу и сбросов в водные источники; решения по предотвращению (сокращению) выбросов и сбросов; оценка возможности возникновения аварийных ситуаций и решений по их предотвращению; вид, состав и объем отходов производства, подлежащих утилизации и захоронению; топливно-энергетический и материальный балансы технологических процессов.

Все вышеприведенные данные сводятся в технологическую записку, которая содержит сведения о принятом способе производства с характеристикой всех технологических узлов, материальными и энергетическими потоками, физическими и химическими свойствами веществ, оптимальны-

ми параметрами технологического режима. Здесь рассчитывается основное и вспомогательное оборудование.

Основными чертежами раздела являются:

принципиальные схемы технологически процессов;

технологические планировки по цехам (корпусам) с указанием размещения оборудования и транспортных средств;

схемы грузопотоков.

Технологическая схема является иллюстрацией к технологической записке и дает наглядное представление о новом процессе. Она служит основой для разработки системы контроля и автоматизации отдельных узлов всего производства, исходным материалом для монтажной проработки.

Технологические планировки представляют собой планы и разрезы, на которых должны быть нанесены все строительные конструкции и проведена разбивка осей. Затем на них располагают технологическое оборудование и осуществляют его привязку, проставляя размеры между аппаратами и осями колонн.

#### **1.1.3.4. Управление производством, организация условий и охраны труда**

Раздел выполняется в соответствии с нормативными документами Минтруда России, в нем рассматриваются:

организационная структура управления предприятием и отдельными производствами, автоматизированная система управления;

автоматизация и механизация труда работников управления;

санитарно-гигиенические условия труда работающих;

мероприятия по охране труда и технике безопасности.

#### **1.1.3.5. Архитектурно-строительные решения**

Приводятся сведения об инженерно-геологических, гидрогеологических условиях площадки строительства.

Дается краткое описание и обоснование архитектурно-строительных решений по основным зданиям и сооружениям.

Рассматриваются мероприятия по электро-, взрыво- и пожаробезопасности, защите строительных конструкций, сетей и сооружений от коррозии.

Основными чертежами раздела являются планы, разрезы и фасады зданий и сооружений со схематическим изображением основных несущих и ограждающих конструкций.

### **1.1.3.6. Инженерное оборудование, сети и системы**

Приводятся решения по водоснабжению, канализации, теплоснабжению, газоснабжению, электроснабжению, отоплению, вентиляции и кондиционированию воздуха.

Дается инженерное оборудование зданий и сооружений: электрооборудование, электроосвещение, связь и сигнализация, противопожарные устройства и др.

Основными чертежами являются:

принципиальные схемы теплоснабжения, электроснабжения, газоснабжения, водоснабжения и канализации и др.;

чертежи основных сооружений;

планы и профили инженерных сетей;

планы и схемы внутрицеховых отопительно-вентиляционных устройств, схемы автоматизации управления инженерными системами и др.

### **1.1.3.7. Организация строительства**

Настоящий раздел разрабатывается в соответствии со СНиП "Организация строительного производства" с учетом условий и требований, изложенных в договоре на выполнение проектных работ.

### **1.1.3.8. Охрана окружающей среды**

Настоящий раздел выполняется в соответствии с государственными стандартами, строительными нормами и правилами, нормативными документами Минприроды России и другими нормативными актами, регулирующими природоохранную деятельность. В свою очередь он состоит из трех частей: охрана атмосферного воздуха от загрязнения; охрана водоемов от загрязнения сточными водами; восстановление (рекультивация) земельного участка, использование плодородного слоя почвы, охрана недр и животного мира.

Раздел должен содержать:

комплексную оценку оптимальности предусматриваемых технических решений по рациональному использованию природных ресурсов и мероприятий по предотвращению отрицательного воздействия строительства и эксплуатации предприятия, сооружения на окружающую природную среду;

результаты расчетов экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экологического ущерба, причиняемого загрязнением окружающей среды.

## **Охрана атмосферного воздуха от загрязнения**

Приводятся исходные данные для разработки решений по предотвращению загрязнения атмосферного воздуха; краткая характеристика физико-географических и климатических условий района строительства с учетом местных особенностей; сведения о существующих фоновых концентрациях вредных веществ (по данным органов Госкомгидромета и Минздрава); перечень источников выбросов, наименование загрязняющих веществ с суммирующими вредными воздействиями; количественные характеристики выбросов загрязняющих веществ, в том числе возможных аварийных; результаты расчета приземных концентраций, анализ и предложения по предельно-допустимым и временно согласованным выбросам; обоснование решений по предотвращению образования и выделения загрязняющих веществ и выбору оборудования для их очистки; сравнение принимаемых в проекте решений с имеющимся передовым опытом по очистке выбросов; сведения о сметной стоимости объектов и работ, связанных с осуществлением атмосфероохранных мероприятий.

Основными чертежами являются:

ситуационная карта-схема района размещения предприятия, здания и сооружения с указанием на ней границ санитарно-защитной зоны, селитебной территории, зон отдыха и местоположения расчетных точек;

генеральный план с расположением источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и устройств по очистке этих выбросов;

карты-схемы (сводные таблицы) с результатами расчетов загрязнения атмосферы при неблагоприятных метеоусловиях по всем веществам и комбинациям веществ с суммирующими вредными воздействиями.

## **Охрана водоемов от загрязнения сточными водами**

Раздел содержит исходные данные и сведения, выдаваемые заинтересованными организациями органов местного самоуправления, санитарно-эпидемиологической службой, органами водного надзора и др., характеризующие естественное состояние водоемов, используемых предприятием; решения по очистке потребляемых природных вод; обоснование решений по оборотному водоснабжению; сведения о количестве сточных вод (по отдельным цехам, производствам, сооружениям); баланс водопотребления и водоотведения по предприятию в целом и по основным производственным процессам; характеристика сточных вод; обоснование принимаемых проектных решений по очистке сточных вод и утилизации безвредных элементов; предложения по предотвращению аварийных сбросов, по предельно-допустимым и временно согласованным сбросам сточных вод; решения по предотвращению загрязнения рыбохозяйственных водоемов; оценка эффективности намечаемых мероприятий; данные о затратах на осуществление этих мероприятий.

Указанные материалы разрабатываются с учетом требований санитарных правил и норм охраны поверхностных вод от загрязнения. Инструкции о порядке согласования и выдачи разрешений на специальное водопользование и др. нормативных документов, регламентирующих порядок рассмотрения и согласования указанной документации.

### **Восстановление (рекультивация) земельного участка, использование плодородного слоя почвы, охрана недр и животного мира**

Приводится обоснование способов снятия и хранения плодородного слоя почвы, транспортирования его к месту укладки (или временного хранения) и нанесения плодородного слоя почвы на восстанавливаемый земельный участок или малопригодное угодье; проектные решения по восстановлению земельного участка, устройству инженерных сетей и коммуникаций, дренажа, планировки участка. Даются сведения об объемах твердых отходов производства, перечень мероприятий по их переработке и утилизации для получения полезной продукции; транспортированию этих отходов за пределы предприятия.

Приводятся материалы о намечаемых мероприятиях по охране недр и сохранению среды обитания животных и путей их миграции.

Оценивается эффективность предусматриваемых мероприятий и сметная стоимость этих работ.

Состав проектной документации по восстановлению (рекультивации) земельного участка, охране недр и животного мира определяется с учетом соответствующих нормативных актов.

### **1.1.3.9. Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны. Сметная документация. Эффективность инвестиций**

Первый из разделов выполняется в соответствии с нормами и правилами в области гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Для определения сметной стоимости строительства составляется сметная документация в соответствии с нормативно-методическими документами.

Эффективность инвестиций оценивается на основе количественных и качественных показателей, полученных при разработке соответствующих разделов проекта, в соответствии с Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования

#### 1.1.4. Технические проекты по водоочистке

Технические проекты сооружений водоочистки выполняются в соответствии с общими требованиями проектирования, но имеют и ряд специфических особенностей.

Прежде всего материалы должны содержать характеристику предприятия, т.е. основание для разработки проекта, объекты канализования и их месторасположение, сроки и очередность строительства, предпроектные разработки и ранее выполненные проекты.

В проекте приводятся климатические, геологические и гидрологические данные, т.е. сведения о водотоках и водоемах, грунтах и уровне грунтовых вод на глубину 2-3 м ниже отметки оснований сооружений по трассам коллекторов, данные об агрессивности грунта и грунтовых вод, глубине промерзания почвы, продолжительности зимы и толщине снежного покрова; химический и бактериологический анализ воды, значение БПК, количество кислорода и взвешенных веществ в воде водоема в месте выпуска, расходы и уровни воды в различное время года и максимальный межень<sup>\*</sup>; данные о загрязнении береговой полосы и самого водоема от места выпуска до ближайшего крупного населенного пункта или предприятия, использующего воду для централизованного водоснабжения (но не более 20-40 км выше и ниже по водотоку), сведения о самоочищающей способности водоема и т.д.

В основе проекта в качестве исходных данных используются схемы существующих и строящихся объектов, технические условия и документация, разработки научно-исследовательских институтов.

Приводятся данные о видах и количестве сточных вод, содержании в них загрязняющих веществ, баланс водопотребления и водоотведения; обоснование степени очистки сточных вод для возврата их в производство и прогноз качества воды в водотоках и водоемах с учетом "Санитарных правил и норм охраны поверхностных вод от загрязнения".

Далее приводятся данные о методах очистки сточных вод, составе очистных сооружений и схеме их работы; описание системы и схемы проектируемых очистных сооружений и их трассировки, расположения насосных станций, очистных сооружений, шламонакопителей, мест выпуска очищенных сточных вод.

Проводится гидравлический расчет и описание основных трубопроводов, коллекторов, сведения об условиях прокладки, материале труб и защите их от коррозии.

Рассчитываются очистные сооружения, дается характеристика и описание работы всего узла и отдельных сооружений, приводятся данные

---

<sup>\*</sup> Межень, сезонное стояние низких (меженных) уровней воды в реках.



об оборудовании сооружений, в т.ч. вспомогательных и транспортных устройств; осуществляется подбор типовых или повторно применяемых проектов насосных станций. В качестве чертежей даются объемно-планировочные и строительные решения зданий и сооружений узла очистки сточных вод, горизонтальные и вертикальные планировки, транспорт, благоустройство, бытовое обслуживание.

Приводятся сведения о применяемых строительных материалах и изделиях, унифицированных конструкциях и методах их защиты от коррозии; данные об электрооборудовании, автоматизации, технологическом контроле; краткое описание новых технических решений, внедренных в проект (процессов, сооружений, конструкций); мероприятия по охране окружающей среды; технико-экономическое обоснование (расчеты) и показатели, включая и эксплуатационные; штатное расписание; сметная документация.

### **1.1.5. Основные пути совершенствования проектных работ**

Создание новых производств связано с выполнением большого объема проектно-инженерных работ. В химической промышленности расходы на эти работы, например, составляют 10-12 % общей суммы затрат на сооружение объекта. Снижение затрат на проектирование может быть достигнуто за счет совершенствования процесса проектирования.

Эффективность проектного решения выявляется в результате технико-экономического сравнения вариантов, полученных расчетным, графическим или другим способом на каждом этапе разработки любого проектируемого элемента. Методология сравнения вариантов строится на поиске минимума затрат на производство и использование каждого элемента. Например, проектируемое производство в целом можно полагать оптимальным, если оно обеспечивает минимальные затраты на производство продукции и доставку ее к месту потребления.

Одновременно следует стремиться к достижению большего годового экономического эффекта мероприятий малоотходной технологии и одноцелевых природоохранных мероприятий. Годовой экономический эффект необходимо определять для обоснования масштабов, очередности и рациональной структуры природоохранных мероприятий. Причем, экономия от ликвидации ущерба окружающей среде и снижение платежей за загрязнение природной среды, как правило, выше затрат на природоохранные мероприятия. Поэтому учет ущерба, хотя он и сложен, дает возможность значительно расширить границы экономической целесообразности малоотходной технологии для решения задач предотвращения загрязнения и деградации окружающей среды.

Все большее значение приобретают системы автоматизированного проектирования (САПР), с помощью которых возможно выполнение расче-

тов при проектировании, оформление и выпуск чертежей, геометрическое моделирование и моделирование функциональных и динамических характеристик, составление спецификаций, технологических карт, а также изготовление программной документации и сопровождения к ней.

САПР специализируется по отраслям, но независимо от этого разнообразные задачи проектирования, решаемые в ней, можно объединить в четыре группы функций, соответствующих четырем заключительным фазам процесса проектирования: геометрическое моделирование, инженерный анализ, обзор и оценка проектных решений, автоматическое изготовление чертежей.

Геометрическое моделирование в рамках САПР связано с получением понятного машине математического описания геометрических свойств объекта. При наличии такого описания образ проектируемого объекта можно воспроизвести на экране графического терминала.

В ходе геометрического проектирования машина преобразует поступающие сигналы в компоненты математической модели и отображает полученную модель проектируемого объекта на экране. Чаще всего объект представляется в каркасной форме, когда он изображается совокупностью соединительных линий. Наиболее совершенный метод геометрического моделирования – это объемное представление монолитных тел.

Еще одна возможность САПР – цветная графика, что позволяет выделять отдельные компоненты сборочных узлов, подчеркивать объемность и т.п.

Инженерный анализ может включать расчеты механических напряжений и усилий, тепловых процессов, дифференциальных уравнений, описывающих динамическое поведение проектируемого объекта, аппаратный расчет и т.д. Для этого могут быть использованы как универсальные программы инженерного анализа, так и специальные программы для решения конкретных задач.

Обзор и оценка проектных решений позволяет оценить проверку точности проектирования с использованием графического терминала.

Автоматическое черчение предполагает получение выполненных на бумаге конструкторских чертежей непосредственно на базе САПР, производительность труда при этом возрастает примерно в пять раз. Функциональные возможности информационной графической модели в процедурах изготовления чертежей проявляются в автоматическом определении размеров, штриховки, масштабировании, построении разрезов, увеличении изображений конкретных элементов деталей и т.п.

Автоматизация проектирования обеспечивает целый ряд преимуществ и выгод:

увеличение производительности труда проектировщика;

минимизация числа ошибок, связанных с ручным оформлением документов, повышение точности проектирования;  
автоматизация процесса подготовки технической документации;  
стандартизация проектных решений;  
улучшение качества проектных разработок и др.

Существуют и другие пути совершенствования проектных работ. Среди них использование макетно-модельного метода, при котором собираются масштабные модели проектируемых цехов или сооружений из готовых нормализованных моделей строительных конструкций, оборудования, трубопроводов и т.д. При этом графические материалы могут выполняться с макета, в том числе фотографированием.

Изготовление "упрощенных" чертежей и других документов проекта, в которых отсутствуют стандартные узлы и детали, но дается ссылка на соответствующий стандарт. Стандартизация широко применяется в проектировании при использовании каталогов оборудования, технических условий, методов расчетов и др.

Последовательно-параллельное проектирование. При этом снижаются затраты времени в результате смещения определенных этапов проектирования. Такое проектирование в системе с последовательно-параллельным строительством, монтажом, пуском, позволяет сократить время реализации капитальных вложений.

## **1.2. Основы разработки технологической схемы производства**

### **1.2.1. Принципы создания технологической схемы**

Создание технологической схемы является важнейшей частью технологического проектирования. Технологическая схема как проектный документ представляет собой графическое изображение совокупности операций, составляющих законченный технологический процесс, и сопровождается описанием и необходимыми расчетами (расчетно-пояснительной запиской). Технологическая схема включает в себя отдельные технологические узлы, представляющие аппарат (сооружение, машину) или их группу, в которых начинается и полностью заканчивается один из этапных процессов переработки какого-либо материала, очистки воды и т.п.

Взаимосвязь отдельных процессов технологической схемы, возможность решения проблемы различными путями, необходимость экономического решения обуславливает участие в ее разработке специалистов разного профиля (технологов, монтажников, экономистов, специалистов по автоматизации и др.).

Исходными данными для разработки технологической схемы являются:

задание на проектирование;

материалы предпроектной проработки (район строительства, мощность производства, сведения по технологии действующих производств или их аналогов и т.д.);

общие данные по проектируемому объекту (температура воздуха, воды, условия сброса сточных вод в канализацию и выброса отходящих газов в атмосферу, вывоз шлаков и отходов и т.д.);

материалы к проектированию (регламент, отчеты о НИР; материалы из учебников, монографий, справочников, периодических изданий, патентов; сведения по обследованию родственных производств), систематизирующие методы расчетов основных технологических процессов и аппаратов, которые будут использоваться при проектировании;

уточненные ограничивающие параметры (ПДК, запрещение на сброс или выброс ядовитых веществ, технико-экономические ограничения и т.д.).

После сбора и обработки данных на разработку технологической схемы составляют операционную технологическую схему, т.е. схему материальных и технологических потоков производства, на основе которой создается блок-схема отдельных стадий производства. Далее идет детализация блок-схемы с разбивкой каждой стадии процесса на отдельные операции:

подачу и выдачу газообразных, жидких и твердых веществ с их дозировкой, разбавлением или концентрированием;

массообменные процессы (растворение, кристаллизация, перегонка и ректификация, экстракция, абсорбция, десорбция, адсорбция);

гидромеханические процессы (осаждение, фильтрование, центрифугирование);

теплообменные процессы (нагревание, охлаждение, испарение, конденсация, выпаривание, сушка);

механические процессы (дробление, измельчение, классификация и дозирование твердых веществ, транспортирование и перемешивание жидкостей);

химические процессы (хлорирование, окисление, восстановление, пиролиз, нейтрализация).

На этом этапе решаются вопросы о непрерывном, периодическом или полупериодическом режиме проведения отдельных операций с учетом экономической эффективности их работы. Для периодических процессов проще аппаратное оформление, а также пуск и остановка. При непрерывных процессах меньше отходов, снижаются потери сырья и материалов; они производительнее, легко поддаются механизации и автоматизации.

После разработки операционной схемы приступают к составлению принципиальной технологической схемы, которая, по сути, является аппаратным оформлением операционной.

Технологическая схема включает:

1) транспортные средства – вентиляторы, газодувки, насосы, грузоподъемные и транспортирующие машины;

2) основное технологическое оборудование: отстойники, фильтры, адсорбера, экстракторы, абсорберы, ректификационные колонны, выпарные аппараты, сушилки и др;

3) обвязочные трубопроводы, арматуру, оборудование для контроля и автоматического регулирования.

Абсолютное большинство аппаратов и машин выпускается промышленностью и стандартизовано. Сведения о них можно получить из различных справочников, каталогов и т.п.

На этапе синтеза технологической схемы решается вопрос об уменьшении затрат на перемещение потоков. Необходимо максимально использовать самотек для транспортировки жидкостей из аппарата в аппарат.

На данном этапе определяется набор тепло- и хладоносителей для осуществления процесса. Самыми дешевыми хладоагентами является воздух и оборотная промышленная вода, самый дешевый теплоноситель – топочные газы, но они не транспортабельны.

При разработке конкретных технологических узлов особое внимание надо уделять рециркуляции потоков. Применение рециклов позволяет обеспечить оптимальные параметры работы аппаратов, более полно использовать реагенты и энергию, а также уменьшить прямые вредные выбросы в окружающую среду. Целесообразно вести энерготехнологическое проектирование производства с целью полного использования энергии и утилизации тепловых потоков.

В технологической схеме наряду с основной технологической линией надо учитывать технологические потоки воды, пара, конденсата, сжатого воздуха и др.

Система водного хозяйства промышленных предприятий должна быть с максимальным повторным и последовательным использованием производственных сточных вод в отдельных технологических операциях и с оборотом охлаждающей воды для отдельных цехов или всего предприятия в целом.

В процессе проектирования в технологическую схему могут вноситься изменения и добавления. Окончательное оформление технологической схемы производится после принятия основных проектных решений по расчету и подбору оборудования и его компоновки. Схема вычерчивается на стандартных листах бумаги в соответствии с требованиями ЕСКД. После этого составляется описание технологической схемы, которая снабжается спецификацией.

### 1.2.2. Проектирование технологических схем очистки

Основу расчета любого производства, состава оборудования и технологических сооружений составляют:

- 1) материальный и технологический расчет, выполняемый на основании материального баланса для каждой стадии процесса; здесь определяют количество готового продукта и отходов;
- 2) определение типа, размеров, производительности и числа необходимых единиц оборудования и сооружений (на основании материального расчета, а также кинетики и динамики процессов);
- 3) определение затрат энергии на процесс и выработку побочных энергетических ресурсов, исходя из энергетического баланса.

При проектировании рациональных систем замкнутого водоиспользования прежде всего составляют материальный и энергетический балансы схемы водопотребления и водоотведения на основе научно обоснованных требований к качеству используемой воды. Затем разрабатывают рациональную систему рассчитанного по балансу количества воды с учетом повторного его использования.

Методологической основой получения исходных данных о количестве и назначении воды в производстве являются экспериментальные данные, сведения об эксплуатации аналогичных систем в других отраслях и производствах, состояние и работоспособность водопотребляющего оборудования. Необходимо проводить разделение вод по назначению – охлаждающие, технологические, для гидротранспорта и др.

Основу исходных данных для расчета материального баланса вод и их примесей при организации замкнутой системы водоиспользования составляют:

- 1) сведения о количестве и назначении воды в производстве или в последовательном ряде производств и обоснованные требования к качеству потребляемой воды;
- 2) данные о качестве воды, использованной в производстве и подлежащей очистке (или обработке) для возврата в цикл;
- 3) технологические решения по экономически целесообразным способам очистки, обеспечивающим стабильность качества воды на входе в производство и во всей системе.

Материальный расчет технологических схем очистки основан на законе сохранения массы  $\sum G_{\text{исх}} = \sum G_{\text{получ.}}$ , справедливого для любого физико-химического, химического или механического взаимодействия исходных веществ.

На основании энергетических балансов определяют количество электрической или тепловой энергии, топлива, пара, хладагента, необходимых для проведения технологического процесса.



Поступление воды в систему:	Убыль воды из системы:
Из источника водоснабжения $Q_{\text{ист}}$ Сточная вода, повторно используемая после очистки $Q_{\text{об}}$ С исходным сырьем и полуфабрикатами $Q_{\text{сыр}}$ Со вспомогательными материалами (топливо, реагенты и т.п.) $Q_{\text{всп}}$ С атмосферными осадками (дождь, талые воды и т.п.) $Q_{\text{атм}}$ Почвенная (дренажная влага, в виде шахтного или рудничного водоотлива, инфильтрационная и проч.) $Q_{\text{поч}}$	Унос с продуктами и отходами производства $Q_{\text{пр}}$ На испарение в охладителе оборотной воды $Q_{\text{исп.охл}}$ Унос с воздухом из охладителя оборотной воды $Q_{\text{ун}}$ Испарение естественное с водной поверхности $Q_{\text{исп.ест}}$ Удаление с осадками из очистных сооружений $Q_{\text{оч}}$ На полив полов, проездов, насаждений $Q_{\text{пол}}$ Транспирация* растительностью водоема $Q_{\text{тр}}$ Эксфильтрация в почву $Q_{\text{эк}}$ Сброс воды для освежения оборотной воды (продувка) $Q_{\text{пр}}$ Сброс собственно сточных вод в водоем или накопитель $Q_{\text{ст}}$
$Q_{\text{пост}}$	$Q_{\text{убыл}}$

В состав общей убыли воды из системы оборотного водоснабжения следует включить:

1. Потери и безвозвратное потребление воды в производстве в местах ее использования  $Q_{\text{пр}}$ . Величина этих потерь определяется технологическим расчетом и может быть вычислена как разность количеств подаваемой  $Q_{\text{п}}$  и отводимой от производства  $Q_{\text{о}}$  воды:

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{о}}$$

2. Потери воды на сооружениях очистки воды  $Q_{\text{оч}}$ . Эта величина колеблется от 0,5 % на барабанных сетках, 1,5-3 % при продувке отстойников или осветлителей, 2-3 % на фильтрах с повторным использованием воды, до 20-50 % при умягчении и обессоливании воды на ионообменниках. Потери можно принять по СНиП 2.04.02-84 "Водоснабжение", а затем уточнить технологическим расчетом.

3. Потери воды на испарение при ее охлаждении  $Q_{\text{исп.охл}}$ . Они определяются из теплового расчета охладителя по формуле:

$$Q_{\text{исп.охл}} = K_{\text{исп}} \Delta t Q_{\text{о}}$$

где  $\Delta t = t_1 - t_2$  перепад температуры воды, определяемой как разность температур отработавшей в производстве воды  $t_1$  и охлажденной  $t_2$ ;  $K_{\text{исп}}$  – коэффициент потери воды на испарение, учитывает долю теплоотдачи испарением в общей теплоотдаче и принимается в зависимости от типа охладительного устройства (градирни, брызгальные бассейны, водохранилища, пруды) и температуры. Значение  $K_{\text{исп}}$  приводится в СНиП 2.04.02-84 и изменяется в пределах от 0,0007 до 0,0016 при температурах от 0 до 40 °С.

Указанные потери происходят при непосредственном контакте с атмосферным воздухом и в среднем составляют 2,5 %. При охлаждении продукта в теплообменных аппаратах оросительного типа потери воды на ис-

\* Транспирация – испарение воды растением.



парение, вычисленные по вышеприведенной формуле, следует увеличить вдвое.

4. Потери воды в брызгальных бассейнах, градирнях и оросительных теплообменных аппаратах вследствие уноса ветром (капельный унос):

$$Q_{ун} = K_{ун} Q_o,$$

где  $K_{ун}$  – коэффициент потерь воды, принимаемый по СНиП 2.04.02-84, составляет 0,05-3 % от расхода охлаждаемой воды в зависимости от типа охладителя, а для брызгальных бассейнов в зависимости от производительности. Средняя величина  $Q_{ун}$  составляет 0,3-0,5 % от количества охлаждаемой воды.

Все вышеперечисленные потери относятся к естественным:

$$Q_{ест.пот} = Q_{ип} + Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{оч}$$

К ним могут быть добавлены потери воды на фильтрацию из водохранилищ (прудов-охладителей) при водопроницаемых основаниях и фильтрующих ограждающих дамбах, определяемые расчетом на основании данных гидрогеологических изысканий, естественное испарение и др., но они невелики.

5. Часть воды из системы оборотного водоснабжения может намеренно сбрасываться (продувка)  $Q_{пр}$  для поддержания в оборотной воде постоянной концентрации какого-либо растворенного вещества и заменяется свежей водой из источника  $Q_{доб}$ . Количество добавляемой воды:

$$Q_{доб} = Q_{ест.пот} + Q_{пр}$$

Величина  $Q_{пр}$  в среднем составляет 6-10 %.

Баланс воды в проектируемых системах оборотного водоснабжения следует составлять на летний и зимний период (минимальное и максимальное потребление и потери воды в системе).

Чтобы правильно выбрать способ обработки загрязненной воды, необходимо знать стабильный состав воды по каждому загрязнителю (или по сумме загрязнителей).

В общем случае такой состав можно установить на основании мгновенного материального баланса загрязнителей:

$$dQ = C_o(Q_{исп} + Q_{ун} + Q_{пр})d\tau - C(Q_{ун} + Q_{пр})d\tau,$$

где  $dQ$  – прирост количества загрязнителя (суммы загрязнителей) в течение бесконечно малого времени  $d\tau$  работы оборотной системы;  $C_o$  – концентрация загрязнителя в воде, добавляемой в систему;  $C$  – текущая (мгновенная) в каждый момент времени средняя концентрация в системе.

Приведенное уравнение представляет собой баланс только основного цикла 1 без возврата воды продувки этого цикла (рис.2). Желательно минимизировать или довести до нулевого значения величину продувки, правильно выбрав способ очистки воды или ее части в оборотной системе.

Создание замкнутого водоиспользования экономически целесообразно, поскольку вместо двух блоков очистки воды (в системах канализования сточных вод и подготовки природных вод) можно использовать один.

### 1.2.3.2. Определение производительности очистной станции и расчетных расходов сточных вод

Расчетным расходом сточных вод называется то количество вод, на пропуск которых должны быть запроектированы канализационные сети и сооружения. Расчетный расход определяется либо по технологическим данным, либо по производительности цехов и предприятия в целом и удельному расходу (на один агрегат, на единицу продукции).

Расчетные расходы производственных сточных вод, поступающих на очистные сооружения, средние суточные  $Q_{\text{сут.ср}}$  и максимальные сменные  $Q_{\text{max.см}}$  определяются:

$$Q_{\text{сут.ср}} = mM, \quad q_{\text{max.см}} = \frac{M' m}{3,6T} K_v,$$

где  $m$  – удельный расход сточных вод (норма потребления, принимаемая по укрупненным нормам);  $M, M'$  – число единиц продукции или перерабатываемого сырья при максимальной выработке соответственно в сутки и смену;  $T$  – число часов работы в смену;  $K_v$  – коэффициент часовой неравномерности водоотведения.

При наличии ряда производств, выпускающих различную продукцию, количество сточных вод определяют для каждого производства, а общее количество сточных вод предприятия находят их суммированием:

$$Q = m_1 M_1 + m_2 M_2 + m_3 M_3 + \dots + m_n M_n$$

где  $m_1, m_2 \dots m_n$  – удельные расходы сточных вод на производство различных видов продукции;  $M_1, M_2 \dots M_n$  – производительность по каждому виду продукции.

Полная подача водоочистной станции складывается из расчетного расхода воды для суток максимального водопотребления  $Q_{\text{max.сут}}$ , расхода воды на собственные нужды станции (приготовление растворов и суспензий реагентов, продувка отстойников и осветлителей, промывка фильтров и др.) и дополнительного расхода воды  $Q_{\text{доп}}$  на восполнение противопожарного запаса:

$$Q_{\text{полн}} = \alpha Q_{\text{max.сут}} + Q_{\text{доп}},$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий расход воды на собственные нужды комплекса;  $\alpha = 1,05$  для  $Q > 50$  тыс.м<sup>3</sup>/сут,  $\alpha = 1,1$  для  $Q < 50$  тыс.м<sup>3</sup>/сут.

$$Q_{\text{доп}} = 3,6 n t_{\text{пож}} T_{\text{пож}}^{-1},$$

где  $n$  – число одновременных пожаров,  $t_{\text{пож}}$  – норма расхода воды при пожаре по СНиП 2.04.02-84 (в зависимости от степени огнестойкости зданий, категории производства по пожарной безопасности и объема зданий);  $t_{\text{пож}} = 3$  ч – расчетная продолжительность пожара;  $T_{\text{пож}}^{-1}$  – период восстановления противопожарного запаса воды, принимается в зависимости от категории производства (для категории А, Б, В по пожарной безопасности  $T_{\text{пож}}^{-1} = 24$  ч, Г и Д – 36 ч).

Водоочистные комплексы должны рассчитываться на равномерную работу в течение суток при производительности  $Q \geq 3$  тыс.м<sup>3</sup>/сут.

Расход воды на собственные нужды может быть уменьшен в 2-2,5 раза путем устройства оборотной промывной воды.

### **1.2.3.3. Состав сооружений и основные положения компоновки станции водоочистки**

Очистная станция должна представлять собой объединенную систему сооружений, на которых производится ряд последовательных операций по очистке воды.

Состав сооружений должен выбираться в зависимости от характеристики и количества поступающих сточных вод, требуемой степени их очистки, метода использования осадка и др. местных условий.

Выбор площадки для строительства станции необходимо производить с учетом внешних коммуникаций – железных и автомобильных дорог, водо-, газо-, и электроснабжения.

Площадка для строительства очистных сооружений располагается, как правило, с подветренной стороны для господствующих ветров теплого периода года по отношению к жилой застройке и ниже по течению реки (150-500 м). Площадка должна иметь уклон, обеспечивающий самотечное движение воды по очистным сооружениям и отвод дождевых вод, и располагаться на территории, не затопляемой паводковыми водами, с низким уровнем грунтовых вод. Очистные сооружения должны отделяться от границ застройки санитарно-защитными зонами, размеры которых зависят от производительности станций и состава очистных сооружений.

Планировка станции очистки сточных вод должна обеспечивать рациональное использование территории как на расчетный период, так и на дальнейшую перспективу развития станции.

Компоновка и взаимное расположение сооружений должны обеспечивать: возможность строительства по очередям, возможность расширения в связи с увеличением притока сточных вод, максимальную протяженность коммуникаций, доступность для ремонта и обслуживания. Коэффициент застройки территории 0,6-0,7.

Решению вопроса о компоновке очистных сооружений должен предшествовать выбор схемы технологического процесса очистки воды, а также установление типа, числа и размеров отдельных сооружений.

Сооружения для очистки сточных вод должны предусматриваться, как правило, вне зданий. При этом необходимо предусматривать блокировки очистных сооружений и помещений, связанных общим технологическим процессом. Благодаря блокировке уменьшаются материальные затраты и стоимость строительства, т.к. увеличивается плотность застройки, сокращаются длина коммуникаций, дорог, переходов; уменьшается площадь наружных стен (следовательно, теплопотерь), улучшаются условия эксплуатации.

Основные размеры водоочистных сооружений должны приниматься соответственно шагу между колоннами и осями стен с учетом типоразме-

ров выпускаемых сборных железобетонных элементов. Размеры прямоугольных и диаметры круглых в плане емкостных сооружений, надлежит принимать кратными 3 м, а по высоте – 0,6 м. При длине или диаметре сооружения до 9 м, а также для емкостных сооружений, встроенных в здания (независимо от их размера), допускается принимать размеры прямоугольных сооружений кратными 1,5 м, круглых – 1 м.

Кроме основных производственных сооружений на территории очистной станции следует предусмотреть вспомогательные и обслуживающие сооружения (насосные и трансформаторные станции, склады реагентов, котельную, лабораторию и т.п).

Территория станции должна быть ограждена, благоустроена и освещена. В зависимости от местных условий надлежит предусматривать мероприятия по защите сооружений от снежных заносов, дождевых и талых вод.

#### **1.2.3.4. Генеральный план и высотная схема очистной станции**

Генеральный план – это проект организации предприятия в пространстве с решением функциональных, экономических, социальных, эстетических и других задач, определяющих эксплуатационные и экономические показатели.

Для составления генерального плана по принятой схеме очистных сооружений необходимо иметь план земельного участка. В зависимости от производительности очистной станции и состава очистных сооружений генеральный план составляется в масштабе 1:200, 1:1000, а чаще – 1:500.

Генеральный план состоит из текстовых и графических документов. В пояснительной записке к генеральному плану дается обоснование планировочных решений, транспортных потоков и выбор вида транспорта; описываются вертикальная планировка и благоустройство территории, технические средства для ее обслуживания, решения по инженерным сетям и коммуникациям и т.д.; приводятся основные показатели – площадь застройки, коэффициент застройки и др.

Графическая часть к генеральному плану представлена чертежами:

- 1) ситуационным планом размещения предприятия с внешними коммуникациями (железными и автодорогами, инженерными сетями и др.);
- 2) генеральным планом с нанесением проектируемых, существующих, реконструируемых и сносимых зданий, всех видов транспорта и пусковых комплексов строительства, благоустройства и озеленения территории, плана внутритриплощадочных дорог;
- 3) планом инженерных сетей в масштабе генплана с указанием диаметров магистральных трубопроводов;
- 4) схемой грузопотоков и людских потоков.

При составлении генеральных планов очистных сооружений используются СНиП П 89-80 на проектирование генеральных планов промышленных предприятий, а также разделами: "Требования к строительным решениям и конструкциям зданий и сооружений" СНиП 2.04.03-85 и "Строительные решения и конструкции зданий и сооружений" СНиП 2.04.02-84. Разработку генерального плана производят с учетом санитарных требований, пожарной профилактики и техники безопасности.

Расстояние между сооружениями устанавливается в зависимости от их назначения, глубины заложения, характера грунтов и способа производства работ.

Сооружения следует располагать как можно компактнее, при этом блокируя прямоугольные в плане сооружения. Между группами сооружений, которые могут строиться в разное время, принимают расстояние от 10 до 25 м, между однотипными сооружениями в группе – 2-3 м. Размещение газгольдеров, метантенков и аналогичных сооружений должно производиться с соблюдением пожарных разрывов, расстояние между ними 20-50 м. Иловые площадки следует располагать от очистных сооружений со стороны, противоположной городу.

Существующие здания и сооружения, инженерные сети и транспортные устройства на генеральных планах изображают с помощью условных знаков для топографических планов различных масштабов.

Если проектируемая территория имеет удлиненную форму, то большую ее сторону на генеральном плане рекомендуется размещать вдоль длинной стороны листа. Северная сторона проектируемой территории должна располагаться в верхней части с допустимыми отклонениями на запад или восток в пределах угла  $90^\circ$ . Графическое изображение характеристик ветра указывают в левом верхнем углу чертежа стрелкой с буквой "С" у острия (роза ветров). Самый большой вектор розы ветров соответствует господствующему направлению ветра. Изображенные на генеральном плане здания и сооружения нумеруют в соответствии с экспликацией, помещенной обычно на том же листе в правом нижнем углу.

Высотная схема очистной станции – это графическое изображение в профиле всех ее сооружений с взаимной увязкой высоты их расположения на местности. Такая схема позволяет установить зависимость между уровнями воды и основными отметками сооружений станции.

Высотная схема расположения очистных сооружений решается исходя из двух положений: самотечного движения воды на всем ее пути – от головного сооружения станции до резервуара чистой воды, используя для этого, по возможности, рельеф местности, и баланса земляных работ, чтобы объем вынутого грунта примерно равнялся объему насыпей. Сооружения следует располагать по естественному склону с учетом потерь напора в сооружениях, соединительных коммуникациях и измерительных устройств.

вах. Это позволит уменьшить заглубление сооружений, сократить объем земляных работ, удешевить устройство фундаментов, т.е. снизить стоимость строительства очистной станции. Напорные схемы применяются только на станциях небольшой производительности.

При самотечном движении воды выход ее с каждого предыдущего сооружения должен быть расположен выше входа в последующее. Разница в отметках должна соответствовать потерям напора в коммуникациях, соединяющих эти сооружения.

Высотное расположение отдельных сооружений определяет объем земляных работ. Сооружения большой высоты целесообразно размещать наполовину выше уровня земли; земля, извлеченная из котлована, используется на обсыпку сооружений с целью их утепления. Сооружения больших размеров, например, иловые площадки, следует располагать по возможности на уровне поверхности земли.

Составление высотной схемы при самотечном движении воды начинается с конечного сооружения, т.е. резервуара чистой воды, задавшись отметкой наивысшего уровня воды в нем, которая должна быть на 0,25-0,5 м выше отметки земли. Здесь же необходимо учесть противопожарный запас воды в резервуаре на отметке ниже уровня земли и устройство петли на этой отметке, предупреждающее захват противопожарного запаса промывным насосом.

Одновременно с составлением высотной схемы и генерального плана очистной станции составляются профили движения воды или ила, так называемые профили "по воде" и "по движению осадка и ила". Профиль "по воде" представляет собой развернутый разрез по сооружениям, сделанный по самому длинному пути движения воды от подводящего канала до выпуска в водоем.

Профиль "по движению осадка" начинается от выпуска осадка из первичных отстойников и доводится до сооружений по обработке осадка. На высотных схемах и профилях должны быть показаны отметки уровня воды, отметки лотков, каналов, труб и др. важных точек сооружений, скорость или расход воды на отдельных участках и сооружениях, размеры сооружений и соединительной аппаратуры, а также отметки как естественной, так и спланированной поверхности земли.

Горизонтальный масштаб для профилей и высотной схемы такой же как для генеральных планов, вертикальный в 10 раз больше.

### **1.2.3.5. Потери напора в сооружениях водоочистной станции**

Для самотечного движения сточной воды по сооружениям необходимо, чтобы отметка воды в головном сооружении превышала отметку воды на выходе из сборника очищенной воды на величину всех потерь напора по пути движения воды по сооружениям и коммуникациям.

Разности уровней воды в различных сооружениях определяются в зависимости от гидравлических сопротивлений (потерь напора) в самих сооружениях и на пути движения воды между ними. Для предварительных расчетов разница отметок уровня воды перед и за сооружением может быть принята по литературным данным. Ориентировочные значения таких потерь приведены в табл.2.

Таблица 2.

Ориентировочные потери напора при движении воды в отдельных сооружениях и соединительных коммуникациях

Наименование сооружения	Потери напора, м	Наименование сооружения	Потери напора, м
Решетки	0,05-0,25	Камеры хлопьеобразования	
Барабанные сетки и микрофильтры	0,2-0,7	гидравлические	0,4-0,6
Смесители:		механические	0,1-0,2
гидравлические	0,4-0,9	Фильтры (песчаные)	H*+2,0
механические	0,1-0,2	Осветлители со слоем взвешенного осадка	0,7-0,8
Песколовки	0,3-0,4	Контактные осветлители	2,0-2,5
Отстойники:		Аэротенки	0,5-0,8
горизонтальные	0,35-0,4	Биофильтры	H*+(1,5-2,5)
вертикальные	0,4-0,5		
радиальные	0,4-0,6		
двухъярусные	0,25-0,3		

Потери напора в коммуникациях могут быть определены по выражению:

$$h_n = i * l,$$

где  $i$  – гидравлический уклон трубопроводов;  $l$  – длина пути движения сточных вод

Потери напора в измерительной аппаратуре должны учитываться дополнительно из расчета: на входе и выходе со станции – по 0,5 м, в индикаторах расхода на отстойниках, осветлителях (контактных и со взвешенным осадком), фильтрах – по 0,2-0,3 м.

Общая величина потерь напора на очистной станции зависит также от компактности расположения сооружений, т.е. от величины разрывов между ними; ориентировочно можно принимать ее при механических способах очистки 6 м, при биохимической в аэротенках – 8 м, в биофильтрах – 12 м.

Указанные в табл.2 потери напора подлежат уточнению после проверки гидравлическим расчетом действительных потерь.

## 1.2.4. Проектирование систем газоочистки

### 1.2.4.1. Компоновка газоочистительных сооружений

По технологическим признакам компоновка газоочистительных сооружений делится на следующие типы:

\* H – высота загрузки фильтра.

пониточная;  
коллекторная;  
смешанная.

При пониточной компоновке (рис.3а) каждый источник выбросов имеет собственный тракт газоочистки, независимый от других трактов и не сообщающийся с ними. Работа газоочистки в этом случае должна быть организована так, чтобы внезапные неполадки не приводили к unplanned остановке основного технологического оборудования. Необходимо резервировать наиболее важные элементы газового тракта. Например, в горизонтальном электрофильтре целесообразно предусмотреть добавочное электрическое поле по сравнению с расчетом. Недостатком пониточной компоновки является то, что если агрегат-источник работает нестабильно, это отрицательно отражается на работе газоочистки. Меняющийся температурный режим может вызвать конденсацию паров и, как следствие, образование трудноудаляемых отложений и коррозию оборудования.

Коллекторная компоновка (рис.3б) применяется в наиболее крупных газоочистительных сооружениях. Она удобна, когда к одному коллектору подключено много (10-15 и более) аппаратов, причем необязательно, чтобы они работали одновременно (часть аппаратов может находиться в ремонте, резерве или не работать по другим причинам). Скорость газа в коллекторе непостоянна как по времени, так и по его отдельным участкам. Коллектор обычно имеет один или несколько вводов, причем они часто располагаются несимметрично относительно середины коллектора. Такая система разводки удобна для производителей, поскольку она допускает неограниченно гибкое варьирование как в подводе газа к коллектору, так и в количестве и расположении включенных и отключенных в данный период времени аппаратов.

Смешанная компоновка может проектироваться во многих вариантах. Широко распространен вариант, при котором (рис.3в) в зоне неочищенного газа применяется пониточная компоновка, в зоне очищенного - коллекторная, поскольку задача запыленного газа по аппаратам связана с трудностями, тогда как сбор очищенного газа в основном решается без особых проблем.

По строительным признакам компоновка газоочистительных сооружений делится на несколько типов:

развитая по горизонтали;



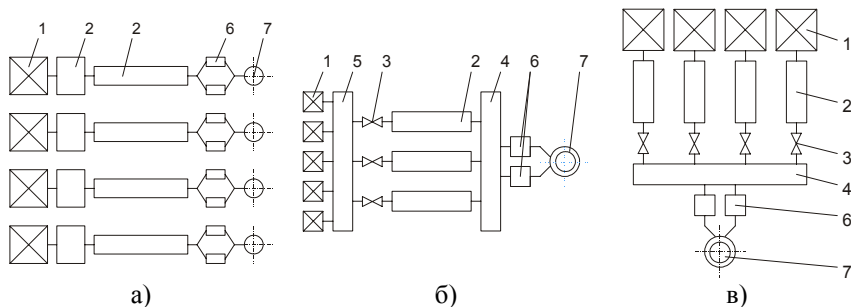


Рис. 3. Компонвочные схемы газоочистного оборудования

а) пониточная; б) коллекторная; в) смешанная

1 – источник выброса; 2 – газоочистительный аппарат; 3 – запорно-регулирующее устройство; 4 – собирающий коллектор; 5 – раздающий коллектор; 6 – ТДМ; 7 – дымовая труба

развитая по вертикали;

смешанная;

разобшенная.

Компоновка развита по горизонтали, если опорные устройства всех элементов газоочистки располагаются на отметке, принятой на данной промплощадке за нулевую. Такие компоновки применяются обычно при наличии достаточных свободных площадей. Из всех видов компоновок они наиболее дешевы, поскольку не требуют возведения тяжелых несущих конструкций и применения сложной подъемной техники.

Вертикально развитая компоновка характеризуется относительно малым пятном застройки в плане и значительной высотой. При строительстве газоочистительного сооружения используются мощные подъемные механизмы. Тяжелые аппараты, рассчитанные на аварийное заполнение пылью или жидкостью, располагаются на высоких постаментов ("этажерках"), либо на высоко расположенных перекрытиях производственных зданий. В обоих случаях применяются усиленные строительные конструкции.

Примером смешанной компоновки служит газоочистка вращающейся цементнообжигательной печи с циклонными теплообменниками. Основная часть всего сооружения имеет развитие по горизонтали, а в зоне циклонных теплообменников - по вертикали.

Разобщенной называется компоновка, характеризующаяся тем, что разные узлы (ступени) одного газоочистительного сооружения размещены на разных площадках, иногда значительно удаленных друг от друга и связаны длинными коммуникациями. Такие компоновки чаще всего встречаются на старых, плотно застроенных предприятиях.

#### 1.2.4.2. Особые условия проектирования

Проект газоочистительного сооружения должен выполняться при неукоснительном соблюдении общепромышленных норм и правил взрыво- и пожаробезопасности производственных зданий и сооружений. Однако есть ряд специфических особенностей, связанных именно с газоочисткой.

Основное требование к газовому тракту - полное исключение утечки из него компонентов очищаемой смеси. Это достигается двумя способами: тщательной герметизацией тракта или расстановкой тягодутьевых машин (ТДМ) таким образом, чтобы наиболее опасные участки тракта находились хотя бы под небольшим разрежением. Если это невозможно, то часть тракта, работающую под давлением, надо разместить вне помещения.

Если смесь не только токсична, но и потенциально взрыво- и пожароопасна, то необходимо обеспечить содержание кислорода в смеси ниже нижнего предела взрываемости (воспламенения).

Подсосы воздуха недопустимы во избежание достижения нижнего предела взрываемости. В такой ситуации необходимы специальные меры по герметизации тракта: замена разъемных соединений сварными неразъемными, в разъемных соединениях необходимо применение фланцев типа шип-паз, в местах удаления уловленного продукта - установка для пылей герметичных затворов с электроприводом, для жидкостей - гидрозатворов с увеличенной высотой запирающего столба. В тех местах, где вероятность подсосов или утечки особенно велика, следует размещать ТДМ для поддержания минимального разрежения (0,3-0,5 Па).

Если уловленный продукт токсичен сам по себе, то меры защиты определяются по справочным данным.

Могут быть случаи, когда уловленное вещество само по себе нетоксично, но может быть отравлено примесями, которые по различным причинам и в незначительном количестве оказались в составе улова (нейтральная пыль адсорбирует газ из аэрозоля, орошающая жидкость абсорбирует пар и т.д.). Поэтому при проектировании необходимо проанализировать возможность такой ситуации.

Если одновременно улавливается нейтральный и токсичный продукты, следует применять селективную очистку. Селективность обеспечивается, например, за счет того, что сухие пылеуловители не улавливают ни паров, ни газов. Следовательно, в период улавливания нейтральной пыли токсичный продукт не должен находиться в аэрозольном состоянии. Селективное улавливание производится в разных температурных режимах, определяющих их агрегатное состояние.

Для обеспечения безопасности проектируемых установок при проектировании необходимо определить взрыво- и пожароопасность смеси и условия ее воспламенения (взрыва).

Смесь может состоять из компонентов, потенциально взрыво- и пожароопасных ( $H_2$ ,  $CO$ , углеводороды и др.) и флегматизаторов ( $N_2$ , водяной пар, нейтральная пыль и др.)

Радикальный способ борьбы с воспламенением смеси в газоочистном аппарате (ГОА) - установка перед камерой для дожигания горючих компонентов. Непосредственно у камеры следует предусмотреть аварийную выбросную свечу с автоматической системой запорных устройств. При погасании пламени несгоревшая смесь выбрасывается в атмосферу. Такой режим можно поддерживать кратковременно.

Альтернативным решением является установка дожигающих устройств непосредственно в ГОА. Устройства для дожигания  $CO$  встроены в конструкцию вагранок - газоотсоса от сталеплавильных печей, горелки для дожигания смолистых компонентов встроены в электролизерах алюминиевой промышленности.

При улавливании в сухих аппаратах пылей, способных гореть или взрываться как в аэрозольном, так и в осажденном состояниях, предусмотреть следующие меры:

- если аэрозоль содержит кислород в концентрации ниже нижнего предела взрываемости - исключить подсосы воздуха по тракту газоочистки;

- если аэрозоль содержит пыль и кислород в концентрациях выше нижнего предела взрываемости - установить как можно ближе к источнику выброса циклоны или другие аппараты пылеочистки для улавливания пыли до концентрации, исключающей возможность ее взрыва в последующих аппаратах;

- предусмотреть непрерывное удаление пыли из бункеров пылеуловителей;

- обеспечить условия, исключающие отложение пыли внутри аппаратов;

- в электрофильтрах предусмотреть условия для пожаротушения (водяные форсунки в верхней части, подвод азота к бункерной части);

- в рукавных фильтрах использовать антистатические и негорючие ткани;

- применять ТДМ во взрывобезопасном исполнении;

- при наличии паровоздушной смеси, где горючий компонент находится в небольшой концентрации и легко может сконденсироваться в летучую быстровоспламеняющуюся жидкость, необходимо использовать специальные неискрящие ТДМ.

Для предотвращения оборудования от разрушения применяют взрывные мембраны или взрывные клапаны.

## **1.3. Основы технологических расчетов при проектировании оборудования и сооружений**

### **1.3.1. Критерии выбора оборудования**

Применяемое в промышленности оборудование можно разделить на три класса: аппараты (сооружения), машины и транспортные средства. В зависимости от назначения химическое оборудование подразделяется на универсальное, специализированное и специальное.

Универсальное – это оборудование общего назначения или общезаводское. Его можно применять без каких-либо изменений в различных производствах. Сюда относятся насосы, компрессоры, калориферы, центрифуги, сушилки, сепараторы, газоочистное и пылеулавливающее оборудование, а также транспортные средства.

Специализированное оборудование используется для одного процесса различных модификаций: теплообменники, абсорберы, ректификационные колонны и др.

Специальное оборудование предназначено только для проведения одного процесса: каландры, грануляторы, вулканизационные прессы, хлораторы и др.

Технологическое оборудование бывает основное и вспомогательное, которые, в свою очередь, делятся на три основных типа:

стандартное (типовое), изготавливаемое на специализированных заводах серийно, по действующим стандартам, нормам, техническим условиям;

нетиповое, выпускаемое на специализированных заводах серийно по отраслевым техническим условиям или чертежам;

нестандартизированное, изготавливаемое в единственном экземпляре или небольшой серией в виде разового заказа на неспециализированных предприятиях или на строительной площадке по чертежам проектной организации.

Марки типового и нетипового оборудования при разработке технического проекта принимают на основании технологических расчетов по справочникам или каталогам заводов-изготовителей.

По нестандартизированному оборудованию выполняются не только технологические, но и конструктивные расчеты, а также габаритные и сборочные монтажные чертежи.

К основному технологическому оборудованию относят аппараты и машины, в которых осуществляют различные технологические процессы – химические, физико-химические, механические и др., в результате чего получают целевые продукты.

К вспомогательному оборудованию можно отнести емкости, резервуары, хранилища и т.п.

Продукты получаются на ряде установок, связанных между собой единым технологическим процессом, а аппараты и машины, входящие в состав каждой установки, будут работать в различных рабочих условиях. Поэтому аппарат по своей конструкции, размерам должен соответствовать свойствам обрабатываемых веществ, условиям и требованиям, приводимого в нем процесса.

Важнейшими факторами, определяющими тип аппарата, являются агрегатное состояние веществ, их химические свойства, температура, давление, тепловой эффект.

К оборудованию предъявляются следующие основные требования: обеспечение заданного качества очистки среды, надежность, минимальная материалоемкость в изготовлении, минимальное расходование всех видов энергии при эксплуатации, конструктивное совершенство, отсутствие вредных выбросов в окружающую среду, эстетичность внешних форм, удобство и безопасность в обслуживании и др.

Надежность оборудования оценивается по таким показателям как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, механическая прочность, устойчивость, герметичность.

Материалоемкость характеризуется "удельной материалоемкостью", показывающей расход материала в данном виде оборудования на единицу его производительности. Снижение удельной материалоемкости оборудования может быть достигнуто путем использования для его изготовления недифицитных конструкционных сталей с антикоррозионным покрытием, замены металлических деталей пластмассовыми, усовершенствования методов расчета и конструирования.

Эксплуатационные достоинства определяются высоким КПД; минимальным расходом энергии, которая зависит от принципиальной схемы очистки, параметров процесса, оптимальности конструкции оборудования; легкостью сборки, ремонта, поддержания режима.

Конструктивное совершенство – это простота устройства, малая масса, компактность, технологичность изготовления. Компактность может быть достигнута объединением нескольких узлов в одном аппарате, использованием одних и тех же конструктивных элементов в различных технологических целях.

Отсутствие вредных выбросов в окружающую среду достигается, например, созданием схемы замкнутого оборотного водоснабжения, включающей кроме схемы очистки воды операции по обезвоживанию осадков, переработки жидких и твердых отходов.

Из многочисленных критериев степени совершенства любого объекта наиболее важными являются технико-экономические: номинальная про-

изводительность, расходные коэффициенты, стоимость объекта и расходы на его эксплуатацию, себестоимость продукции.

Под полной или номинальной производительностью аппаратов и сооружений понимают расчетный или гарантированный изготовителем выпуск продукции в единицу времени. Расходные коэффициенты определяются расходом сырья и различных материалов, топлива, пара, воды, сжатого воздуха, электроэнергии на 1 т (1 м<sup>3</sup>) продукции. Капитальные затраты связаны в основном со стоимостью оборудования и сооружений. Часто более дорогое, но более совершенное оборудование значительно рентабельнее дешевого, но устаревшего. Срок службы оборудования определяется не только физическим износом, но и моральным старением.

Экономические критерии – приведенные затраты и приведенный доход, чаще всего выступают в виде критериев оптимизации. При оптимальном варианте приведенные затраты на очистку воды, воздуха и рекуперацию веществ должны быть минимальными:

$$ПЗ = C + E_n K,$$

где  $C$  – суммарные годовые эксплуатационные затраты, руб/год;  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности капиталовложений, год<sup>-1</sup>;  $K$  – капитальные затраты на реализацию технологической схемы очистки, руб.

В качестве обобщающего показателя экономической эффективности используется приведенный доход:

$$D_{np} = \sum_{i=1}^n C_i B_i - C - E_n K,$$

где  $C_i$  – отпускная цена на продукты очистки, руб/ед.;  $B_i$  – годовой объем выпуска и реализации продуктов очистки.

Максимальный приведенный доход адекватен минимальным приведенным затратам.

Суммарным показателем степени совершенства технологического процесса, а следовательно, и примененного в нем оборудования, является себестоимость продукции или переработки материала.

Важнейшим направлением в проектировании должна быть типизация проектных решений на базе унификации сооружений и оборудования. На серийно изготавливаемое оборудование составляются ведомости, списки используемых типовых проектов сооружений. Выбранный по каталогам, типовым проектам или вновь сконструированный объект должен удовлетворять вышеперечисленным требованиям.

### 1.3.2. Проектирование оборудования и сооружений

Исходными данными для конструирования и выбора по каталогам типовых или серийно изготавливаемых аппаратов и сооружений обычно являются:

1) рабочие параметры процесса (давление, температура, концентрация реагентов;

2) механические и физико-химические свойства перерабатываемых веществ, в том числе агрессивность к конструкционным материалам, способность к накипеобразованию, налипанию и т.п.;

3) минимальные, максимальные и средние расходы материалов на элементы и узлы проектируемого объекта;

4) определяемые расчетом основные технологические размеры агрегата (диаметр, высота, число ступеней изменения концентрации и др.);

5) характер процесса (непрерывный, периодический, полунепрерывный) и т.п.

Проектирование аппарата выполняют в последовательности:

1) Составляют уравнение материального баланса по общему принципу, т.е. с учетом прихода и расхода всех исходных, промежуточных и конечных продуктов.

2) Составляют и решают уравнение теплового баланса, определяют расход теплоносителя (пара, воды) или температуру.

3) Выполняют технологические расчеты. Технологическим расчетом выявляются основные конструктивные размеры оборудования и его потребное количество. Для стандартного оборудования расчет сводится к определению потребного количества оборудования, а для нестандартного – основных конструктивных размеров аппарата и их количества. Размеры округляют до стандартных.

4) Выбирают по стандартам, каталогам, нормам аппарат, имеющий наиболее близкие к расчетным размеры и параметры.

5) Выбирают конструктивные материалы и определяют их механические характеристики при расчетной температуре.

6) Рассчитывают на прочность основные элементы аппарата с учетом их рабочих нагрузок (обечайки, днища, крышки, люки, трубные решетки, фланцевые соединения, укрепления вырезов в стенках и т.д.). Полученные значения округляют до стандартных.

Количество аппаратов в любом технологическом процессе определяется заданной мощностью производства  $q$  и производительностью одного агрегата  $q_a$ :

$$n = \frac{q}{q_a} (1 + Z),$$

где  $Z$  - коэффициент запаса, компенсирующий ремонтные и другие простои,  $Z = 0,05-0,20$ .

Диаметр аппарата непрерывного действия зависит от объемной производительности и скорости протекания потока. Рабочий объем аппарата определяется из выражения:

$$V_p = \frac{q_a \tau}{\varphi},$$

где  $\tau$  - среднее время пребывания потока в аппарате,  $\varphi$  - коэффициент заполнения аппарата ( $\varphi=0,85-0,90$  - для хранилищ, сборников;  $\varphi=0,75-0,80$  - для аппаратов с мешалками;  $\varphi=0,4-0,6$  - для аппаратов с пенообразованием).

Площадь поперечного сечения аппарата находят из уравнения расхода:

$$f = \frac{q_a}{v},$$

где  $v$  - скорость потока,

далее определяют диаметр аппарата (для круглого в плане сооружения):

$$D = \sqrt{\frac{4f}{\pi}}$$

или длину рабочей части (для прямоугольного сооружения):

$$L = \frac{V_p}{f} = v\tau.$$

Проектирование осуществляется в соответствии со строительными нормами и правилами (СНиП), санитарными нормами, правилами техники безопасности и др. нормативными документами. К числу наиболее часто применяемых при проектировании систем водоочистки относятся:

СНиП 2.04.02-84. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения;

СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения;

СНиП П-89-80. Генеральные планы промышленных предприятий;

СПиН №4630-88. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения и др.

К исходным материалам на проектирование относится патентная документация, которая содержит систематизированные сведения об отечественных и зарубежных изобретениях, защищенных авторскими свидетельствами или патентами. Изучение патентной документации необходимо для проверки патентоспособности и патентной чистоты принятых в проектах новых технологических процессов, конструктивных решений и оборудования.



## ГЛАВА 2. ОСНОВНЫЕ КОНСТРУКЦИОННЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

### 2.1. Требования к конструкционным материалам

Конструкционные материалы, используемые для изготовления аппаратов и сооружений, условно делятся на четыре класса: стали, чугуны, цветные металлы и сплавы, неметаллические материалы.

Выбор материалов определяется рядом факторов, которые можно разделить на две группы: 1) зависящие от внешних рабочих условий (температура, давление, свойства среды); 2) связанные со свойствами данного материала (физико-механическими и технологическими).

Все требования к конструкционным материалам учитывают в расчетах на прочность.

Механические свойства материалов существенно изменяются в зависимости от температуры. Как правило, прочностные свойства металлов и сплавов повышаются при низких температурах и понижаются при высоких.

Повышение давления увеличивает, ужесточает требования к качеству конструкционного материала. Например, обычные углеродистые стали рекомендуется применять для аппаратов, работающих под давлением до 5 МПа, при больших давлениях надо использовать стали с лучшими механическими свойствами. Увеличение давления обычно приводит к интенсификации коррозии.

При выборе конструкционного материала основным критерием является его химическая и коррозионная стойкость в заданной среде.

Рабочая среда может оказывать коррозионное\* и эрозионное\*\* воздействие на материал аппарата или сооружения. Повышенные требования предъявляются к материалам, предназначенным для работы с взрывоопасными веществами. Обычно выбирают материал абсолютно или достаточно стойкий в среде при ее рабочих параметрах и к расчетным толщинам добавляют на коррозию соответствующие прибавки в зависимости от срока службы аппарата.

Из механических характеристик материалов можно выделить предел прочности или временное сопротивление  $\sigma_b$ , предел текучести  $\sigma_T$ , относительное удлинение  $\delta$ , относительное сужение  $\psi$ , модуль упругости при растяжении  $E$  (модуль продольной упругости), коэффициент Пуассона  $\mu$ , ударную вязкость  $a_n$ . Из механических свойств материала надо знать такие,

---

\* Коррозия – разрушение материалов вследствие воздействия внешней агрессивной среды.

\*\* Эрозия – постепенное разрушение материалов в потоке газа или жидкости, а также под влиянием механических воздействий или электрических разрядов.

как ползучесть и длительная прочность материала, склонность к тепловой хрупкости, релаксация, чувствительность к старению и др.

Из физических характеристик для выбора материала используют температурный коэффициент линейного расширения  $\alpha$  и коэффициент теплопроводности материала  $\lambda$ .

При проектировании систем водоочистки необходимо учитывать склонность к ингибирующей активности, биообрастанию, адгезии органических и неорганических отложений. Учет этих требований особенно важен при использовании технологических рециклов, систем замкнутого водоиспользования.

Наиболее важными технологическими характеристиками материалов являются свариваемость, обрабатываемость давлением, резанием и т.п.

Помимо указанных факторов необходимо также учитывать доступность и стоимость материала, т.е. экономические соображения; уровень безотходности производств, изготавливающих данный материал, и степень использования в нем вторичных материальных ресурсов; возможность и способы утилизации конструкционных материалов после отработки установленного срока.

Материалы для изготовления аппаратов и машин нужно выбирать со спецификой их эксплуатации, учитывая при этом возможное изменение исходных физико-химических свойств материалов под воздействием рабочей среды, температуры, протекающих химико-технологических процессов.

При конструировании аппаратуры, отвечающей требованиям безопасной эксплуатации, к конструкционным материалам должны предъявляться следующие основные требования:

1. Достаточная общая химическая и коррозионная стойкость материала в агрессивной среде с заданными концентрацией, температурой и давлением, при которых осуществляется технологический процесс, а также стойкость против других возможных видов коррозионного разрушения.

2. Достаточная механическая прочность при заданных давлении и температуре технологического процесса с учетом специфических требований, предъявляемых при испытании аппаратов (на прочность, герметичность и т.п.) и при эксплуатации (нагрузки: ветровая, прогибы от собственного веса и т.д.).

3. Наилучшая способность материала свариваться (соединяться) с обеспечением высоких механических свойств соединений и коррозионной стойкости их в агрессивной среде.

## 2.2. Виды конструкционных материалов

### 2.2.1. Металлические материалы и сплавы

#### 2.2.1.1. Стали

Сталь представляет собой сплав железа с углеродом, содержание которого не превышает 1-2 %. Кроме того, в состав стали входят примеси кремния, марганца, а также серы и фосфора.

Стали по химическому составу делятся на несколько групп:

углеродистые обыкновенного качества;

углеродистые конструкционные;

легированные конструкционные и др.

Сталь углеродистую обыкновенного качества, изготавливают в зависимости от химического состава по ГОСТ 380-94 и ГОСТ 16523-89 нескольких категорий – 1, 2, 3, 4, 5, 6 – чем больше номер, тем выше механическая прочность стали и ниже ее пластичность. Эту сталь подразделяют на группы: А – поставляемые по механическим свойствам, Б – по химическому составу, В – по механическим и химическим свойствам. По степени раскисления стали всех категорий изготавливают кипящими (кп), полуспокойными (пс) и спокойными (сп). Поставляется в виде листового, сортового и фасонного проката, труб, поковок и т.д.

Стали углеродистые конструкционные поставляют в виде листового и сортового проката, труб; они содержат сотые доли процента углерода.

Для улучшения физико-механических характеристик сталей и придания им особых свойств (жаропрочность, кислотостойкость, жаростойкость и др.) в их состав вводят определенные легирующие добавки.

Наиболее распространенные легирующие добавки:

хром (Х) – повышает твердость, прочность, химическую и коррозионную стойкость, термостойкость;

никель (Н) – увеличивает прочность, пластичность и вязкость сталей;

вольфрам (В) – придает твердость стали, обеспечивает ее самозакалывание;

молибден (М) – повышает твердость, предел текучести при растяжении вязкости, улучшает свариваемость;

марганец (Г) – увеличивает твердость и коррозионную стойкость, понижает теплопроводность;

кремний (С) – повышает прочность, твердость, пределы текучести и упругости, кислотостойкость;

ванадий (Ф) – повышает твердость, предел текучести при растяжении, вязкость, улучшает свариваемость стали и увеличивает стойкость к водородной коррозии;

титан (Т) – увеличивает прочность и повышает коррозионную стойкость стали при высоких (>800 °С) температурах.

Обычно в состав легированных сталей входит несколько добавок. По общему содержанию легирующих добавок легированные стали делят на три группы:

- низколегированные – с содержанием добавок до 2,5 %;
- среднелегированные – с содержанием добавок от 2,5 до 10 %;
- высоколегированные – с содержанием добавок более 10 %.

Марки сталей имеют следующее обозначение:

углеродистые обыкновенного качества, последовательно указываются: группа, марка стали, степень раскисления и категория требований, например, ВСтЗспЗ – сталь углеродистая обыкновенного качества, группы В, марки СтЗ, спокойная, категория требований З;

качественные, углеродистые конструкционные обозначаются двумя цифрами, показывающими среднее содержание углерода в сотых долях процента, например, 20 (для котельных марок в конце ставится буква К);

легированные обозначаются комплексом цифр и букв, причем первые две цифры указывают на содержание углерода в сотых долях процента (отсутствие цифр означает, что содержание углерода составляют около 0,01 %), затем последовательно указываются буквы, показывающие наличие в стали того или иного легирующего элемента, за каждой буквой одной или двумя цифрами дается примерное содержание данного элемента в процентах (отсутствие цифр означает наличие элемента до 1,5 %); например, 10Х14Г14Н4Т – сталь легированная с содержанием углерода 0,10 %, хрома 14 %, марганца 14 %, никеля 4 %, титана до 1,5 %.

Для изготовления аппаратуры, работающей под небольшим давлением и в контакте с неагрессивными средами, широко используются низколегированные кремнемарганцевые стали, например, 26ГС, 09Г2 и др. Они отлично свариваются, обладают хорошей пластичностью, высокой ударной вязкостью. В зависимости от назначения низколегированные стали разделяются на две группы; А – сталь для металлических конструкций: марганцовистая (14Г, 09Г2), кремнемарганцевая (12ГС, 09Г2С), марганцово-ванадиевая (15ГФ); Б – сталь для армирования железобетонных конструкций. Применение этих сталей позволяет облегчить конструкции и повысить их эксплуатационную надежность.

Легированные стали, а также коррозионностойкие, жаростойкие, жаропрочные сплавы предназначены для работы в коррозионных средах при высоких температурах.

Согласно ГОСТ 5632-72, в зависимости от основных свойств эти сплавы и стали подразделяются на три группы:

коррозионно-стойкие (нержавеющие) стали, обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии (08X13, 12X18H10T, 10X17H13M2T);

жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы, стойкие против химического разрушения поверхности в газовых средах при температуре более 550 °С и работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии (12X7, 20X23H13);

жаропрочные стали и сплавы, работающие в течение определенного времени при высоких температурах в нагруженном состоянии и обладающие при этом достаточной окалиностойкостью (20X13, 12X18H10T).

Эффективным способом экономии дефицитных коррозионностойких сталей, особенно при изготовлении аппаратов с большой толщиной стенки является применение двухслойных металлов с тонким плакирующим слоем из легированного материала или цветных металлов и сплавов.

Обозначения в марках стали, кроме вышеперечисленных: Д – медь, Ю – алюминий, Б – ниобий, Р – бор, А – азот (в конце обозначения не ставятся).

### **2.2.1.2. Чугуны**

Для корпусов, опор, крышек и других деталей аппаратов и машин применяют отливки из серого чугуна. Коррозионностойкий чугун используют для изготовления деталей, работающих в растворах щелочей при давлениях до 1 МПа и температурах от -15 до +300 °С. Высокопрочный чугун идет на изготовление трубопроводной арматуры.

Серые чугуны представляют собой сплав железа, углерода и других металлургических добавок - кремния, марганца, фосфора и серы. Содержание углерода в чугунах колеблется от 2,8 до 3,7 %, при этом большая его часть находится в свободном состоянии (графит) и только около 0,8÷0,9 % находится в связанном состоянии в виде цементита (карбида железа – FeC). Свободный углерод выделяется в чугуне в виде пластинок, чешуек или зерен.

Детали из чугуна изготавливают методом литья в земляных и металлических формах. Из чугуна получают детали сложной конфигурации, которые невозможно получить другими методами, например, ковкой или резанием.

Серый чугун является ценным конструкционным материалом, т.к. имея сравнительно низкую стоимость, он обладает неплохими механическими свойствами. Существенным недостатком серых чугунов является их низкая пластичность. Поэтомуковка и штамповка серого чугуна даже в нагретом состоянии невозможна.

Марки серых чугунов (СЧ) обычно содержат два числа: первое характеризует предел прочности на растяжение, второе – предел прочности на изгиб, например, СЧ 12-28; СЧ 18-36 и др.

Серые чугуны обладают низкой химической стойкостью, и детали из них не могут работать в агрессивных средах.

Для повышения качества чугуна его модифицируют различными модификаторами, которые воздействуют на процессы кристаллизации жидкого чугуна, изменяя его механические свойства.

Различают ковкий и высокопрочный чугун. Ковкий чугун (КЧ) отличается от серого чугуна пониженным содержанием углерода и кремния, что делает его более пластичным, способным выдерживать значительные деформации (относительное удлинение КЧ составляет 3-10 %). Высокопрочный чугун (ВЧ) является разновидностью ковкого чугуна, высокие прочностные характеристики которого достигаются модифицированием присадками магния и его сплавов. Ковкий и высокопрочный чугуны идут на изготовление коленчатых валов, цилиндров малых компрессоров и других фасонных тонкостенных деталей.

Широкое применение в химическом машиностроении имеют легированные чугуны, в состав которых входят легирующие элементы: никель, хром, молибден, ванадий, титан, бор и др. По суммарному содержанию легирующих добавок чугуны делят на три группы:

низколегированные – сумма легирующих добавок до 3 %;

среднелегированные – сумма легирующих добавок от 3 до 10 %;

высоколегированные – сумма легирующих добавок более 10 %.

Легирование позволяет существенно улучшить качество чугуна и придать ему особые свойства. Например, введение никеля, хрома, молибдена, кремния повышает химическую стойкость и жаропрочность чугуна; никелевые чугуны с добавкой меди (5-6 %) надежно работают со щелочами; высокохромные (до 30 % хрома) устойчивы к действию азотной, фосфорной и уксусной кислот, а также хлористых соединений; чугун с добавкой молибдена до 4 % (антихлор) хорошо противостоит действию соляной кислоты.

### **2.2.1.3. Цветные металлы и их сплавы**

Цветные металлы и их сплавы применяют для изготовления машин и аппаратов, работающих со средами средней и повышенной агрессивности и при низких температурах. В промышленности в качестве конструкционных материалов используются алюминий, медь, никель, свинец, титан, тантал и их сплавы.

Алюминий обладает высокой стойкостью к действию органических кислот, концентрированной азотной кислоты, разбавленной серной кислоты, сравнительно устойчив к действию сухого хлора и соляной кислоты.

Высокая коррозионная стойкость этого металла обусловлена образованием на его поверхности защитной оксидной пленки, предохраняющей его от дальнейшего окисления. Верхняя предельная температура применения алюминия 200 °С. Алюминий не стоек к действию щелочей.

Медь сохраняет прочность и ударную вязкость при низких температурах и поэтому нашла широкое применение в технике глубокого холода. Медь не обладает стойкостью к действию азотной кислоты и горячей серной кислоты, но относительно устойчива к действию органических кислот. Широкое распространение получили сплавы меди с другими компонентами: оловом, цинком, свинцом, никелем, алюминием, марганцем, золотом и др. Наиболее распространенными являются сплавы меди с цинком (латуни), с оловом (бронзы).

Свинец обладает сравнительно высокой кислотостойкостью, особенно к серной кислоте, вследствие образования на его поверхности защитной пленки из сернокислого свинца. Исключительно высокая мягкость, легкоплавкость и большой удельный вес резко ограничивают применение свинца в качестве конструкционного материала. Однако широкое распространение в машиностроении нашли сплавы с использованием свинца в качестве легирующего компонента: свинцовая бронза, свинцовая латунь, свинцовый баббит (свинец, олово, медь, сурьма).

Никель обладает высокой коррозионной стойкостью в воде, в растворах солей и щелочей при разных концентрациях и температурах. Медленно растворяется в соляной и серной кислотах, не стоек к действию азотной кислоты. Широко применяется в различных отраслях техники, главным образом, для получения жаропрочных сплавов и сплавов с особыми физико-химическими свойствами. Улучшенными механическими свойствами и повышенной коррозионной стойкостью обладают никель-медные сплавы.

Никелевые сплавы, легированные хромом и вольфрамом, являются стойкими в окислительных средах. Никелевые сплавы с добавкой меди, молибдена и железа стойкие в неокислительных средах. Никелево-медные сплавы с добавлением кремния стойкие в горячих растворах серной кислоты, а сплавы никеля с молибденом обладают повышенной стойкостью к действию соляной кислоты.

Титан химически стоек к действию кипящей азотной кислоты и царской водки всех концентраций, нитритов, нитратов, сульфидов, органических кислот, фосфорной и хромовой кислот. Однако изделия из титана в 8-10 раз дороже изделий из хромоникелевых сталей, поэтому применение титана в качестве конструкционного материала ограничено. Тантал химически стоек к действию кипящей соляной кислоты, царской водки, азотной, серной, фосфорной кислот. Однако не обладает стойкостью к действию щелочей.

Титан и тантал по механическим свойствам не уступают высоколегированным сталям, а по химической стойкости намного превосходит их. Поэтому несмотря на высокую стоимость эти металлы находят широкое применение в химическом машиностроении, как в чистом виде, так и в виде сплавов.

Перспективны изделия, изготавливаемые методом порошковой металлургии, а также "самозащищающиеся" стали с добавками фосфора, меди, хрома, никеля, с алюминиевыми покрытиями, которые вместо рыхлого слоя оксида железа дают устойчивые к разъедающим воздействиям плотные слои продуктов первоначальной коррозии.

## **2.2.2. Неметаллические конструкционные материалы**

### **2.2.2.1. Бетоны**

В практике водоочистки широко применяются неметаллические конструкционные материалы для изготовления и строительства различных сооружений. Среди них, прежде всего железобетон, в котором сочетаются два различных по свойствам материала – бетон, для сопротивления сжимающим усилиям, и сталь, для восприятия растягивающих напряжений. В нашей стране создана единая номенклатура сборных железобетонных элементов для монтажа почти всех емкостных сооружений. Применение крупноразмерных типовых железобетонных элементов позволяет основную часть работ по возведению сооружений перенести со строительной площадки на специализированные предприятия по производству железобетонных изделий. Из типовых железобетонных конструкций собираются песколловки и отстойники, аэротенки и смесители, резервуары и емкости различного назначения.

Бетоном называют искусственный материал, полученный после твердения правильно подобранной смеси вяжущего материала (различные цементы\*, жидкое стекло), воды и заполнителей (щебень, песок, гравий, шлак). По объемной массе бетоны подразделяются на пять групп:

- 1) особо тяжелые бетоны с объемной массой более  $2500 \text{ кг/м}^3$ , применяемые в конструкциях для защиты от излучения;
- 2) тяжелые бетоны с объемной массой  $2300\text{-}2500 \text{ кг/м}^3$ , используемые в несущих конструкциях (как правило, идут на изготовление железобетонных конструкций, емкостных сооружений);
- 3) облегченные бетоны с объемной массой  $1800\text{-}2200 \text{ кг/м}^3$ , применяемые также в несущих конструкциях;

---

\* Цементы – гидравлически вяжущие материалы – продукты высокотемпературной обработки известняков, глин, бокситов и др., доведенные до частичного или полного плавления.



4) легкие бетоны с объемной массой 500-1800 кг/м<sup>3</sup>, используемые преимущественно в ограждающих конструкциях;

5) особо легкие бетоны с объемной массой до 500 кг/м<sup>3</sup>, идущие в качестве теплоизоляции.

По крупности заполнителей бетоны подразделяются на мелко- и крупнозернистые. Тяжелые бетоны готовят на плотных заполнителях, легкие – на пористых. Существуют и другие виды бетонов: ячеистые, жаро- и химически стойкие, декоративные, силикатные полимербетоны, различающиеся по назначению, составу и др.

Внутри каждой группы бетоны различают по классам и маркам. Числовое значение марок характеризует основные качества бетонов, задаваемые при проектировании сооружения. Прочность на сжатие В в кгс/см<sup>2</sup> определяют через 28 дней нормального твердения. Морозостойкость F оценивают по количеству циклов попеременного замораживания и оттаивания, которые выдерживаются бетоном без нарушения его прочности. Водонепроницаемость W в кгс/см<sup>2</sup>, определяется водонепроницаемостью бетонной пластинки при соответствующем давлении воды.

Для тяжелых бетонов по прочности на сжатие установлено 14 марок от В50 до В800, для легких бетонов – 11 марок от В25 по В400. Для тяжелого бетона установлено 8 марок по морозостойкости F: 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400, 500; для легкого бетона – 10 марок F: 25, 35, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 400 и 500. По водонепроницаемости тяжелые бетоны подразделяются на 6 марок: W2, W4, W6, W8, W10, W12 кг/см<sup>2</sup>, для которых не наблюдается просачивание воды через стандартный образец.

Строгой зависимости между классом бетона по прочности на сжатие и марками по морозостойкости и водонепроницаемости не существует. Однако надо иметь в виду, что в бетонах, приготовленных на одних и тех же материалах, с уменьшением водоцементного отношения, т.е. увеличением водонепроницаемости, наблюдается рост прочности и морозостойкости.

Придание нужных свойств бетонам достигается различными добавками. Например, нитрит натрия обеспечивает нормальное схватывание бетона при отрицательных температурах; улучшение основных свойств бетонов, снижение расхода цемента достигается введением поверхностно-активных веществ, пластификаторов и др.

Для армирования железобетонных конструкций применяется два вида арматуры: дискретная и дисперсная. Дискретная арматура выполняется из стержней, как одиночных, так и сваренных в плоские или рулонные сетки, каркасы, пакеты, или в виде непрерывной арматуры из высокопрочной предварительно напряженной проволоки.

При дисперсном армировании в качестве арматуры используют пластмассовые или стальные фибры, представляющие собой отрезки проволо-

ки общего назначения диаметром 0,8-1,4 мм и длиной около 100 диаметров, иногда сваренные в кольца.

Бетонные и железобетонные конструкции могут быть сборными и монолитными. Сборные конструкции изготовляют на заводе или на специально оборудованной площадке на месте строительства. Монолитные конструкции выполняют непосредственно на стройке путем укладки арматуры и бетонной смеси в опалубку, специально собранные формы, деревянные или металлические, для придания бетонным и железобетонным конструкциям предусмотренных проектом размеров и очертаний.

### **2.2.2.2. Другие неорганические материалы**

Неметаллические конструкционные материалы, прежде всего природные силикатные, используются для защиты конструкций от действия кислот (гранит, базальт, базальт, андезит и др. изверженные породы), щелочей (известняки, доломиты, магнезиты – плотные осадочные карбонатные породы). Все эти материалы обладают хорошими физико-механическими свойствами и широко используются в качестве конструкционных теплоизоляционных и футеровочных материалов. Однако они хрупки, тверды, зачастую дороги, что привело к созданию искусственного каменного литья, в том числе на основе вторичных промышленных материалов. Среди них шлакоситалл, керамика, полученная спеканием глин и их смесей с минеральными добавками или оксидов и других неорганических материалов. Из такой керамики изготовляют кирпич, плитки, трубы, работающие в сильноагрессивных средах, ее можно использовать также для защиты различных конструкций от этих сред. Трубопроводы из кислотостойкой керамики широко применяют для транспортировки серной и соляной кислот.

К обожженным материалам относятся различные сорта шамотного и диасового кирпича, получаемые из огнеупорных материалов и стойкие при 1000-1700°C. Диасовый кирпич изготовляют из измельченного кремнезема (кварцитов) смешением с известью и последующим формованием, сушкой, обжигом. Шамот относится к группе алюмосиликатных огнеупорных материалов и состоит из глинозема и измельченного шамота (заранее обожженной до спекания огнеупорной глины). Алюмосиликатные и кремнеземистые материалы составляют преобладающую часть (до 95%) огнеупорных материалов, их применяют для сооружения печей.

В качестве гидроизоляционных защитных и декоративных покрытий, полов промышленных зданий, элементов подземных сооружений, а также при ремонте бетонных изделий находят широкое применение полимербетоны и полимержелезобетоны. Композиции таких материалов составляют с использованием полимерных связующих веществ (полиэфирных, карбамидных, фуранэпоксидных, фурфуролацетоновых и др. смол). Иногда

на поверхность бетонных или железобетонных изделий наносят слой полимерного материала, например, листового полиэтилена.

Высокой термической (до 400°C) и химической стойкостью отличаются изделия из боросиликатного (термостойкого) стекла. Его используют самостоятельно (изготовление трубопроводов, водомерных стекол, смотровых фонарей и т.д.) и в качестве футеровочного материала.

В особую группу выделяются теплоизоляционные конструкционные материалы. Они позволяют значительно экономить энергетические ресурсы и предохранять биосферу от избыточных тепловыделений. Многие из этих материалов изготавливают из твердых промышленных отходов. Высокая пористость и вследствие этого малая теплопроводность теплоизоляторов достигается газообразованием, пенообразованием, механическим диспергированием, созданием волокнистого каркаса, вспучиванием в процессе изготовления материалов.

К неорганическим теплоизоляционным материалам относятся минеральная, стеклянная, шлаковая вата, изготавливаемая из минеральных пород или шлаков и отходов стройматериалов. Ячеистое стекло (пеногазостекло) получают с газообразователем; перлитобетон и изоляционные материалы на его основе образуются из вспученного перлита и вермикулита, сырьем для которых служат различные горные породы (перлит, обсидан, вермикулит и др.). При их обжиге происходит вспучивание за счет выделения содержащейся в минералах "растворенной" воды.

В качестве керамических теплоизоляционных материалов используют диатомит, вермикулит, перлит, легковесные огнеупоры. Их изготавливают в виде блоков, кирпича, скорлуп. Они водостойки, прочны, температуростойки.

Используются асбестосодержащие теплоизоляционные материалы, изготавливаемые на основе асбоцементов, асбестоцилатов, асбестоизвестково-кремнеземистых материалов и др.

### **2.2.2.3. Органические конструкционные и вспомогательные материалы**

Материалы органического происхождения могут быть использованы как в качестве конструкционного материала для изготовления оборудования, а также соединительных коммуникаций (трубопроводов, лотков), мешалок, хордовых насадок, фильтрующих материалов и др.

Наиболее распространенными органическими полимерными материалами являются пластмассы. Они обладают коррозионной стойкостью во многих средах, большой прочностью на единицу массы оборудования.

Фаолит, изготовленный на основе фенолформальдегидных смол и кислотостойких наполнителей: асбеста, графита, кварцевого песка, применяется как кислотоупорный материал для колонных аппаратов, трубопро-

водов, в качестве футеровочного материала. Используется при температуре 140 °С и давлении до 0,06 МПа.

Текстолит, полученный прессованием слоев хлопчатобумажной ткани, пропитанной различными смолами, используется для изготовления муфт, шестерен, роликов и др. По механической прочности он превосходит фаолит и отличается высокой стойкостью к агрессивным средам. Верхний температурный предел применения текстолита 80°С.

Листовой винипласт (продукт полимеризации хлорзамещенных производных этилена) применяется для изготовления обечаек, днищ аппаратов, газоходов и др. Обладает высокой устойчивостью почти во всех кислотах, щелочах и растворах, за исключением азотной кислоты и олеума. Детали из винипласта надежно работают в интервале температур 0 – 40°С и давлении 0,6 МПа.

Оргстекло (продукт полимеризации метилового эфира метакриловой кислоты) используют там, где необходимо обеспечить оптическую прозрачность отдельных элементов аппаратуры взамен некоторых пластмасс. Полиэтилен и полипропилен (синтетические продукты полимеризации этилена и пропилена в присутствии катализатора) идут для футеровки, как прокладочные материалы, для изготовления труб и пленок. Они стойки к действию минеральных кислот и щелочей при следующих условиях:

полиэтилен – температура – -60°С ÷ +60°С, давление до 1МПа;

полипропилен – температура – -10°С ÷ +100°С, давление до 0,07МПа.

Из всех пластмасс наиболее химически стойким является фторопласт (тефлон) – полимер тетрафторэтилена. Он устойчив при температурах ±260°С. Применяется для изготовления труб, арматуры, емкостной аппаратуры, насосов и их деталей, в качестве уплотнительного материала, для напыления.

Стеклопластики служат для изготовления емкостной аппаратуры, абсорбционных колонн, трубопроводов, фильтров и др. аппаратуры; они обладают высокой химической стойкостью, прочностью, низкой плотностью, теплопроводностью, диэлектрическими свойствами.

Вспененные пластмассы (пенополиуретан, пенополистирол, фенольные и карбамидные пенопласты) имеют низкую теплопроводность, малую объемную массу, достаточную механическую прочность. Их применяют для теплоизоляции в условиях агрессивных сред, в качестве фильтрующих материалов.

Резину используют в виде листов, труб, шлангов, ею часто гуммируют аппараты, трубопроводы, изолируют кабели. Резина обладает не только химической, но и эрозийной стойкостью. Однако ее тепловая стой-

кость невелика (~80 °С), она стареет под действием окислителей и света (растрескивается), в органических растворителях набухает.

Битумные и асфальтовые материалы, многие пластмассы составляют основу гидроизолирующих материалов. Для защиты от коррозии широко используют лакокрасочные покрытия.

Применяют и древесину – для хордовых насадок, переточных лотков, мешалок, тары. Покрытие бакелитовыми и иными лаками расширяет область ее использования. Из композиционных материалов на основе древесины и различных адгезионных веществ получают древесные слоистые, стружечные, волокнистые и другие пластики.

Композиционные материалы, изготавливают из наполнителя и связующего. Например, эпан – углепластик (углеродные волокна с синтетическими связующим и минеральными добавками); компонор – высоконаполненная полимерная композиция на основе полипропилена. Есть композиционные материалы на металлической основе.

### **2.3. Способы борьбы с коррозией**

Коррозией называется процесс разрушения материалов в результате взаимодействия с агрессивной средой. Конструкционные материалы должны обладать высокой коррозионной стойкостью, т.е. способностью противостоять агрессивному воздействию среды.

Коррозионная стойкость зависит от многих факторов: вида агрессивной среды, температуры, давления и др. и оценивается различными методами. Одним из наиболее распространенных является метод оценки по глубинному показателю коррозии (скорости коррозии), который характеризует уменьшение толщины металла в течение года вследствие коррозии.

Все конструкционные материалы по коррозионной стойкости делятся на шесть групп (совершенно стойкие, весьма стойкие, стойкие, пониженно стойкие, малостойкие, нестойкие) и оцениваются по десятибалльной шкале. Для изготовления химической аппаратуры должны использоваться материалы с баллом 1-6, скорость коррозии которых не превышает 0,1-0,5 мм/год, чаще применяются материалы 4 балла (стойкие), со скоростью коррозии 0,01-0,05 мм/год.

Высокая коррозионная стойкость нержавеющей сталей определяется их способностью легко пассивироваться (покрываться защитной пленкой) даже в обычных атмосферных условиях за счет кислорода воздуха. Коррозионная стойкость нержавеющей сталей может быть значительно повышена методами легирования, применения оптимальных режимов термической, механической и химико-термической обработки сталей. Наиболее эффективным является увеличение содержания хрома и снижение содержания углерода. Значительно повышается коррозионная стойкость сталей при

введении никеля, молибдена, меди, титана, тантала, ниобия, а также палладия и платины. Наибольшая коррозионная стойкость в атмосферных условиях достигается в полированном состоянии.

Один из основных методов борьбы с коррозией химического оборудования – нанесение на его поверхность защитного покрытия из химически стойкого к этой среде материала. В этом случае металлический корпус обеспечивает прочность аппарата, а защитное покрытие предохраняет его от воздействия среды.

Существуют различные виды покрытий, основные из них пленочные, листовые, футеровка, изоляция. Выбор типа покрытия определяется физико-химическими условиями работы аппарата, свойствами материала и степенью сложности геометрической формы защищаемой поверхности. Определяющим фактором является стойкость применяемых для защиты материалов к агрессивным средам.

Пленочные защитные покрытия наносят одним из следующих способов:

- 1) осаждение слоя коррозионно-стойкого металла электрохимическим методом;
- 2) многослойной окраской поверхности лаками, красками и битумами, перхлорвиниловыми эмалями; осуществляют металлизацию алюминием, цинком и др.; наносят латексные покрытия водными растворами каучукоподобных полимеров;
- 3) напылением порошкообразных полимерных материалов с последующим их спеканием (торкрет-покрытия на основе полимерсиликатных композиций);
- 4) многослойным нанесением эмульсий (суспензий) из полимерных материалов;
- 5) механическим нанесением шихты из порошкообразных материалов и ее спеканием в стекловидное состояние (кислотоупорная эмаль); такое покрытие наиболее надежно.

Толщина пленочного покрытия составляет 0,1–0,5 мм.

Листовые покрытия производят наклейкой на поверхность нагретых листов полимерных материалов или плакированием (обкладкой без наклейки). Достоинствами этих покрытий являются сравнительно простая технология работ по наклейке листов и возможность применения стандартного листового материала. Однако защищаемая поверхность должна иметь простую геометрическую форму.

Широко распространено гуммирование (покрытие резиной) аппаратов, трубопроводов, арматуры. К положительным качествам таких покрытий относят хорошую химическую стойкость резин к ряду агрессивных сред при температуре до 70–110°C, высокую адгезию покрытия к защищаемой поверхности, хорошую его деформируемость, обеспечивающую на-

дежную совместную работу покрытия и защищаемой поверхности при изменяющихся условиях. Для защиты химического оборудования, работающего в особо тяжелых условиях, применяют новые гуммированные материалы - эбониты.

От гидроабразивного изнашивания деталей и их соединений используют материалы, содержащие карбиды бора и кремния, например, боросилицированный графит.

Наклеиванием можно наносить на защищаемую поверхность листы из винилпласта, полипропилена, полиизобутилена, фторопласта, полиэтилена, эбонитов и др. материалов. Неклеющиеся листовые материалы, в том числе жесткие, из-за большой толщины крепят болтами. Но метод сложен и его применяют редко.

Широкое применение для защиты оборудования от коррозии находят футеровочные и комбинированные защитные покрытия, включающие непроницаемый подслои и футеровку штучными кислотоупорными материалами из различных химически стойких вяжущих. В качестве футеровочного материала применяют керамику, плавленный диабаз, шамот, диатомит, фарфор, стекло, шлакоситалл, термопласты, вяжущим обычно является силикатная замазка. Из термопластов используют листы и пленки из полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида, политетрафторэтилена, пентапласта и других композиционных материалов.

Достоинством футеровок является высокая механическая прочность, большой предел рабочих температур (300 – 400°C) и низкая стоимость. К недостаткам относится увеличение массы аппарата и уменьшение его полезного объема.

Для предотвращения потерь тепла или холода в окружающую среду, а также создания нормальных санитарно-гигиенических условий работы используется изоляция.

Поверхности аппаратов и машин изолируют, если температура их превышает 45°C, а трубопроводов – 60°C. Для этого используют минераловатные, соевитовые, вулканические, диатомитовые изделия и изделия из стекловолокна.

Шлаковата, стекловата, асбоцемент имеют низкую механическую прочность и высокую способность к влагопоглощению, в условиях агрессивных сред и атмосферной влаги быстро разрушаются.

Поэтому разработаны новые теплоизоляционные материалы пенопласты (пенополиуретан, пенополистирол, фенольные).

Изоляционный слой оборудования, размещенного на открытой площадке, защищают надежным атмосферостойким покрытием (асбестоцементная штукатурка, асбестоцементные листы, металлические кожухи из тонколистовой стали или гофрированных листов алюминия, листовой полиэтилен).

Правильно выбранный способ антикоррозионной защиты позволяет обеспечить максимальную долговечность защиты оборудования в конкретных условиях его эксплуатации.

## ГЛАВА 3.    ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ

### 3.1.    Транспортирование отходов по трубопроводам

#### 3.1.1.   Трубопроводы и трубопроводная арматура

Трубопроводы являются неотъемлемой частью технологического оборудования. С их помощью передаются продукты в самых различных состояниях: жидкости, пары и газы, пластические и сыпучие материалы. Температура этих сред может находиться в пределах от низких (минусовых) до чрезвычайно высоких, а давление – от глубокого вакуума до десятков мегапаскаль.

Обычно трубопроводы классифицируют в зависимости от основного назначения:

технологические, служащие для транспортировки различных продуктов в основном технологическом процессе;

тепловые и газовые сети, используемые для подвода инертного газа или пара;

линии водоснабжения и канализации.

В зависимости от параметров транспортируемой среды трубопроводы делят на пять категорий, каждая из которых характеризуется предельно-допустимыми значениями температур и давлений, причем самые низкие их значения соответствуют первой категории.

Все трубопроводы после монтажа и испытания окрашивают масляной краской в разные цвета в зависимости от их назначения (табл.3).

Таблица 3

Цвета окраски трубопроводов

Транспортируемая среда или назначение трубопровода	Цвет окраски трубопровода и отличительные знаки
1	2
Азот	Черный с коричневыми полосами
Вакуум	Белый с желтыми полосами
Вода горячая	Зеленый с красными полосами
Вода питьевая	Зеленый без полос
Вода производственная	Черный без полос

Продолжение таблицы 3

1	2
Водород	Темно-зеленый
Воздух сжатый	Синий
Канализация	Черный с желтыми полосами



Кислоты крепкие	Красный с белыми полосами
Кислоты разбавленные	Красный с двумя белыми полосами
Пар насыщенный	Красный с желтыми полосами
Рассол прямой	Темно-коричневый с черными полосами
Рассол обратный	Темно-красный с желтыми полосами
Хлор	Защитный с зелеными полосами
Щелочи крепкие	Вишневый без полос
Щелочи разбавленные	Вишневый с белыми полосами

Для изготовления трубопроводов используют чугуны, углеродистые и легированные стали, медь и ее сплавы, керамику, стекло, пластмассы и др.

К частям трубопроводных систем относятся: трубы, их фасонные части, детали для крепления и соединения труб, компенсаторы температурных напряжений и трубопроводная арматура.

Основным составляющим элементом трубопроводов являются трубы того или иного типа и размера.

При транспортировании сточных вод используют напорные и самотечные трубопроводы (коллектора), а также лотки и каналы различных форм поперечных сечений. Наиболее распространенная форма поперечного сечения труб круглая, лотков и каналов – прямоугольная, но иногда встречается яйцевидная, лотковая, полукруглая, трапециевидная.

Материал коллекторов выбирает в зависимости от расхода и состава сточных вод, гидрогеологических условий на трассе пересечений с подземными и надземными коммуникациями. При выборе материала особое внимание уделяют гидравлическому сопротивлению трубопровода при заданной пропускной способности. Трубопроводы для перемещения воды могут быть асбестоцементными, бетонными, железобетонными, чугунными, стальными, керамическими, пластмассовыми, стеклянными. Открытые лотки и каналы, как правило, выполняются из железобетона.

Способы соединения труб зависят от материалов, из которых они изготовлены, например, стальные трубы (диаметром  $d$  до 1400 мм) могут свариваться встык, соединяться фланцами и резьбой.

Трубы соединяются между собой и с арматурой с помощью разъемных и неразъемных соединений. К неразъемным относятся соединения пайкой, сваркой и склеиванием, к разъемным – растровые, фланцевые, резьбовые (рис. 4).

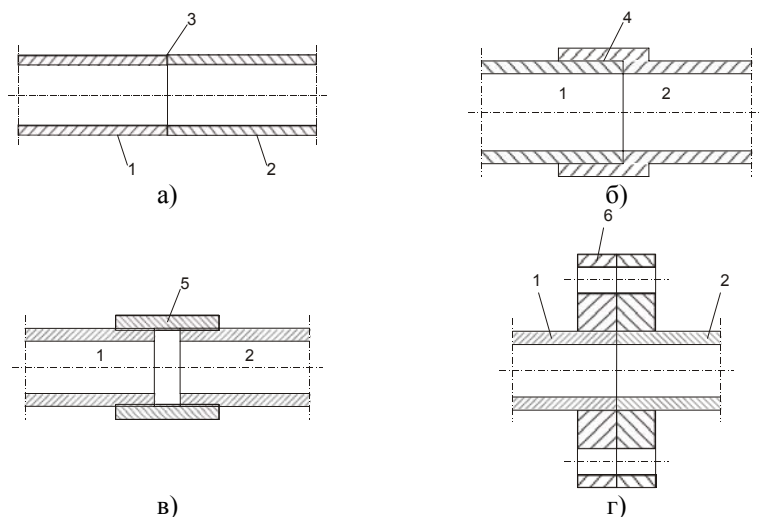


Рис.4. Соединения трубопроводов

а) встык; б) на раструбках; в) резьбовое; г) фланцевое  
 1,2 – трубы; 3 – сварной шов; 4 – набивка; 5 – муфта; 6 – фланцы

Керамические ( $d=150-500$  мм), асбестоцементные ( $d=100-400$  мм), бетонные ( $d=200-600$  мм) трубы сетей канализации соединяют различными способами стыковки, которые могут быть жесткими и гибкими. Гибкие стыки допускают взаимное смещение звеньев труб в продольном направлении на 3-5 мм и взаимный поворот труб в стыке на некоторый угол при сохранении водопроницаемости. Гибкие стыки применяют на асбестоцементных напорных трубах с резиновыми уплотнительными кольцами или пластмассовым и резиновым замком, а на железобетонных ( $d=200-2500$  мм) напорных трубах с подвижными металлическими фланцами.

Жесткие стыки состоят из уплотняющегося материала и замка. При соединениях на раструбках конец одной трубы вставляют в раструб другой. Свободный кольцевой зазор между ними на  $1/3-1/2$  глубины раструба плотно забивают пеньковой прядью или другим уплотняющимся материалом, а остальную часть заполняют материалом, образующим замок, удерживающий уплотняющийся материал в раструбе, например, цемент, асфальтовой мастикой, асбестоцементом. При соединении на муфтах гладкие концы двух труб вставляют в одну муфту, а зазоры между ней и трубой заделывают с двух сторон также, как и раструбные.

Фасонные части трубопроводов служат для соединения отдельных отрезков труб, а также для изменения диаметра или направления трубопровода и ответвления от трубопровода одной или двух линий того же или

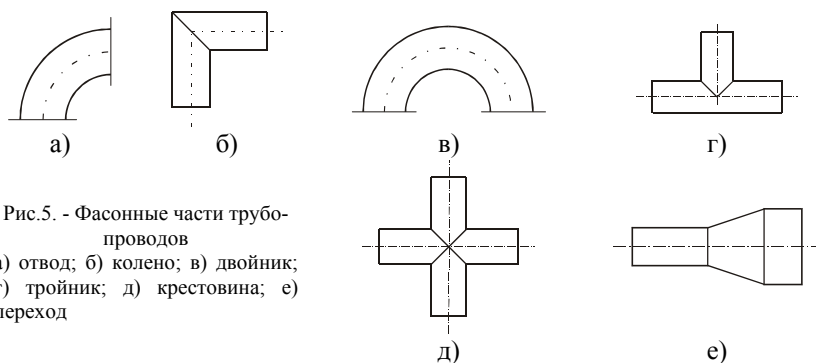


Рис.5. - Фасонные части трубопроводов  
 а) отвод; б) колено; в) двойник;  
 г) тройник; д) крестовина; е) переход

меньшего диаметра. К ним относятся (рис.5): отвод (а), колено (б), двойник (в), тройник (г), крестовина (д) и переход (е).

На трубопроводах устанавливается арматура – устройства, обеспечивающие управления потоком сред. По функциональному назначению трубопроводную арматуру подразделяют на следующие классы:

запорная – для перекрытия потока среды (составляет около 80 % от всей арматуры);

регулирующая – для изменения параметров среды (температуры, давления и т.д.);

предохранительная – для предотвращения аварийного повышения давления в системе;

защитная (отсечная) – для защиты оборудования от аварийных изменений параметров среды отключением обслуживаемой линии;

фазоразделительная – для удаления конденсата из паро- и газопроводов.

Серийно выпускают запорную арматуру следующих типов: краны, вентили, задвижки и заслонки.

Кранами называется арматура с затвором в форме тела вращения, который может поворачиваться вокруг оси, перпендикулярной направлению потока. Краны имеют малое гидравлическое сопротивление; на трубопроводе могут устанавливаться в любом положении, однако они требуют постоянного ухода и периодического смазывания, в противном случае пробка может "прикипеть" к корпусу. Краны быстро открываются, успешно применяются для жидкостей со взвешенными веществами и кристаллами, но малопригодны для регулирования количества потока.

Вентили представляют собой запорную арматуру с затвором в виде плоской или конической тарелки (золотника), которая перемещается возвратно-поступательно вместе со шпинделем относительно седла. Вентили выполняются с ручным управлением или с электроприводом. Вентили на

трубопроводе устанавливаются так, чтобы среда в них попадала из-под золотника. Область применения вентиляй весьма обширна, они регулируют расход потока, но непригодны для загрязненных жидкостей.

Заслонками называют арматуру, в которой затвор выполнен в виде диска, поворачивающегося на оси, перпендикулярной потоку и проходящей через диаметр диска. Их используют обычно на трубопроводах большого диаметра при малом давлении среды и нежестких требованиях к герметичности запорного органа. Их устанавливают на паро- и водопроводах, на линиях транспортирования, не загрязненных осадками жидкостей, так как твердые частицы, попадая под седло, могут нарушить его герметичность.

Задвижка – это арматура, в которой затвор в виде диска или клина перемещается вдоль уплотнительной поверхности перпендикулярно оси потока.

Основные виды запорной арматуры приведены на рис.6.

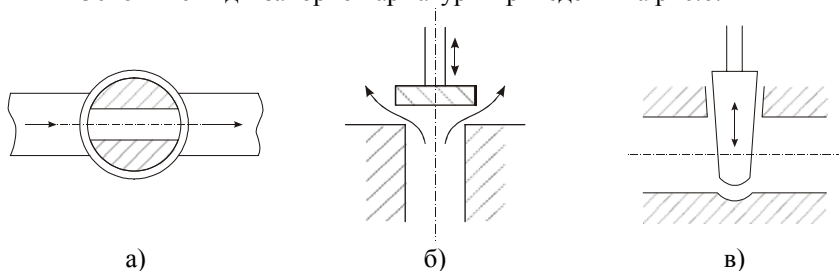


Рис.6. Основные виды запорной арматуры  
а) кран; б) вентиль; в) задвижка

### 3.1.2. Диаметры труб и расчетные наполнения труб и каналов

Внутренний диаметр трубопровода  $d$  определяют из уравнения расхода (уравнения неразрывности):

$$q = V\omega = \frac{\pi d^2 V}{4}; \quad d = \sqrt{4q / \pi V};$$

$$G = \rho V\omega = \frac{\pi \rho d^2 V}{4}; \quad d = \sqrt{4G / \pi \rho V}$$

где  $V$  – скорость жидкости, м/с;  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $q, G$  – соответственно объемный и массовый расход жидкости, м<sup>3</sup>/с или кг/с;  $\omega$  – площадь поперечного сечения потока, м<sup>2</sup>.

Для протяженных трубопроводов такая зависимость требует технико-экономического расчета, т.к. с увеличением скорости жидкости уменьшается диаметр трубы, а с ним и капитальные затраты на изготовление и монтаж трубопровода. Однако при этом возрастают гидравлические сопротивления в трубопроводе и увеличиваются эксплуатационные затраты на

перекачку жидкости. Оптимальный диаметр будет находиться в области равенства указанных затрат.

На основе многолетней эксплуатации самотечных канализационных сетей установлены следующие минимальные диаметры труб (СНиП 2.04.03-85):

а) для уличной сети – 200 мм, для внутриквартальной сети бытовой и производственной канализации – 150 мм;

б) для дождевой и общесплавной уличной сети – 250 мм, внутриквартальной – 200 мм;

в) для напорных илопроводов – 150 мм.

Для производственной канализации при соответствующем обосновании допускается применение труб диаметром менее 150 мм.

При самотечном движении воды нормируется степень наполнения труб, под которой понимается отношение высоты протекающего слоя воды  $h$  к внутреннему диаметру круглого коллектора  $d$  или к высоте  $H$  коллекторов других форм сечения, т.е.  $h/d$  или  $h/H$  (рис. 7).

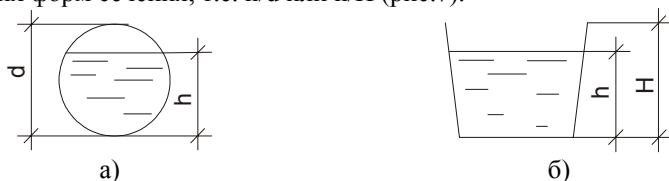


Рис. 7. Наполнение труб (а) и каналов (б)

Наполнение, соответствующее пропуску расчетного расхода, называется расчетным.

Потери напора в коммуникациях могут быть определены по выражению:

$$h_n = il,$$

где  $i$  - гидравлический уклон трубопроводов;  $l$  - длина пути движения сточных вод.

Производственную и бытовую канализацию рассчитывают на частичное наполнение труб, чтобы иметь некоторый запас в площади сечения труб на неравномерное поступление сточных вод и обеспечить вентиляцию сети для удаления вредных и взрывоопасных газов (табл.4).

Таблица 4.

Расчетное наполнение  $h/d$  в трубах круглого сечения

Канализационная сеть	Значения $h/d$ при диаметре, мм			
	150-300	350-450	500-900	свыше 900
Бытовая и производственно-бытовая	0,6	0,7	0,75	0,8
Производственная загрязненных вод	0,7	0,8	0,85	1
Общесплавная, дождевая и производственная незагрязненных вод	1	1	1	1

Расчетное наполнение трубопроводов и каналов с поперечным сечением любой формы надлежит принимать не более 0,7 высоты, для каналов прямоугольного поперечного сечения не более 0,75 высоты. Для трубопроводов дождевой и общесплавной систем водоотведения следует принимать полное расчетное наполнение. Глубина потока в открытых каналах и юветах сети не должна быть выше 1 м.

С повышением степени наполнения увеличивается гидравлический радиус и соответственно скорость движения потока. При половинном наполнении гидравлический радиус равен  $R_{H/2}=d/4$ . Далее гидравлический радиус возрастает и становится максимальным при наполнении  $0,813d$ , а затем он уменьшается и при полном наполнении  $R_H=d/4$ , т.е. имеет то же значение, что и при половинном наполнении. Соответственно и скорость имеет максимальное значение при наполнении  $0,813d$ .

### 3.1.3. Скорости движения жидкости и минимальные уклоны

Скорости движения жидкости, пара, газа для оптимальных диаметров трубопроводов обычно принимаются по практически установленным значениям (табл.5).

Таблица 5.

Рекомендуемые оптимальные скорости движения потоков в трубопроводах

Характер движения	Скорость, м/с
Жидкости самотеком вязкие	0,1-0,5
маловязкие	0,5-1,0
Жидкости, перемещаемые насосом на всасывании	0,8-2,0
на нагнетании	1,5-3,0
Газы при естественной тяге	2,0-4,0
при небольшом давлении ( $\approx 0,1$ МПа)	5,0-20,0
при повышенном давлении ( $>0,1$ МПа)	15,0-25,0
Пары перегретье	30,0-50,0
Пары, насыщенные при абсолютном давлении (МПа)	
более 0,1	15,0-25,0
0,05-0,1	20,0-40,0
0,02-0,05	40,0-60,0
0,005-0,02	60,0-75,0

Сточная вода, транспортируемая по канализационным сетям, является полидисперсной системой с большим количеством твердых и жидких нерастворимых примесей. В нормально работающей канализационной сети эти примеси должны непрерывно транспортироваться потоком воды. При малых скоростях движения воды нерастворимые примеси могут выпадать в осадок, накопление которого сужает сечение труб и уменьшает их пропускную способность.

Все существующие коллектора по транспортирующей способности можно разбить на три основные группы:

1) трубопроводы, в которых обеспечивается необходимая скорость потока и никогда не наблюдается выпадения осадка, прочистка их не требуется;

2) коллектора, в которых наблюдается волнообразное перемещение осадка, их прочистка также не требуется;

3) трубопроводы, в которых гидравлические уклоны малы и транспортирующая способность потока недостаточна, осадки в них выпадают сплошным уплотненным слоем, эксплуатация их возможна только при регулярной прочистке.

Для обеспечения нормальных условий работы трубопроводам очистной станции придают надлежащие уклоны, обеспечивающие течение жидкости с самоочищающимися скоростями.

Наименьшим называется уклон\*, обеспечивающий при расчетном заполнении незаиливающую скорость. Его следует принимать в зависимости от допустимых минимальных скоростей движения сточных вод. Наименьшие уклоны по СНиП 2.04.03-85: для труб диаметром  $d=150$  мм – 0,008 (при соответствующем обосновании допускается 0,007),  $d=200$  мм – 0,007 (допускается при обосновании 0,005). В остальных случаях минимальные уклоны определяются гидравлическим расчетом.

Скорость течения является функцией уклона и гидравлического радиуса  $V = C\sqrt{Ri}$ , где  $C$  – коэффициент. С увеличением уклона  $i$  или гидравлического радиуса  $R$  скорость течения жидкости возрастает.

Среднюю скорость потока определяют как частное от деления расхода  $q$  на площадь живого сечения потока  $\omega$ :

$$V_{cp} = q/\omega.$$

Расчетной скоростью называют скорость течения при максимальном расходе и расчетном наполнении и назначают ее в пределах между максимальной и минимальной скоростями течения.

Максимальной расчетной скоростью называют наибольшую допустимую скорость течения, не вызывающую снижения механической прочности материала труб при истирающем действии песка и твердых веществ, транспортируемых сточной жидкостью. Она допускается в металлических трубах не более 8 м/с, в неметаллических – 4 м/с. Наибольшие скорости движения дождевых и допускаемых к спуску в водоемы производственных сточных вод в каналах следует принимать по СНиП 2.04.03-85 в зависимо-

---

\* Уклон труб представляет собой тангенс угла наклона трубопровода к горизонтальной поверхности.

сти от грунта или типа крепления канала от 1 до 4 м/с при глубине потока 0,4 – 1 м.

Минимальной расчетной скоростью (критической или самоочищающей) называют наименьшую допустимую скорость течения, при которой обеспечивается самоочищение труб и коллекторов. Критическая (незаиляющая) скорость соответствует началу выпадения песка в осадок; самоочищающая скорость определяет начало взвешивания (смыва) осадка, выпавшего в трубопроводе. Минимальную расчетную скорость течения сточных вод принимают в зависимости от степени наполнения труб и каналов и крупности взвешенных веществ, содержащихся в сточных водах.

При наибольшем расчетном наполнении труб наименьшие скорости для бытовой и дождевой канализации, а также для производственных сточных вод, близких по характеру взвешенных веществ к бытовым, равны 0,7-1,5 м/с. В других случаях для производственных сточных вод наименьшие скорости принимают в соответствии с указаниями по строительному проектированию предприятий отдельных отраслей промышленности или по эксплуатационным данным. Минимальная скорость движения осветленных или биологически очищенных сточных вод в лотках и трубах допускается 0,4 м/с.

Наименьшие расчетные скорости движения сырых и сброженных осадков, а также уплотненного ила в напорных илопроводах принимают в зависимости от влажности осадка и диаметра илопровода. При влажности осадка от 90 до 98 % и диаметрах трубопроводов от 150 до 400 мм минимальные скорости изменяются от 0,8 до 2,1 м/с. Скорости движения сточных вод в соединительных коммуникациях очистной станции даны в табл. 6.

Таблица 6

Расчетные скорости движения воды в трубах и каналах сооружений

Трубопроводы и каналы	Расчетные скорости движения воды, м/с
1. От насосов 1 подъема к смесителю	1,0-0,2
2. От смесителя до камеры хлопьеобразования	0,8-1,0
3. От камеры хлопьеобразования до отстойника	не более 0,1 для мутных вод и 0,05 для цветных
4. От отстойников (осветлителей) до фильтров	0,8-1,2
5. В трубопроводах и каналах для подачи промывной воды на фильтр	1,5-2,0
6. От фильтров до резервуаров чистой воды	1,0-1,5
7. В начале распределительных коллекторов фильтров	1,0-1,2
8. В начале ответвлений трубчатой распределительной системы фильтров	1,8-2,0
9. В трубчатом дренаже двухпоточного фильтра	не более 1,0
10. В устье желобов для отвода грязной воды при промывке фильтров	0,6
11. В канале для отвода в сток грязной промывной воды	0,8-2,0



Скорости движения воды, равные 1,8-2,0 м/с, принимают только для напорных линий, подающих промывную воду к фильтрам, во избежание назначения большего диаметра труб.

Канализационные сети, запроектированные с минимальными скоростями движения или минимальными уклонами, не гарантированы полностью от заиливания. Это объясняется тем, что в поток может попадать песок большего размера и в большем количестве, чем принято для расчетов. Поэтому приходится периодически производить профилактическую прочистку участков сети.

### 3.1.4. Гидравлический расчет трубопроводов

Гидравлический расчет трубопроводов проводится для определения гидравлических сопротивлений, а затем затрат энергии на перемещение жидкости (газа) с дальнейшим подбором насосов или компрессоров.

При движении жидкости по трубопроводу гидравлические сопротивления складываются из сопротивления трения и местных сопротивлений, возникающих за счет изменения скорости потока по величине и направлению. Суммарные потери давления  $\Delta P_n$  и напора  $h_n$  определяются по уравнениям:

$$\Delta P_n = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi \right) \frac{\rho V^2}{2};$$
$$h_n = \left( \lambda \frac{l}{d_s} + \sum \xi \right) \frac{V^2}{2g},$$

где  $d_s$  – эквивалентный диаметр, м;  $l$  – длина трубопровода, м;  $\lambda$  – коэффициент трения;  $g$  – ускорение силы тяжести, м/с<sup>2</sup>;  $\xi$  – коэффициент местных сопротивлений.

Эквивалентный диаметр для труб круглого сечения равен их диаметру, а для труб некруглого сечения определяется формулой:

$$d_s = \frac{4\omega}{\Pi},$$

где  $\Pi$  – смоченный периметр.

Коэффициент трения  $\lambda$  в общем случае зависит от режима течения жидкости и шероховатости стенки трубы.

Гидравлический расчет канализационных сетей заключается в определении диаметров  $d$ , уклонов  $i$  и наполнения труб  $h/d$ , потерь напора  $h_n$  в трубопроводе и скоростей движения сточных вод  $V$ .

Задачи по гидравлическому расчету канализационных сетей возникают как при проектировании, так при строительстве и эксплуатации. К основным случаям такого расчета при равномерном установившемся движении сточных вод относятся:

- 1) заданы диаметр, уклон и наполнение труб, требуется определить расход (пропускную способность) и скорость движения сточных вод;
- 2) заданы диаметр и наполнение труб, а также скорость движения сточных вод, требуется определить расход и уклон труб;
- 3) задан расход, требуется определить диаметр и уклон труб при скорости течения и наполнения, соответствующих требованиям СНиП 2.04.03-85.

Первые два варианта являются проверочными для существующих водопроводных сетей, последний наиболее распространен в практике проектирования, но требует сопоставления стоимости труб и их прокладки, имея в виду, что при уменьшении диаметров увеличивается объем земляных работ, т.к. для сохранения при этом пропускной способности надо увеличить скорость, а следовательно, и уклон труб.

При гидравлическом расчете трубопровода необходимо определить общие потери напора при заданном расходе среды. Для так называемого "безнапорного" гидротранспорта рассчитываются потери геометрического напора, обеспечиваемого уклоном для канала; для "напорного" гидротранспорта определяются потери напора, создаваемого транспортирующими машинами (насосами).

Гидравлический расчет напорных трубопроводов проводят согласно СНиП 2.04.02-84 (приложение 10). Потери напора на единицу длины трубопровода (гидравлический уклон  $i$ ) с учетом гидравлического сопротивления стыковых соединений следует определять по формуле:

$$i = (\lambda/d)(V^2/2g) = (A_1/2g)[(A_0 + CV)^m/d^{m+1}]V^2,$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического сопротивления;  $\lambda = A_1(A_0 + B_0 d/Re)^m/d^m = A_1(A_0 + C/V)^m/d^m$ ,  $Re = Vd/\nu$  число Рейнольдса;  $B_0 = Cre/Vd$ ;  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости транспортируемой жидкости,  $m^2/c$ .

Значения коэффициентов  $A_0$ ,  $A_1$ ,  $C$  и показателя степени  $m$  для стальных, чугунных, железобетонных, асбестоцементных, пластмассовых и стеклянных труб должны приниматься по СНиП 2.04.02-84.

При технико-экономических расчетах и выполнении гидравлических расчетов на ЭВМ потери напора в трубопроводе рекомендуется определять по формуле:

$$i = Kq^n / d^p,$$

где  $q$  - расчетный расход воды,  $m^3/c$ .

Значения коэффициента  $K$  и показателей  $n$  и  $p$  следует принимать согласно приложения 10 СНиП 2.04.02-84.

Гидравлический расчет канализационных самотечных трубопроводов (лотков, каналов) надлежит производить по СНиП 2.04.03-85 на расчетный максимальный секундный расход сточных вод по таблицам и графикам, составленным из соотношения:

$$V = C\sqrt{Ri},$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от гидравлического радиуса и шероховатости смоченной поверхности канала или трубопровода и определяемый по формуле:

$$C = R^y / n$$

$$\text{здесь } y = 2,5\sqrt{n_1} - 0,13 - 0,75R(\sqrt{n_1} - 0,1);$$

здесь  $n_1$  – коэффициент шероховатости, принимаемый для самотечных коллекторов круглого сечения 0,014, для напорных трубопроводов 0,013.

Гидравлический уклон для самотечных трубопроводов, лотков и каналов допускается определять так же, как для напорных, по формуле:

$$i = \lambda V^2 / 8Rg,$$

где  $\lambda$  – коэффициент сопротивления трению по длине, учитывает различную степень турбулентности потока:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{\Delta}{13,68} + \frac{a_2}{Re} \right),$$

здесь  $\Delta$  – эквивалентная шероховатость, см;  $a_2$  – коэффициент, учитывающий характер шероховатости труб и каналов.

### 3.1.5. Гидро- и пневмотранспорт промышленных отходов

Гидро- и пневмотранспортом (ГПТ) называют перемещение различных сыпучих материалов и одиноких тел потоками жидкости (обычно воды) или газа (воздуха) за счет передачи энергии несущей среды твердым частицам. Часто такое транспортирование экономически целесообразно сочетать с технологическими операциями (затвердевание, сушка, грануляция, сорбция и др.). Оно обеспечивает непрерывность подачи материала на значительные расстояния с механизацией трудоемких вспомогательных процессов. До 30 % общего количества перемещаемых на предприятиях сыпучих материалов (хвосты, шламы к месту их накопления или складирования) транспортируется таким образом.

Основными транспортирующими машинами являются насосы, компрессоры, газодувки (вентиляторы). Состоит ГПТ из устройства для ввода в поток перемещаемых материалов, трубопровода с арматурой и устройства для отделения твердых частиц от несущей среды.

Установки гидротранспорта делятся на самотечные (безнапорные), с естественным напором (напорно-самотечные) и с искусственно создаваемым напором (перепад давлений 0,05-7 МПа). Они могут быть подвижными и стационарными, длина трубопроводов обычно не превышает 2-2,5 км.

Вместо центробежного насоса в качестве транспортирующих машин часто используют гидроэлеватор эжекторного типа (водоструйный насос). Он прост, имеет небольшие размеры и массу, но отличается низким, до 20% КПД, что обусловлено затратами энергии на формирование потока

пульпы и перемещение большого количества среды. Система с эрлифт-насосом используется для подъема пульпы на высоту до 3-5 м.

Отходы гидротранспорта часто "намыывают" на открытые отвалы, склады, пруды. Иногда на выгрузке устанавливают отстойное или иное оборудование для разделения гидросмеси.

Пневмотранспорт может работать, создавая разрежение и засасывая материал с воздухом в трубопровод или нагнетая воздух компрессором, в результате чего сыпучий материал транспортируется по трубопроводу.

ГПТ отличается значительным расходом энергии, воды или воздуха, быстрым износом труб, насосов, вентиляторов и др. транспортирующих машин абразивными частицами, однако считается наиболее экономичным по сравнению с другими видами перемещения твердых сыпучих материалов.

Перспективной является контейнерная или капсульная система ГПТ. Под действием перепада транспортирующей среды ( $10^4$  Па и выше) по трубопроводу перемещаются контейнеры или составы из них с транспортируемым материалом. Для непрерывной эксплуатации необходима линия возврата опорожненных контейнеров. Преимущество – исключение транспортирующей среды.

Для выбора режима работы установки ГПТ пользуются характеристиками насосов или газодувок и трубопроводов. Зависимости удельных потерь энергии ( $i=h_n/l$ ) от средней скорости транспортирования гидросмесей  $V$  и рабочих характеристик насоса имеют экстремальные значения. При работе на гидро- и пневмосмесях рабочая точка характеристик транспортирующего оборудования и сети сдвигается в область значительно меньших расходов  $Q$  при тех же значениях необходимого напора  $H$ , что следует учитывать при подборе оборудования.

### **3.1.6. Пылегазопроводы**

Пылегазопроводы (ППП) служат для подвода газа к началу тракта газоочистки, соединения последовательно расположенных газоочистных аппаратов (ГОА) и отвода очищенного газа до конца тракта.

Конструкция ППП определяется конкретными условиями его эксплуатации и включает:

- ствол;
- газо- и пылераспределительные устройства;
- специальные устройства для предотвращения образования пылевых отложений и скопления конденсата;
- компенсаторы и запорно-регулирующие устройства;
- седла, на которые укладывается ствол в местах опирания;
- опоры;
- теплоизоляция;

внутреннее противокоррозионное покрытие;  
внутренняя футеровка;  
люки, патрубки и штуцера для установки КИП.

Стволы выполняют из цельнотянутых или витых труб или обечаек, согнутых из листового металла. Стволы прямоугольного сечения изготавливаются из плоских металлических листов с усилением ребрами с внешней стороны, они более металлоемки. Кроме прямых участков, к стволу относятся различные переходы, колена, тройники, коллекторные разветвления.

При выборе сечения ППП исходят из следующих требований: скорость газа не должна быть слишком малой из-за возможного оседания пыли, и слишком высокой во избежание больших потерь давления по газовому тракту. Обычно сечение выбирают исходя из скорости 15-25 м/с.

При выборе протяженности и конфигурации ППП учитывают следующие факторы:

трасса ППП должна быть кратчайшей и включать минимальное количество монтажных соединений, резких поворотов, изменений сечения, арматуры и компенсаторов, что увеличивает расход энергии на преодоление местных сопротивлений;

нельзя устраивать длинные горизонтальные участки на трассе, т.к. при сильной запыленности в них может отлагаться пыль и зола;

на ППП, подводящих газ к очистной установке не следует располагать фасонные части, дроссельные и регулирующие устройства на расстоянии менее  $10D$ , где  $D$  - диаметр газопровода, из-за несимметричного распределения скоростей во входном сечении аппарата, приводящего к закручиванию потока в корпусе аппарата;

конструкция участков газопроводов, подводящих и отводящих газозвоздушную смесь (ГВС), должна обеспечивать высокую степень равномерности распределения.

Газо- и пылераспределительные устройства устанавливаются на поворотах, переходах, в коллекторах и служат для выравнивания потока по сечению.

Для этой цели используются:

направляющие устройства, понижающие сопротивление движению газа (разделительные стенки в диффузоре);

устройства, создающие дополнительное сопротивление движению газа (сетки, решетки);

подбор форм и размеров раздающих и собирающих коллекторов:

а) при прямолинейном подводе газа подводящий участок в виде длинного конфузора с углом раскрытия  $\alpha = 8-12^\circ$  или короткого конфузора с углом  $\alpha = 30-100^\circ$  и разделительными стенками;

б) в подводящих участках в виде колена устанавливаются направляющие лопатки (профиль, угол установки, число, расстояние между лопатками выбираются);

в) раздающие и собирающие участки ППП для группы параллельно работающих аппаратов проектируются с односторонней или симметричной подачей или отсосом газа;

Для предотвращения образования отложений пыли следует соблюдать следующие условия:

скорость потока, в зависимости от концентрации, дисперсности и плотности частиц должна составлять 15-25 м/с;

применение газопроводов ломанного профиля с углами наклона больше угла естественного откоса пыли. В нижних точках перегиба можно построить небольшие бункера с системой непрерывного удаления пыли;

оклеивание внутренней части ППП пластмассовыми листами (полипропилен, фторопласт), что уменьшает адгезию пыли;

устройство «воздушной смазки» в виде ложного днища из пористой керамики, куда подается сжатый воздух;

обдувка ППП в нижней части струями воздуха из сопел;

изготовление ППП грушевидной формы со шнеком, который сгреба-ет осаждающуюся пыль:

установка двух параллельных газопроводов: рабочего и резервного.

Продукт, уловленный в ГОА, может находиться в трех состояниях:

в виде жидкости, если в ходе очистки происходила только абсорбция компонентов газовой фазы выброса или если улавливалась дисперсная фаза жидкого аэрозоля ;

в виде шлама, если в мокром пылеуловителе улавливалась дисперсная фаза твердого аэрозоля;

в виде сухого сыпучего материала, если улавливалась пыль в сухом пылеуловителе

Жидкость принимается предприятием, которое использует ее по своему усмотрению, направляется в общезаводскую систему очистки, либо проходит локальную очистку в пределах ГОА и вновь подается на орошение аппарата (замкнутый цикл).

Шлам транспортируется на шламовые поля, либо пропускается через систему отстойников и фильтров, после чего жидкость возвращается на орошение, а отфильтрованная масса (в виде кеков) утилизируется.

Удаление и первичную обработку уловленного сыпучего продукта в практике проектирования ГОА принято называть пылетранспортом.

Систему пылетранспорта можно разделить на четыре группы устройств:

побудители, способствующие разрыхлению пыли в бункере и ее вытеканию в подбункерные транспортные механизмы ( вариантами побудите-

лей является рамная конструкция бункера, приводимая в действие вибратором или устройство обогрева снаружи стенок бункера в его нижней части);

затворы-дозаторы, устанавливаемые под бункером с целью дозированной во времени выгрузки пыли и одновременного исключения встречных подсосов воздуха в бункер;

механизмы вертикального и горизонтального перемещения пыли;

устройства для первичной обработки уловленной пыли, например, грануляции.

По характеру работы устройства для выгрузки пыли подразделяются на сухие и мокрые.

Устройства для сухой выгрузки пыли по принципу действия делятся на непрерывные и периодические. Непрерывный процесс выгрузки снижает возможность забивания пылью устройств удаления пыли и позволяет свести к минимуму размеры накопительных бункеров. К этой группе устройств относятся мигалки, пылевые затворы и шлюзовые питатели.

Мигалки с конусным клапаном устанавливают при перепаде давления менее 1 кПа. Герметизирующее действие мигалок всех видов основано на создании и поддержании над ними столба пыли определенной высоты  $h$ , равной:

$$h = \Delta P / (9,8 \cdot \rho) + 0,1,$$

где  $\Delta P$  - разрежение в аппарате над мигалкой, Па;  $\rho$  - насыпная плотность пыли, кг/м<sup>3</sup>;

В процессе регулирования мигалки находят положение груза, при котором над ней поддерживается определенный столб пыли, что дает возможность относительно равномерно отводить пыль из аппарата при требуемой герметичности.

Пылевой двойной затвор предназначен для выгрузки пыли из бункеров аппаратов при разрежении до 5 кПа. Затвор состоит из корпуса цилиндрической формы, с загрузочным и разгрузочными штуцерами каждый, и люками. Внутри корпуса смонтированы два самоцентрирующихся конусных клапана, которые поочередно открываются и закрываются.

Шлюзовые питатели используются под бункерами пылеуловителей, улавливающих неслипающуюся пыль.

Производительность питателя  $G$  (м<sup>3</sup>/с) определяется по формуле:

$$G = (4 \cdot 0,785 D^2 L - V) n f,$$

где  $D$  - внутренний диаметр питателя, м;  $L$  - ширина затвора, м;  $V$  - объем внутренней полости питателя, занимаемый валом и перегородками, м<sup>3</sup>;  $n$  - частота вращения вала, об/с;  $f$  - коэффициент заполнения, равный 0,4-0,6.

В тех случаях, когда невозможна непрерывная выгрузка, применяют устройства периодического действия - шиберные и шаровые затворы. Эти устройства открываются и закрываются вручную и используются для пыли всех видов при перепадах давления до 1000 Па.

В устройствах для мокрой выгрузки пыли минимальный подсос в пылеуловитель обеспечивается за счет наличия столба пульпы, уравновешивающей перепад между давлением внутри аппарата и давлением в системе транспорта пыли. В качестве устройств для мокрой выгрузки обычно используют гидрозатворы.

Рабочий орган гидрозатвора - резиновый клапан - надет на шламовыпускной патрубок, присоединенный к нижней части конического бункера. При пуске аппарата резиновые листы плотно смыкаются в нижней части, удерживая постепенно увеличивающийся столб шлама. Когда столб шлама достигает высоты, при которой создаваемое им давление превышает величину разрежения в пылеуловителе, листы клапана размыкаются и избыточный шлам сливается через резиновый клапан, при этом над клапаном постоянно остается столб пульпы определенной высоты.

## **3.2. Транспортирующие машины**

### **3.2.1. Насосы и насосные станции**

Насосные станции систем водоснабжения и канализации представляют собой комплекс сооружений и оборудования, обеспечивающий водоподачу или водоотведение в соответствии с нуждами потребителей. В системах канализации насосные станции служат также для перекачки осадков, образующихся на очистных сооружениях.

Тип и число насосов (основных и вспомогательных), состав помещений и набор вспомогательного оборудования, конструктивные особенности и предъявляемые к насосной станции технологические требования зависят от ее назначения.

В зависимости от перекачиваемой жидкости насосные станции подразделяются на водопроводные и станции водоотведения (канализационные). По своему назначению и расположению в общей схеме водоснабжения насосные станции подразделяются на станции I подъема, II и последующих подъемов, повысительные и циркуляционные.

Насосные станции I подъема забирают воду из источника и подают ее на очистные сооружения или в аккумулирующие емкости, они отличаются более или менее равномерной подачей воды в течение суток.

Насосные станции II подъема подают воду потребителю из резервуара чистой воды, их подача неравномерна, ее по возможности приближают к графику водопотребления.

Повысительные станции (станции подкачки) предназначены для повышения напора на участке сети или в водоводе. Они забирают воду из трубопровода, а не из резервуара и потому не могут самостоятельно регулировать подачу.



Циркуляционные насосные станции входят в замкнутые системы промышленных предприятий и тепловых электростанций. Они могут подразделяться на несколько групп насосов – одни для подачи отработавшей воды на охлаждение, другие – на очистку, третьи – для возврата в производство.

Насосные станции систем водоотведения предназначены для подачи сточных вод на очистные сооружения.

Особый вид насосных станций используют для перекачивания атмосферных вод, осадков, ила, агрессивных промышленных сточных вод.

По степени обеспеченности подачи воды (по надежности действия) насосные станции подразделяются на три категории. I категория допускает перерыв в подаче воды только на время (не более 10 мин.), необходимое для выключения поврежденных и включения резервных элементов (оборудования, трубопроводов, арматуры); снижение подачи воды не более 3 суток. II категория допускает перерыв в подаче для проведения ремонта не более, чем на 6 ч, а снижение подачи не более, чем на 10 суток, обусловленное аккумулярующей вместимостью подводящих сетей. III категория допускает перерыв в подаче не более, чем на 24 ч и соответствующее снижение подачи не более, чем на 15 суток.

В состав сооружений насосной станции, кроме машинного зала, в котором размещаются насосы, могут входить водозаборные сооружения, резервуары чистой воды, камеры переключений, приемные резервуары с решетками. Часто машинный зал насосной станции объединяется с приемным резервуаром.

В зависимости от типа насосного оборудования насосные станции бывают с горизонтальными и вертикальными, центробежными и осевыми насосами. По расположению насосов относительно уровня воды различают станции с насосами, установленными с положительной высотой всасывания или с подпором (под залив).

По расположению машинного зала относительно поверхности земли насосные станции бывают наземные, частично заглубленные, заглубленные, подземные.

Подземная часть насосных станций выполняется из монолитного и сборного железобетона, а надземная из кирпича или сборных железобетонных панелей и каркасов. Перекрытия над зданиями насосных станций, как правило, устраивают из сборных железобетонных плит с тепловой изоляцией без чердачного помещения.

Канализационные насосные станции располагаются в отдельных зданиях. Для станций большой производительности, оборудованных насосами со значительной высотой всасывания, целесообразна схема с отдельными стоящими приемными резервуарами. При совмещении машинного отделен-

ния с приемным резервуаром последний вытягивается вдоль машинного отделения. Приемный резервуар оборудуется решетками и дробилками.

В машинном отделении располагаются рабочие насосы с двигателями. При однорядном расположении оси агрегатов перпендикулярны продольной оси станции или расположены на одной прямой, параллельной этой оси. Двухрядное расположение имеет преимущество при большом числе разнотипных агрегатов различного назначения.

Вспомогательные машины (насосы) размещают в свободных углах машинного зала.

По характеру управления насосные станции бывают автоматически, полуавтоматическими, с дистанционным управлением.

Перемещение жидкостей может осуществляться следующими насосами:

- объемными – путем вытеснения жидкости из замкнутого пространства насоса телами, движущимися возвратно-поступательно или вращательно;

- лопастными или центробежными – за счет центробежной силы, возникающей в жидкости при вращении лопастных колес;

- вихревыми – за счет интенсивного образования и разрушения вихрей, возникающих при вращении рабочего колеса;

- струйными – за счет движущейся струи воздуха, воды или пара;

- газлифтами (эрлифтами) – пневматическими подъемниками, в которых используется сжатый воздух или технический газ;

- монтежу и сифонами – перемещение жидкости под давлением воздуха, пара или газа.

В насосных станциях для перекачивания воды проектируются, в основном, центробежные насосы, т.к. они обладают рядом преимуществ перед поршневыми:

- более равномерная подача жидкости;

- простота устройства и компактность;

- надежная работа при небольших давлениях и высокой производительности;

- возможность перекачивания агрессивных жидкостей и жидкостей, содержащих твердые частицы.

Чаще всего устанавливают горизонтальные насосы двухстороннего входа типа Д, на заглубленных насосных станциях ставят вертикальные центробежные насосы типа В. При больших подачах, выше  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ , при напорах от 4 до 25 м могут применяться осевые насосы.

Для отведения сточных вод, как правило, устанавливают насосы типа СД (сточные динамические) или СДВ (то же, вертикальные). Для перемещения сточных вод с высоким содержанием взвесей и осадков могут быть применены грунтовые насосы Гр и ГрУ, песковые П, ПВ. Насосы вы-

бирают, исходя из количества перекачиваемой жидкости, ее характеристики (температуры, давления, плотности) и из расчета необходимого напора.

Эксплуатационные свойства указанных насосов определяются их основными параметрами: подачей  $Q$ , напором  $H$ , КПД насоса  $\eta$ , мощностью  $N$ , допустимой высотой всасывания  $H_{вс}$ . Графики зависимости основных параметров насоса от подачи называются характеристиками насоса. Центробежные и осевые насосы автоматически реагируют на изменение подачи, изменяя соответствующим образом напор.

В практике очистки сточных вод промышленных предприятий применяются насосы, рассмотренные ниже.

Центробежные консольные насосы типа К и КМ (в моноблочном исполнении) относятся к наиболее массовому виду насосного оборудования. Например, К-160/30, в числителе указана подача,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , в знаменателе – напор, м. Центробежные насосы с двусторонним подводом воды к рабочему колесу типа Д. Насосы этого типа – горизонтальные, одноступенчатые, с полуспиральным подводом воды, например, Д 3200-75, первая цифра – подача,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , вторая – напор, м. Вертикальные центробежные насосы типа В, например, 600В – 1,6/100, число перед В указывает диаметр напорного патрубка, мм, а последующие две цифры – первая подачу,  $\text{м}^3/\text{с}$ , вторая – напор, м.

Насосы для перекачивания сточной жидкости динамические типа СД, обеспечивают подачу от 7 до 10800  $\text{м}^3/\text{ч}$  с напорами от 5,5 до 110 м. Это центробежные насосы с рабочим колесом одностороннего входа, выпускаемые четырех видов: горизонтальные и вертикальные одноступенчатые, полупогружные и двухступенчатые. Конструктивно одноступенчатые горизонтальные и вертикальные насосы серии СД напоминают, соответственно, насосы типов К и В. Буквы П и В, входящие в маркировку насоса, обозначают полупогружной или вертикальный, цифры в числителе – подачу,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , в знаменателе – напор, м. Для двухступенчатых насосов к обозначению добавляется цифра 2. Например, горизонтальный двухступенчатый насос с подачей 540  $\text{м}^3/\text{ч}$  и напором 95 м обозначается СД 540/95-2.

При выборе насосов для работы на гидросмесях необходимо учитывать прогрессирующий износ их деталей и соответствующие изменения характеристик. Для предотвращения быстрого износа детали насоса изготавливают из износостойких материалов и футеруют или гуммируют внутренние поверхности. Чтобы избежать засорений и обеспечить возможность очистки, отдельные виды насосов выполняют без направляющих аппаратов, рабочие колеса снабжают малым числом лопаток (две-четыре), на корпусе и входном патрубке устраивают люки ревизии.

При необходимости высоких напоров, а также для обеспечения практически постоянной производительности при развитых напорах используют объемные насосы (поршневые, скальчатые, винтовые, диафраг-

менные). Плунжерные насосы (типа НП) применяют для перекачивания сырого осадка из отстойников, насосы типа НД используют в качестве дозирующих. Винтовые насосы пригодны для перекачивания высоковязких жидкостей, топлив, нефтепродуктов при подаче до 300 м<sup>3</sup>/ч и давлений до 20 МПа.

Во флотационных установках, для приготовления озоноводяной и других смесей используют эжекторы. Эжекторного типа гидроэлеваторы применяют для перекачки сильно загрязненных сточных вод, илов и осадков. Шнековые канализационные насосы рекомендуются для подачи сточных вод на небольшую высоту до 2-7 м. Для создания высокого избыточного давления или вакуума обычно применяют водокольцевые вакуум-насосы. В зависимости от числа рабочих насосов и категории надежности действия насосных станций принимают от 1 до 5 и более резервных насосов.

Подбор насосов производят по требуемому напору и максимальной производительности насосной станции:

$$H=H_z + h_{ном},$$

где  $H_z=Z_1-Z_2$  – геометрическая высота подачи воды;  $Z_1$  - отметка, на которую подается вода;  $Z_2$  - отметка среднего уровня воды в приемном резервуаре;  $h_{ном}$  - потери напора во всасывающем и нагнетательном трубопроводах.

### 3.2.2. Тягодутьевые машины

Для перемещения газовых сред, создания необходимого давления служат тягодутьевые машины (ТДМ).

При проектировании систем газоочистки существенно важен вопрос о месте размещения тягодутьевых машин в схеме газоочистительного сооружения, где она испытывает на себе разнообразные воздействия. Это могут быть высокая температура, абразивное действие пыли, коррозия, разбалансировка ротора (из-за коррозионного и абразивного износа, а также из-за образования на роторе трудно удаляемых бетонообразных отложений). В свою очередь, ТДМ, смотря по тому, в каком месте схемы она расположена, создает определенный гидравлический и аэродинамический режим в элементах схемы, расположенных до нее по ходу газа.

В практике проектирования газоочистительных сооружений встречается несколько вариантов расположения ТДМ.

ТДМ находится в самом конце тракта газоочистки, между последним по ходу газа аппаратом и дымовой трубой. Пылевая нагрузка на ТДМ полностью или почти полностью отсутствует, абразивного износа нет. Если в схеме, особенно в конце ее, имеется мокрый аппарат, дающий кислый брызгонос, или если в хвосте схемы начинается конденсация паров химически агрессивных соединений, ТДМ подвергается опасности коррозион-

ного воздействия. Она должна быть изготовлена из специального материала (титан, легированная сталь) или иметь противокоррозионное покрытие.

С точки зрения гидравлики такое расположение ТДМ можно считать нормальным лишь для сравнительно простых газоочистительных сооружений с недлинным газовым трактом, с относительно небольшим гидравлическим сопротивлением. В сложных системах "хвостовое" расположение ТДМ может создать в последних по ходу газа аппаратах очень большое разрежение. Следствием его являются чрезмерно большие паразитные подсосы наружного воздуха через неплотности аппаратов и пылегазопроводов. Не исключено также вмятие внутрь плоских стенок наиболее крупных аппаратов.

ТДМ расположена в самом начале тракта газоочистки, до входа газа в первый газоочистительный аппарат. В этом случае ТДМ подвергается воздействию всех компонентов, имеющихся в выбросе, включая и абразивное действие пыли. Гидравлика системы противоположна описанной выше: первые по ходу газа аппараты оказываются под избыточным давлением, далее по тракту давление падает.

ТДМ расположена после основного сухого пылеулавливающего аппарата (электрофильтра, рукавного фильтра), но перед мокрым аппаратом, установленным в конце тракта (например, перед трубой Вентури, хвостовым скруббером и т.п.). В этом случае условия работы ТДМ благоприятны: она защищена от абразивного износа пылью и от коррозионного износа брызгами жидкости.

На тракте газоочистки располагаются две ТДМ последовательно: одна – в начале тракта, вторая - в конце. Условия эксплуатации ТДМ при этом резко различаются, и они могут быть различными по своим характеристикам и конструкции. Такая схема используется, когда по тем или иным причинам необходимо, чтобы тракт газоочистки (или его часть, заключенная между первой и второй ТДМ) работали при минимальном разрежении (давлении). Последнее достигается соответствующим подбором и регулированием каждой ТДМ. Иногда участок между двумя ТДМ сокращается в проекте до одного аппарата. Например, ТДМ могут быть установлены на входе газа в крупногабаритный электрофильтр и сразу после выхода газа из него. В этом случае фильтр находится под давлением (разрежением), близким к нулю, благодаря чему снижаются подсосы воздуха и облегчается работа крупноразмерных плоских стенок корпуса.

В качестве ТДМ в системах газоочистки используются вентиляторы и дымососы, которые должны обеспечить необходимую производительность  $Q$  при полном напоре  $H$ , компенсирующем гидравлические потери давления в сети.

Вентилятор и дымосос подбирают по аэродинамической характеристике исходя из заданных величин  $Q$  и  $H$ .

При выборе машины и двигателя к ней следует принимать:

*производительность Q:*

а) для чистого и малозапыленного воздуха, а также для дымовых газов при любой температуре  $Q=Q_p$ ;

б) для сетей пневмотранспорта с учетом подсосов  $Q=1,1Q_p$ , где  $Q_p$  – расчетный расход при рабочих условиях;

*полный напор H:*

а) для стандартных условий  $H=H_p$ ;

б) для условий, отличающихся от стандартных

$$H = H_p 101,3 \rho_g (273 + t) / B \rho_r (273 + t_x),$$

где  $t$  - температура воздуха или газа,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $t_x$  - температура, для которой дана характеристика машины,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $B$  - барометрическое давление в месте установки вентилятора, кПа;  $\rho_g$  и  $\rho_r$  - плотность воздуха и газа при  $t=0$   $^{\circ}\text{C}$ ; и  $B=101,3$  кПа, кг/м<sup>3</sup>;  $H_p$  - расчетный напор при рабочих условиях

Центробежные пылевые вентиляторы типа ЦП 7-40 предназначены для систем пылеулавливания и пневмотранспорта при гидравлическом сопротивлении сети не более 4000 Па и концентрации пыли до 1 кг/м<sup>3</sup>. Допустимая температура перемещаемой среды 80  $^{\circ}\text{C}$ .

Пылевые радиальные вентиляторы типа В-ЦП-6-45-8 предназначены для перемещения невзрывоопасных, неабразивных пылегазовоздушных смесей с температурой до 80  $^{\circ}\text{C}$ , не содержащих липких веществ и волокнистых материалов. Концентрация пыли - до 1 кг/м<sup>3</sup>.

Вентиляторы высокого давления типа ВВД предназначены для транспортировки пылей, не вызывающих коррозии обыкновенных углеродистых сталей, при напоре до 5700-6300 Па при допустимой температуре 80  $^{\circ}\text{C}$ .

Мельничные вентиляторы ВМ предназначены для работы при температурах газов до 200  $^{\circ}\text{C}$  и могут работать при запыленности газов до 80 г/м<sup>3</sup>.

Высокотемпературные вентиляторы и дымососы типов ВВДН и ГД используются для перемещения газов с повышенной температурой (более 200  $^{\circ}\text{C}$ ).

Вентиляторы дутьевые ВДН и центробежные дымососы типа ДН предназначены для подачи воздуха в топку котлоагрегатов, но помимо этого широко используются в системах пылеулавливания.

### **3.2.3. Транспортирование твердых материалов**

При эксплуатации сооружений водо- и газоочистки необходимо производить различные погрузочно-разгрузочные работы, осуществлять транспортировку песка, гравия, подсушенного осадка, пыли, уборку ила с иловых площадок и т.д. Транспортирующие машины предназначены для транспортировки материалов непрерывным потоком без остановки на за-

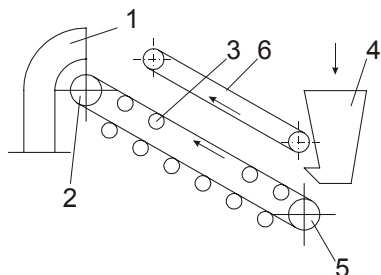


Рис. 8. Ленточный конвейер

1, 4 – разгрузочное и загрузочное устройства; 2, 5 – приводная и натяжная станция; 3 – поддерживающие ролики; 6 – прижимная лента

грузку и разгрузку. Они могут быть с тяговым органом (лента, цепь, канат) и без него.

По способу передачи усилия транспортируемому материалу транспортные средства делятся на:

машины, которые перемещают материал под действием механической силы, передаваемой от привода;

гравитационные устройства, в которых груз перемещается под действием силы тяжести;

пневматические и гидравлические установки, в которых материал

перемещается с помощью потока воздуха или жидкости.

По направлению перемещения транспортируемого материала различают:

машины, способные перемещать материал по прямому горизонтальному или слегка наклонному (до  $30^\circ$ ) участку (ленточные, пластинчатые, скребковые транспортеры);

машины, перемещающие грузы по криволинейному или наклонному участку (скребковые, винтовые контейнеры и др.);

машины, транспортирующие материал прямолинейно под большим углом к горизонту или вертикально (элеваторы, винтовые конвейеры специального исполнения);

устройства, способные перемещать грузы только по наклонному участку с отрицательным углом наклона к горизонту (гравитационные установки, пневматические желоба, транспортные трубы);

установки, способные транспортировать материал в любом направлении, под любым углом (пневмотранспорт, гидротранспорт).

Для транспортировки зерновых, пылевидных, кусковых материалов и штучных грузов широкое распространение получили ленточные транспортеры. Ленточные конвейеры – это машины непрерывного транспорта, перемещающие груз на непрерывной ленте, которая является тяговым рабочим органом (рис. 8). Приводной вал вращается от электродвигателя с редуктором, натяжной предназначен для регулирования натяжения с помощью специальных болтов. Лента в зависимости от назначения конвейера изготавливается из текстиля, резины, резинокорда, металлических пластин и др. Прижимное устройство не позволяет материалу ссыпаться с основной ленты. Конвейер может быть закрытым в случае транспортирования пылящих или ядовитых материалов, на нем могут предусматриваться

специальные скребки или сбрасыватели в случае прилипания материала к ленте.

Основными достоинствами ленточных транспортеров являются: простота конструкции и высокая надежность; широкий диапазон производительностей (от 2,5 до 560 кг/с); значительная длина транспортеров (до 3,5 км).

Однако эти транспортные устройства непригодны для перемещения сильнопылящих, налипающих и горячих (более 90°C) материалов. Транспортировка материалов возможна лишь по прямолинейному участку и с незначительным углом наклона (не более 18°).

Для перемещения сыпучих, зернистых и мелкокусковых материалов на сравнительно небольшие расстояния (не более 100 м) под большим (до 90°) углом наклона участка используются скребковые транспортеры.

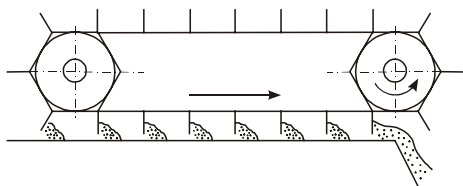


Рис. 9. Цепной скребковый конвейер

Скребковые транспортеры – это машины для непрерывного перемещения сыпучих материалов с помощью скребков, укрепленных на одной или двух тяговых цепях, движущихся по желобу, емкости или по трубе (рис.9).

К достоинствам таких транспортеров можно отнести следующие: простота конструкции и возможность загрузки и выгрузки материала в любой точке по длине;

возможность совмещения транспортировки материала с другими технологическими операциями (охлаждение, промывка, нагревание);

герметичность;

значительный угол наклона (до 90°).

Однако повышенный расход энергии и износ скребков и желоба, а также малая длина перемещения и возможность измельчения хрупкого груза ограничивают применение скребковых транспортеров, но они могут использоваться для удаления осадков из отстойников и песколовков.

Для транспортировки зерновых, а также пастообразных материалов применяют винтовые конвейеры (шнеки), в которых перемещение и перемешивание материалов происходит при помощи винта. В зависимости от свойств материала и назначения шнека используют винты разной конструкции. Например, для транспортировки порошкообразных и мелкокусковых материалов применяют сплошные винты, а для налипающих материалов – ленточные и лопастные.

К основным достоинствам винтовых конвейеров относятся:

простота конструкции, надежность работы;

герметичность;



возможность проведения операции сушки, растворения и кристаллизации;

большой (до  $90^\circ$ ) угол наклона.

К недостаткам винтовых конвейеров следует отнести: повышенный расход энергии, износ винта, небольшая (до 40 м) длина участка перемещения, истирание и дробление материала, а также чувствительность к перегрузкам.

Для перемещения сыпучих материалов и штучных грузов в вертикальном направлении или под большим (более  $60^\circ$ ) углом используют ковшовые и полочные элеваторы.

Достоинство ковшовых элеваторов (рис.10) в следующем:

малые габаритные размеры;

широкий диапазон производительности (от 5 до  $600 \text{ м}^3/\text{ч}$ );

возможность совмещения технологических операций (обезвоживание, сушка, охлаждение);

высота подъема до 60 м.

Выбор типа элеватора зависит от его назначения и свойств транспортируемого материала.

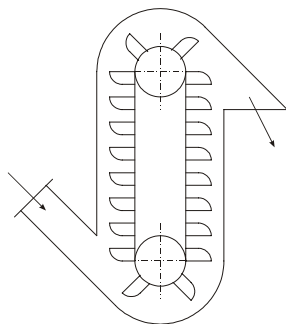


Рис. 10. Ковшовый элеватор

### 3.3. Грузоподъемные машины

Подъемно-транспортное оборудование предназначено для перемещения различных предметов и грузов в пространстве. В зависимости от вида производимых работ это оборудование можно подразделить на три основные группы: грузоподъемные машины (домкраты, лебедки, тали, краны), погрузочно-разгрузочные машины (экскаваторы, погрузчики) и транспортирующие машины (конвейеры, транспортеры, пневмотранспортные установки). Иногда некоторые машины одной группы могут использоваться для работ, производимых машинами другой группы, например, краны и тали – для погрузки и разгрузки, лебедки и домкраты – для горизонтального перемещения предметов и т.п.

Подъемно-транспортное оборудование служит для монтажа и демонтажа оборудования, арматуры, технологических аппаратов, а также производства ремонтных работ. Тип оборудования, его грузоподъемность и привод должны выбираться с учетом максимальной массы перемещаемого груза и его габаритов, компоновки технологического оборудования и размеров сооружения.

Грузоподъемные машины (и отдельные механизмы) работают в прерывно-кратковременном режиме и характеризуются грузоподъемностью, скоростью движения отдельных механизмов и режимов работы. Ряд номинальных грузоподъемностей колеблется от 0,1 до 1000 т. Скорости движения различных механизмов выбирают в зависимости от требований технологического процесса, характера работы и типа машины.

Правилами Госгортехнадзора установлены режимы работы грузоподъемных машин: Р – ручного привода, Л – легкий, С – средний, Т – тяжелый, ВТ – весьма тяжелый. Режим работы подъемно-транспортного оборудования водопроводно-канализационных хозяйств обычно легкий.

Из грузоподъемного оборудования широко применяются лебедки, тали и краны (подвесные и мостовые), различающиеся прежде всего по виду привода – ручные и электрические. Для производства погрузочно-разгрузочных работ используются электрические (аккумуляторные) и автопогрузчики, тали и краны. На складах реагентов нашли применение мостовые краны с подвесным моторным грейфером.

В большинстве грузоподъемных машин применяют такие общие элементы, как канаты, цепи, захватные приспособления, блоки и т.д.

Допускаемое для данного троса или цепи усилие  $S$ , определяется по формуле:

$$S = R/k,$$

где  $R$  – разрывное усилие каната (цепи) по заводскому паспорту или ГОСТу,  $H$ ;  $k=3,5-8$  – коэффициент запаса прочности, принимаемый в соответствии с нормами Госгортехнадзора.

Самым простым и распространенным видом монтажных механизмов являются ручные или электрические тали, которые могут быть как самостоятельными, так и входить в комплект подвесного или мостового крана.

Таль ручная (рис.11) состоит из подвесного и грузового крюка, тяговой цепи, тягового колеса. Она поднимает груз при движении бесконечной тяговой цепи, приводящей во вращение тяговое колесо; последнее приводит в движение грузовую цепь с крюком через червячное колесо. Электри-

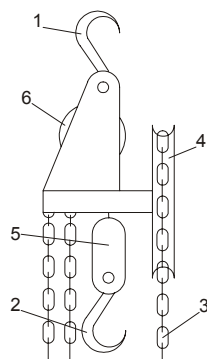


Рис.11. Таль ручная

1 – подвесной крюк; 2 – грузовой крюк; 3 – тяговая цепь; 4 – тяговое колесо; 5 – цепной блок с обоймой; 6 – червячное колесо

ческая таль\* представляет собой самоходную тележку, передвигающуюся по подвесному монорельсу из двутавровой балки. К тележке подвешивается канатный барабан с редуктором, электродвигателем, тормозным устройством и ограничителем подъема. Управление механизмом тали производится с пола подвесным кнопочным переключателем.

Тали изготавливаются грузоподъемностью от 0,25 до 12,5 т, с высотой подъема груза от 6 до 36 м (электрические на большую высоту, ручные – до 12 м). Скорость подъема 0,13 м/с, скорость передвижения – 0,33 м/с.

Лебедки (ручные напольные, рычажные, электрические) предназначены для подъема и перемещения груза в различных направлениях. Работа лебедки основана на перетягивании каната через тяговый механизм. Грузоподъемность колеблется в зависимости от типа механизма от 1 до 12,5 т (рис.12).

Домкраты служат для небольшого перемещения, подъема и опускания груза. Они бывают винтовыми, реечными, гидравлическими; грузоподъемность первых двух не превышает 20 т, высота подъема – 400 мм; гидравлические домкраты изготавливают грузоподъемностью 10 - 200 т с высотой подъема 75-500 мм.

Краны подвесные и мостовые, по типу приводов разделяемые на ручные и электрические, устанавливаются в прямоугольных в плане сооружениях для подъема, опускания и перемещения грузов в продольном и поперечном направлениях. Основными параметрами крана являются грузоподъемность, высота подъема и пролет крана. Грузоподъемность и высота подъема крана аналогичны таковым для тали. Пролетом крана называется расстояние между осями рельсов кранового пути. Подвесные и мостовые краны с ручным управлением применяют обычно при монтажных и демонтажных работах на небольших сооружениях. Управляют кранами, как правило, с пола помещения; исключение составляют мостовые электрические краны большой грузоподъемности, которыми управляют из кабины.

---

\* Электротали, подвешенные к тележкам с электроприводом, называются тельферами, их грузоподъемность составляет 0,25-5, т.

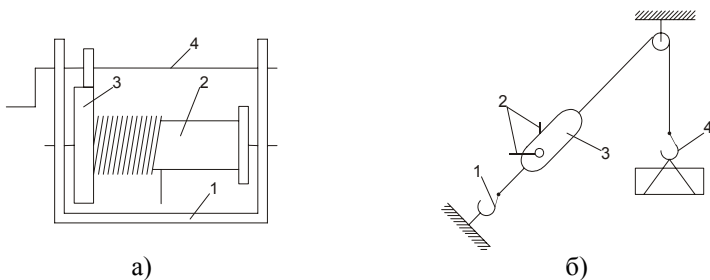


Рис. 12. Лебедки

а) напольная ручная

1 – рама; 2 – барабан; 3 – зубчатая передача;  
4 – приводной вал с рукояткой

б) рычажная ручная

1 – подвесной крюк; 2 – рычаги (сжимы);  
3 – тяговый механизм; 4 – грузовой крюк

Краны подвесные (кран-балки) по сравнению с мостовыми не требуют устройства подкрановых путей, вследствие чего упрощается строительная часть сооружения. Кран подвесной с ручным или электрическим управлением (рис.13а) представляет собой отрезок двутавра (кран-балка или мост), подвешенный к двум кареткам, каждая из которых передвигается по подвесному монорельсу из двутавровой балки. Монорельсы крепятся к балкам перекрытия. По двутавру, на котором находятся каретки и механизм перемещения крана, движется ручная или электрическая таль для подъема груза. Подвесные ручные краны имеют грузоподъемность от 0,5 до 5 т с высотой подъема груза от 3 до 12 м, подвесные электрические – грузоподъемность 1-5 т, высоту подъема 6-36 м.

Краны мостовые (рис.13б) отличаются от подвесных большей грузоподъемностью и устанавливаются в сооружениях с большими пролетами. Кроме того, для мостовых кранов здание вдоль стен оборудуется специальными подкрановыми путями, которые опираются на консоли железобетонных колонн или на кирпичные пилястры. Мостовые краны бывают ручными, электрическими, радиальными. Ручные используются для периодических монтажных, демонтажных и ремонтных работах, когда масса перемещаемого оборудования не превышает 8 т. Такой кран состоит из трех основных частей: моста, механизма передвижения крана и тали с механизмом подъема и передвижения груза. Высота подъема составляет до 12 м.

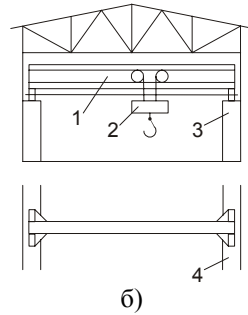
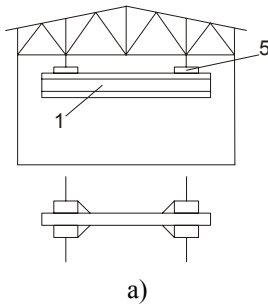


Рис.13. Краны

а) подвесной б) мостовой

1 – кран-балка; 2 – электроталь; 3 – колонна; 4 – подкрановые пути; 5 – каретки

Мостовые электрические краны имеют один или два крюка различной грузоподъемности. Максимальная производительность одного из крюков двухкрюкового крана 50 т при высоте подъема главного крюка до 12 м.

Мостовые электрические краны имеют один или два крюка различной грузоподъемности. Максимальная производительность одного из крюков двухкрюкового крана 50 т при высоте подъема главного крюка до 12 м, вспомогательного до 14 м. Мост

крана составляют несущие балки коробчатого сечения, соединенные двумя поперечными опорными концевыми балками. На верхних поясах несущих балок установлены рельсы для крановой тележки. Механизм передвижения крана состоит из электродвигателя, колодочного тормоза и редуктора, установленных в средней части моста. Управление крана осуществляется из кабины, подвешенной к мосту крана.

Для захвата и транспортирования сыпучих материалов служат грейферы – самозачерпывающиеся ковши (рис.14). По числу рабочих органов – челюстей, они делятся на двух- и многочелюстные. Последние применяются для кусковых, пористых и волокни-

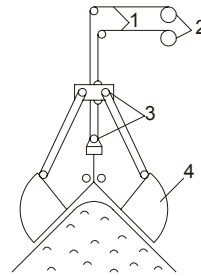


Рис. 14. Грейфер

1 – канаты; 2 – барабаны; 3 – траверсы; 4 – челюсти

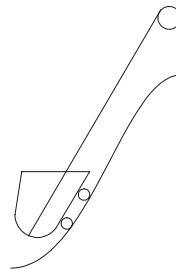


Рис.15. Скиповый подъемник

стых материалов. Различают одно- и двухканатные грейферы. Грейферы имеют емкость 0,3-15 м<sup>3</sup>.

Скиповые подъемники (рис.15) предназначены для подъема сыпучих грузов в скипах (коробах, сосудах) по наклонным или вертикальным направляющим. В верхнем разгрузочном пункте скипы автоматически опрокидываются, либо разгружаются через откидное дно. Грузоподъемность 1-10 т.

## ГЛАВА 4. СООРУЖЕНИЯ И АППАРАТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

### 4.1. Сооружения механической очистки

#### 4.1.1. Смесители и усреднители

Смесители и усреднители служат для усреднения расхода и концентраций загрязнений сточных вод, а также для смешения их с реагентами. Используют контактные и проточные сооружения, последние выполняют в виде многокоридорных резервуаров или резервуаров с перемешивающими устройствами.

Тип усреднителя необходимо выбирать в зависимости от характера и количества нерастворенных компонентов загрязнений, а также динамики поступления сточных вод. При гашении залповых сбросов предпочтительнее конструкции многоканального типа, при произвольных колебаниях – практически равноценны любые типы усреднителей.

К многоканальным конструкциям относятся прямоугольные и круглые (рис.16) с неравномерным распределением расхода и объемов по каналам. Усреднение в них достигается за счет дифференцирования потока,

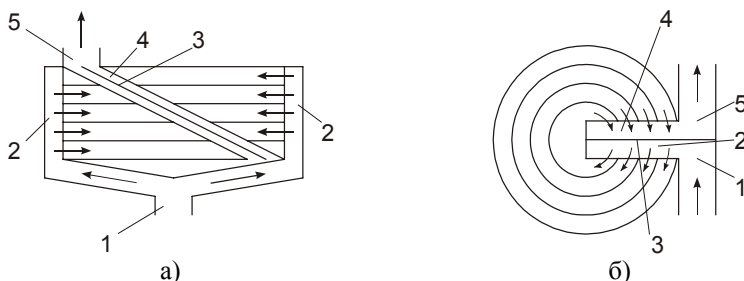


Рис.16. Конструкции многокоридорных усреднителей  
а) прямоугольный; б) круглый

1 – водоподводящий канал; 2 – распределительный лоток; 3 – глухая перегородка; 4 – сборный лоток; 5 – водоотводящий канал

который, поступая через распределительный лоток, делится на ряд струй,

протекающих по коридорам различной длины. В результате в сборном лотке смешиваются струи воды различной концентрации, поступившие в усреднитель в разное время. Количество коридоров в каждой половине усреднителя должно быть не менее 5-6.

Усреднение расхода воды достигается также при перекачке ее насосами, в этом случае усреднитель представляет собой простую емкость.

Перемешивание жидкости может быть обеспечено механическими мешалками или барбатажем воздуха. Усреднитель-смеситель барботажного типа применяют для усреднения стоков независимо от режима их поступления при содержании взвесей до 500 мг/л, с механическим перемешиванием – свыше 500 мг/л.

Изменение концентрации загрязнений в сточных водах может произойти в результате залпового сброса или вследствие циклических колебаний состава вод (рис. 17).

Объем многокоридорного усреднителя при залповых сбросах высококонцентрированных сточных вод следует определять по формуле:

$$V = Q t_3 K / 2,$$

где  $Q$  - расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $t_3$  - длительность залпового сброса, ч;  $K$  - коэффициент усреднения:

$$K = (C_{max} - C_{cp}) / (C_{доп} - C_{cp}),$$

где  $C_{max}$ ,  $C_{cp}$  - максимальная и средняя концентрация загрязнений в стоке;  $C_{доп}$  - концентрация загрязнений, допустимая в стоке по условиям работы последующей сооружений.

Объем усреднителя с перемешивающим устройством при залповом сбросе надлежит определять по формулам:

$$\text{при } K < 5: V = \frac{1,3 Q t_3}{\ln K / (K - 1)},$$

$$\text{при } K \geq 5: V = 1,3 Q t_3 K.$$

При циклическом изменении концентрации сточных вод объем усреднителя находят по уравнению:

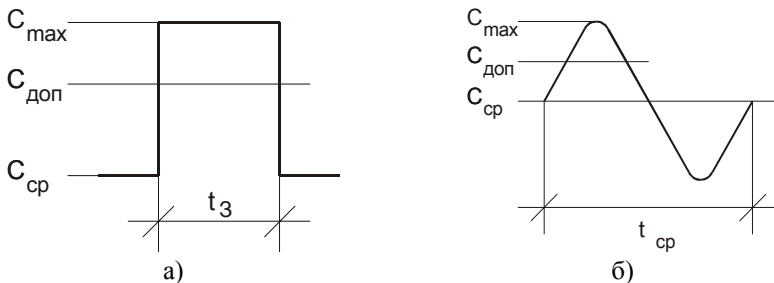


Рис. 17. Изменение состава сточных вод  
а) залповый сброс; б) циклические колебания

$$V = \sum_{i=1}^{t_u} qi,$$

где  $t_u$  – период цикла колебания, ч;  $q_i$  – расход сточных вод за каждый час периода усреднения, м<sup>3</sup>/ч.

Объем усреднителя с перемешивающим устройством при циклических колебаниях вычисляют по формулам:

$$\text{при } K < 5: V = 0,21Qt_u \sqrt{K^2 - 1},$$

$$\text{при } K \geq 5: V = 0,21Qt_u K.$$

При произвольном характере колебаний концентрации загрязнений сточных вод объем усреднителя с перемешивающим устройством определяется методом подбора. Сначала объем усреднителя принимают примерно равным суммарному притоку сточных вод в часы с концентрацией загрязнений, превышающей допустимую. Затем проверяют правильность принятого объема путем расчета концентрации загрязнения на выходе из сооружения по часам суток, которая в любой период времени не должна превышать допустимую концентрацию:

$$C_{\text{уср}} = \sum_{i=1}^t q_i C_i / V.$$

#### 4.1.2. Решетки

Исходными данными для расчета неподвижных решеток (рис.18) являются максимальный расход сточных вод  $Q_{\text{max}}$  и скорость движения жидкости в прозорах решеток  $V_p$ , которую принимают равной 0,8-1,0 м/с (СНиП 2.04.03-85).

Задаваясь числом решеток  $N$ , находят площадь живого сечения:

$$F = \frac{Q_{\text{max}}}{NV_p}.$$

При минимальном числе рабочих решеток принимают одну резервную, при  $N_{\text{раб}} \geq 3$  принимают 2 резервные решетки.

Число прозоров в решетке определяют по уравнению:

$$n = \frac{Q_{\text{max}}}{\epsilon h V_p} K_3,$$

где  $\epsilon = 10-20$  мм – прозоры решеток, для стандартных решеток 16 мм;  $h$  – глубина воды перед решеткой,  $K_3 = 1,05$  коэффициент, учитывающий стеснение прозоров граблями и задержанными загрязнениями.

Общая ширина решеток:

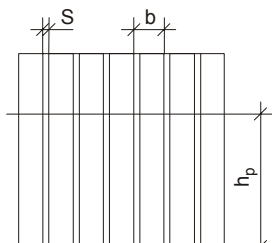


Рис. 18. Неподвижная решетка



$$B_p = S(n-1) + \nu n,$$

где  $S=6-10$  мм – толщина стержней решетки.

Потери напора в решетках:

$$h_n = p \xi V^2 / 2g,$$

где  $\xi$  – коэффициент местного сопротивления;  $V$  – скорость движения воды в камере перед решеткой;  $p$  – коэффициент, учитывающий увеличение потерь напора вследствие засорения решетки, СНиП рекомендует принимать его равным 3.

Коэффициент местного сопротивления можно определить:

$$\xi = \beta(S/\epsilon)^{4/3} \sin \alpha,$$

где  $\beta$  – коэффициент, равный 2,42 для прямоугольных и 1,72 для круглых стержней;  $\alpha$  – угол наклона решетки к горизонту.

Применяются механизированные решетки типа РМУ – решетки механизированные унифицированные, МГ – с механическими граблями, РМВ – решетки механизированные вертикального типа.

Для задержания и измельчения загрязнений непосредственно в потоке сточной воды служат решетки-дробилки (комминаторы) типа РД или КРД. Подбор решеток-дробилок осуществляется по среднесуточному расходу, скорость движения воды в щелях решетки при максимальном притоке 1,2 м/с.

Устанавливается не менее 1 рабочей и 1 резервной решетки с механизированными граблями и до 3 решеток рабочих при 1 резервной для решеток-дробилок.

### 4.1.3. Песколовки

Песколовки предназначены для удаления минеральных частиц крупностью 0,15-0,25 мм с гидравлической крупностью  $U_0=13-24$  мм/с. Сооружаются песколовки из сборных железобетонных элементов стандартных размеров. Тип песколовки (горизонтальная, вертикальная, тангенциальная, аэрируемая) необходимо выбирать с учетом производительности очистных сооружений, схемы очистки сточных вод и обработки их осадка, характеристики взвешенных веществ и т.п. Горизонтальные и аэрируемые песколовки используют при расходах более 10000 м<sup>3</sup>/сут, горизонтальные с круговым движением воды до 70000 м<sup>3</sup>/сут, тангенциальные – до 50000 м<sup>3</sup>/сут, вертикальные – до 5000 м<sup>3</sup>/сут.

При расчете горизонтальных и аэрируемых песколовок (рис.19а) следует определять их длину  $L$  по формуле:

$$L = \frac{1000KH_p V}{U_0},$$

где  $K$  – коэффициент, принимаемый по СНиП 2.04.03-85 в зависимости от типа песколовки и отношения ширины  $B$  к глубине  $H$  аэрируемых песколовок ( $K=1,7-1,3$  для горизонтальных песколовок,  $K=2,62-2,08$  – для аэрируемых);  $H_p$  – расчетная глубина песколовки, м, принимаемая для горизонтальной песколовки 0,25-1 м, для аэрируемой – половине общей глубины, равной 0,7-3,5 м;  $V$  – скорость движения сточных вод, принимаемая для гори-

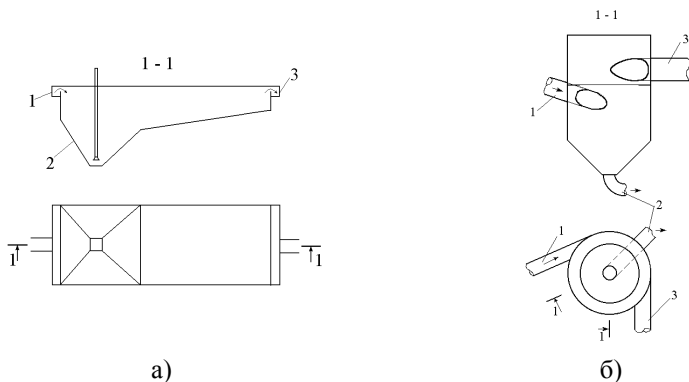


Рис. 19. Схемы песколовок

а) горизонтальная; б) тангенциальная

1 – водоподводящий поток; 2 – удаление осадка; 3 – водоотводящий лоток

зонтовых песколовок при минимальном притоке 0,15, при максимальном – 0,3 м/с; для аэрируемых песколовок при максимальном притоке 0,08-0,12 м/с;  $U_0$  – гидравлическая крупность песка, мм/с, принимаемая в зависимости от требуемого диаметра задерживаемых частиц песка (для горизонтальной и тангенциальной песколовки 18,7-24,2; для аэрируемой – 13,2 - 24,2 мм/с).

Наиболее распространенными формами поперечного сечения песколовки являются полигональная и трапецеидальная (рис. 20). Оба сечения имеют одинаковую ширину по дну и одинаковый наклон стенок в нижней части. При равной производительности глубина проточной части полигональной песколовки будет больше, чем у трапецеидальной ( $h_n > h_T$ ), а трапецеидальная занимает большую площадь.

Стремление избежать устройства скребковых механизмов для удаления осадка привело к созданию песколовок с бункерами под днищем или с дренажным днищем. В последнем случае в днище каждого отделения закладывают бетонную или керамическую дренажную трубу диаметром 100 мм, над которой располагают слой гравия толщиной 20-30 см.

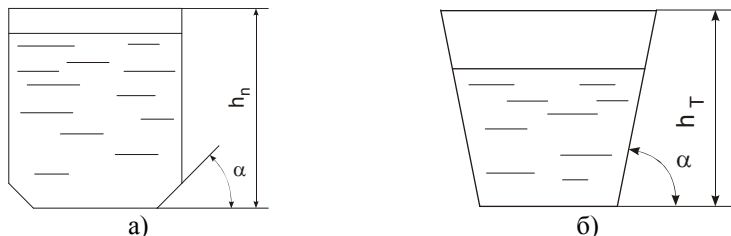


Рис.20. Формы поперечного сечения песколовок

а) полигональная; б) трапецеидальная

В песколовках с бункерами под днищем по всей длине устраиваются 2-3 пирамидальные бункера. Желательно, чтобы проточные и осадочные части таких песколовков разделялись между собой колосниковыми днищами (перегородками), т.к. проточность осадочных частей вредно отражается на работе песколовков. Площадь колосников составляет около 50 % площади всего днища, остальная часть приходится на продольные отверстия, через которые и проваливается в бункера выпавший осадок. Для исключения выпадения в таких песколовках органических загрязнений создают искусственную шероховатость днища. Оптимальным является устройство днищ в виде гряд, формируемых потоком из осадка.

Для горизонтальных песколовков продолжительность протекания сточных вод при максимальном притоке составляет не менее 30 с.

Для аэрируемых песколовков устанавливают аэраторы из дырчатых труб на глубину  $0,7 H_p$  вдоль одной из продольных стен над лотком для сбора песка; создают интенсивность аэрации  $3-5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ ; поперечный уклон к песковому лотку  $0,2-0,4$ ; отношение ширины к глубине отделения –  $V:H=1:1,5$ .

Для тангенциальных песколовков (рис. 19б) следует принимать глубину, равную половине диаметра, а диаметр – не более 6 м.

При проектировании всех типов песколовков общие расчетные параметры необходимо принимать по табл.28 СНиП 2.04.03-85 – гидравлическая крупность  $U_0$ , мм/с; скорость движения вод при минимальном и максимальном притоке  $V$ , м/с; глубина  $H$ , м; содержание песка в осадке, % и др.

Осадок из песколовков удаляют вручную при его объеме до  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ , механическим или гидромеханическим способом с транспортированием песка к приемку и последующим отводом за пределы песколовков гидроэлеваторами, песковыми насосами и др. способами при его объеме свыше  $0,1 \text{ м}^3/\text{сут}$ .

Объем пескового приемка следует принимать не более двухсуточного объема выпадающего песка, угол наклона стенок приемка к горизонту – не менее  $60^\circ$ .

Для поддержания постоянной скорости движения сточных вод в горизонтальных песколовках на выходе из них следует предусматривать водослив с широким порогом.

Производительность горизонтальных песколовков с прямолинейным движением воды может составлять  $70-280 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ , на такую же производительность рассчитаны типовые аэрируемые песколовки, разработанные ЦНИИЭП инженерного оборудования.

Горизонтальные песколовки с круговым движением воды имеют диаметр 4 или 6 м, пропускную способность  $1,4-64 \text{ тыс. м}^3/\text{сут}$ .

#### 4.1.4. Отстойники

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

Число отстойников следует принимать: первичных не менее двух, вторичных – не менее трех при условии, что все отстойники являются рабочими. При минимальном числе их расчетный объем необходимо увеличить в 1,2-1,3 раза.

Вертикальные отстойники целесообразно применять при производительности очистной станции до 20 тыс.м<sup>3</sup>/сут, горизонтальные – более 15 тыс.м<sup>3</sup>/сут., радиальные – более 20 тыс.м<sup>3</sup>/сут., осветлители со слоем взвешенного осадка используют при производительности очистной станции до 100 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Схемы основных типов отстойников приведены на рис. 21. Для интенсификации осветления сточных вод рационально применение предварительной аэрации сточных вод с добавлением активного ила, выполняемой преаэраторами. Эффективность осаждения повышается также при добавлении в воду коагулянтов и флокулянтов, способствующих увеличению скорости осаждения взвешенных частиц.

Существуют различные варианты расчета отстойников.

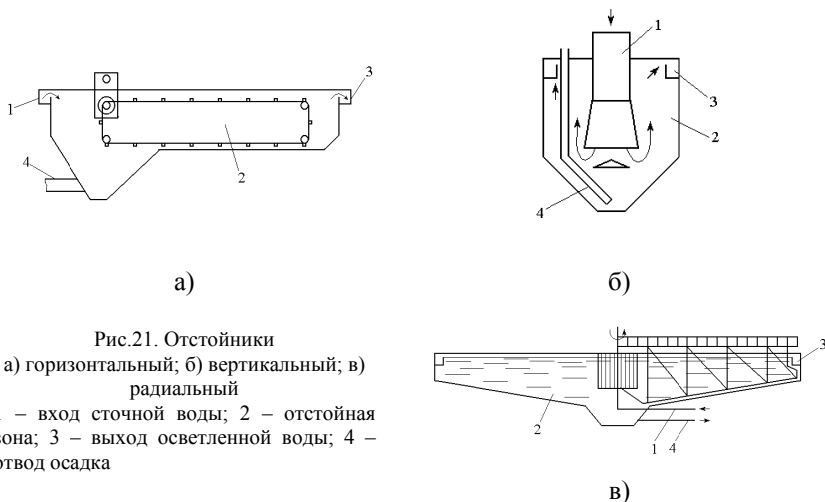


Рис.21. Отстойники

а) горизонтальный; б) вертикальный; в) радиальный

1 – вход сточной воды; 2 – отстойная зона; 3 – выход осветленной воды; 4 – отвод осадка

в)

А.И.Родионов предлагает объем отстойной (проточной) части любого отстойника  $V$  и поверхность осаждения  $F$  определять по формулам:

$$V=QT; F=Q/U_o,$$

где  $Q$  – расход сточных вод;  $T$  – расчетная продолжительность отстаивания, соответствующая заданной эффективности осветления, которую находят по формуле:

$$T=\tau(H_p/h)^n,$$

где  $H_p$  – глубина проточной (расчетной) части отстойника; принимается в зависимости от типа отстойника; для горизонтального  $H_p=1,5-4$  м; вертикального  $H_p=2,7-3,8$  м; радиального  $H_p=1,5-5$  м; с вращающимся сборно-распределительным устройством  $H_p=0,8-1,2$  м; с тонкослойными блоками  $H_p=0,025-0,2$  м;  $\tau$  и  $h=500$  мм – продолжительность и высота отстаивания в лабораторных условиях;  $n$  – коэффициент, зависящий от свойств взвешенных веществ, для коагулирующих веществ  $n=0,25$ , для мелкодисперсных минеральных  $n=0,4$ , для структурных тяжелых  $n=0,6$ ;  $U_o$  – гидравлическая крупность, принимаемая для предварительных расчетов, равной 0,2-0,5 мм/с, или определяемая по формуле:

$$U_o = \frac{1000H_p K}{\tau \left( \frac{KH_p}{h} \right)^n},$$

где  $K$  – коэффициент использования объема проточной части отстойника; остальные величины те же, что выше.

Для вертикального отстойника  $K=0,35$ , для горизонтального  $K=0,5$ , радиального  $K=0,45$ , с вращающимся сборно-распределительным устройством  $K=0,85$ , с нисходяще-восходящим потоком воды  $K=0,65$ , с тонкослойными блоками при прямо- и противоточной схеме работы  $K=0,5-0,7$ , при перекрестной  $K=0,8$ .

Все параметры для расчета отстойников принимаются по табл.30,31 и рис.2 СНИП 2.04.03-85.

Если температура реальной сточной воды отличается от лабораторных условий, то гидравлическая крупность может быть определена по формуле:

$$U_o' = \frac{\mu_{\lambda}}{\mu_{np}} U_o,$$

где  $\mu_{\lambda}, \mu_{np}$  – вязкость воды при соответствующих температурах в лабораториях и производственных условиях.

Различные варианты расчета отстойников предлагают СНИП 2.04.02-84 и СНИП 2.04.03-85. В первом случае находится площадь зоны осаждения для вертикального отстойника:

$$F = \frac{\beta_{об} q}{3,6V_p N},$$

где  $q$  – расчетный расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $V_p=0,08-0,6$  мм/с – расчетная скорость восходящего потока воды, принимаемая в зависимости от характеристики исходной воды и способа ее обработки;  $N$  – количество рабочих отстойников;  $\beta_{об}=1,3-1,5$  – коэффициент,

учитывающий объемное использование отстойника, в зависимости от отношения диаметра отстойника к высоте.

Для горизонтальных отстойников:

$$F = \frac{\alpha_{об} q}{3,6 U_o},$$

где  $U_o = V_p$  – скорость выпадения взвеси, мм/с;  $\alpha_{об} = 1,3$  – коэффициент объемного использования отстойника.

Длина горизонтального отстойника находится по формуле:

$$L = \frac{H_{cp} V_{cp}}{U_o},$$

где  $H_{cp}$  – средняя высота зоны осаждения, м, принимаемая равной 3-3,5 м в зависимости от высотной схемы станции;  $V_{cp} = 6-12$  мм/с – расчетная скорость горизонтального движения воды в начале отстойника, зависящая от мутности воды.

По аналогичной формуле рекомендуют определять длину горизонтального отстойника Ю.М.Ласков и С.В.Яковлев:

$$L = \frac{H_p V_{cp}}{K(U_o - \omega)},$$

где  $H_p = H_{cp}$  – рабочая глубина или глубина проточной части (1,5-4 м);  $\omega$  – вертикальная турбулентная составляющая, определяемая по формуле  $\omega = 0,05 V_{cp}$  ( $V_{cp} = 5-10$  мм/с).

Остальные обозначения те же, что в вышеприведенных формулах.

При расчете по последней формуле вначале рекомендуют определить ширину отделения отстойника:

$$B = \frac{q_{max}}{NH_p V_{cp}},$$

где  $q_{max}$  – максимальный расход сточных вод.

Диаметр радиального, с вращающимся сборно-распределительным устройством и вертикального отстойников Ю.М.Ласков рекомендует определять по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4q_{max}}{NK\pi(U_o - \omega)}},$$

обозначения величин те же, что и раньше.

Скорость на половине радиуса при расчете радиальных отстойников примерно равна скорости движения воды в горизонтальном отстойнике.

СНиП 2.04.03-85 кроме расчета гидравлической крупности дает формулы для определения производительности различных типов отстойников, исходя из рассчитанных или принятых ранее геометрических размеров сооружения и требуемого эффекта осветления сточных вод по формулам:

а) для горизонтальных отстойников

$$q = 3,6 KLD(U_o - \omega);$$

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

$$q = 2,8K(D-d)(U_0-\omega);$$

в) для отстойников с нисходяще-восходящим потоком воды

$$q = 1,41KD^2U_0;$$

Типовые проекты различных конструкций отстойников разработаны Союзводоканалпроектом, НИКТИ ГХ, ЦНИИЭП инженерного оборудования.

Типовые вертикальные отстойники имеют диаметры 4,5; 6 и 9 м, изготавливаются из сборного и монолитного железобетона пропускной способностью 43, 87, 196 м<sup>3</sup>/ч.

Горизонтальные отстойники разработаны на 4, 6 и 8 отделений шириной по 9 м, длиной 24 и 30 м с глубиной зоны отстаивания 3-4 м, производительностью 25-100 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Пропускная способность отстойника на 4 отделения 2130 м<sup>3</sup>/ч.

Типовые радиальные отстойники выпускают на производительность 25-200 тыс.м<sup>3</sup>/сут. Их диаметр 18, 24, 30, 40 и 50 м. Радиальные отстойники с вращающимся сборно-распределительным устройством выпускают диаметром 18 и 24 м при пропускной способности 50-100 тыс.м<sup>3</sup>/сут.

Все типы отстойников изготовляют из сборного или монолитного железобетона. Бетон, идущий на строительство отстойников, должен быть водонепроницаемым, для этого его укладывают с вибрацией. Изнутри отстойники оштукатуривают с металлизацией (железнением, оцинкованием, и т.п., наносимых электрометаллизатором или газопламенным металлизатором), тогда отпадает необходимость в гидроизоляции.

#### **4.1.5. Удаление осадков из отстойников**

Выпавший в отстойниках осадок должен непрерывно или периодически удаляться из них. Продолжительность хранения осадка зависит от его количества и способности к хранению и загниванию. Легкозагнивающие осадки сточных вод некоторых отраслей промышленности могут храниться не более суток, например, пищевой промышленности; способные к цементации осадки предприятий стройиндустрии должны удаляться 1-3 раза в сутки.

Для нормальной работы очистных сооружений необходимо постоянно или периодически осуществлять следующие технологические операции:

- 1) сгребание осадка с площади дна сооружений к приемку и удаление собранного осадка на обработку;
- 2) сгребание плавающих веществ с поверхности воды к жиросборнику, пеносборному лотку, нефтесборной трубе и удаление собранных пла-

вающих веществ на обработку. Перечисленные операции должны осуществляться без отключения сооружений.

Для сгребания осадка применяют скребковые механизмы, которые конструктивно различаются между собой в зависимости от формы, назначения, размеров сооружений, а также по типу привода.

Для сбора осадка в приямок в основном используются скребковые цепные механизмы, скребки-тележки с тяговым приводом и с собственным приводом на ходовых колесах, а также вращающиеся скребковые устройства для сбора осаждающихся и плавающих веществ с приводом на оси устройства. Возможно также гидромеханическое (направленными струями воды) сгребание осадка.

Удаление осадка из приямка отстойника надлежит предусматривать самотеком. под гидростатическим давлением, насосами, предназначенными для перекачки жидкости с большим содержанием взвешенных веществ, гидроэлеваторами, эрлифтами, ковшовыми элеваторами, грейферами и т.п. Гидростатическое давление при удалении осадков необходимо принимать не менее 1,5 м в. ст. (15 кПа) – для первичных отстойников, 1,2 м в. ст. (12 кПа) – для вторичных. Диаметр труб для удаления осадка должен быть не менее 200 мм.

В горизонтальных отстойниках для перемещения осадков по дну применяют механизмы двух типов: ленточные (цепные или канатные) и тележечные. Последние предпочтительнее при тяжелых осадках, в частности, они применяются в песколовках.

Ленточный механизм (рис. 22а) состоит из бесконечной ленты (цепи), на которой закрепляются скребки. Последние могут быть выполнены в виде деревянных прямоугольных перегородок или "полутруб", полученных при продольном разрезе труб на две половины; при любой конструкции длина скребков равна ширине отстойника (или его отделения). У днищ скребки движутся против движения сточной воды и сгребают осадок к бункеру. Обратный ход происходит над водой, при этом собираются плавающие на поверхности воды примеси, например, нефтепродукты. Союзводоканалпроектом разработан скребковый механизм шириной 6 и 9 м со скоростью движения 0,6 м/мин. Привод механизма осуществляется от электродвигателя через редукторы, которые располагаются в начале отстойника; мощность электродвигателя 1,7 кВт с частотой вращения 960 об/мин.





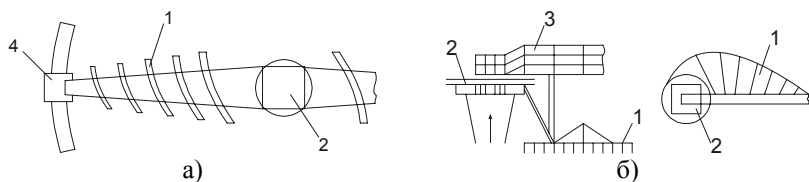


Рис.23. Илоскребы для радиальных отстойников  
а) с треугольным сечением; б) спиральный

1 – скребковые крылья; 2 – платформа; 3 – мост; 4 – приводная тележка

странственную ферму, имеющую треугольное поперечное сечение, со скребками, расположенными под углом  $35^\circ$  к направлению илоскреба. Последний имеет два скребковых крыла, которые подвешены к вращающейся платформе. Вся эта система образует единую конструкцию. Частота вращения  $1,5-3$  об/ч в зависимости от диаметра отстойника. При диаметре отстойника более  $24$  м вместо центральной вращающейся фермы устраивают ферму, движущуюся по монорельсу, окружающему отстойник. Вращение платформе придается от приводной тележки, установленной на внешнем конце моста и движущейся по поверхности борта отстойника. По верху фермы устроен мостик (подход) к центральной опоре.

Плавающие на поверхности воды вещества собираются с помощью погружной доски, прикрепленной к мосту илоскреба. При вращении илоскреба эта доска "сгоняет" плавающие вещества к качающемуся бункеру, откуда они поступают в жировую трубу отстойника.

Из приемка радиального отстойника осадок удаляют под гидростатическим давлением (из отстойника небольшого диаметра) или с помощью плунжерных насосов.

Легкоподвижные осадки, например, активный ил вторичных отстойников, можно удалять непосредственно из отстойной зоны с помощью илососов (сосунов) без сгребания осадков в приемок. Илоприемные воронки насосов размещаются на таких же подвижных фермах, на каких закрепляются скребки. Частота вращения фермы  $0,8-1,5$  об/ч в зависимости от диаметра. Мощность электродвигателя для вращения фермы зависит от диаметра отстойника, плотности осадка, частоты вращения фермы, обычно она составляет  $1-10$  кВт.

В зависимости от объема выпавшего осадка скребковый механизм работает периодически или непрерывно. В первом случае он включается за  $1$  ч до начала удаления осадка. При самотечном удалении осадка его влажность равна  $95\%$ , при удалении насосами –  $93,5\%$ . Диаметр иловой трубы определяется расчетом, но должен быть не менее  $200$  мм. В вертикальных отстойниках осадок удаляют под действием гидростатического давления через иловую трубу диаметром  $200$  мм, выпуск которой расположен на  $1,5-2$  м ниже уровня воды в отстойнике. Влажность осадка  $95\%$ .

#### 4.1.6. Гидроциклоны

Для очистки сточных вод используют безнапорные (открытые) и напорные (закрытые) гидроциклоны (рис.24).

Открытые гидроциклоны необходимо применять для выделения всплывающих и оседающих грубодисперсных примесей гидравлической крупностью свыше 0,2 мм/с и скоагулированной взвеси.

Напорные гидроциклоны используются для выделения из сточных вод грубодисперсных примесей, главным образом, минерального происхождения. Аппараты малых размеров обеспечивают больший эффект очистки.

Для всех конструкций открытых гидроциклонов удельную гидравлическую нагрузку  $q$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$  определяют по формуле:

$$q = 3,6 K U_0,$$

где  $U_0$  – гидравлическая крупность, мм/с;  $K$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа гидроциклона:

$K=0,61$  для гидроциклонов без внутренних устройств;

$K=1,98$  – с конической диафрагмой и внутренним цилиндром.

Производительность одного аппарата,  $Q'$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , следует определять по формуле:

$$Q' = 0,785 q D^2,$$

где  $D$  – диаметр гидроциклона, м.

Число гидроциклонов находят из выражения:

$$N = Q/Q',$$

где  $Q$  – расход сточных вод,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

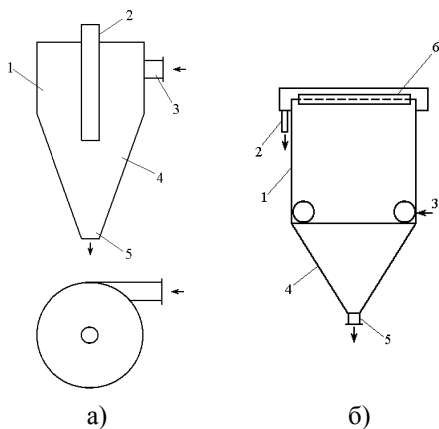


Рис. 24. Гидроциклоны  
 а) напорный; б) безнапорный  
 1 – цилиндрическая часть; 2 – отвод воды; 3 – впуск воды; 4 – коническая часть; 5 – отвод шлама; 6 – полупогружная кольцевая доска

Удаление осадка из открытых гидроциклонов следует предусматривать непрерывное под гидростатическим давлением, гидроэлеваторами или механизированными средствами. Всплывающие примеси, масла и нефтепродукты надо задерживать полупогруженной перегородкой. Основные размеры этих гидроциклонов:  $D=2-10$  м, число впусков 2-3, высота цилиндрической части  $H_{\text{цил}}=D$  или  $H_{\text{цил}}=D + 0,5$ , угол конической части  $\alpha=60^\circ$ .

Скорость потока на входе в аппарат  $V_{\text{вх}}=0,1-0,5$  м/с.

Расчет напорных гидроциклонов надлежит производить исходя из крупности задерживаемых частиц и их плотности по эмпирическим формулам. Диаметр гидроциклона можно определить по табл. 35 СНиП 2.04.03-85 в зависимости от крупности частиц, мм. Основные размеры напорного гидроциклона следует подбирать по данным заводов-изготовителей, Дзержинского филиала Леннинхиммаша, проблемной лаборатории Горьковского инженерно-строительного института, Уфимского завода горного оборудования. Их диаметр  $D=25-500$  мм.

Давление на входе в напорный гидроциклон надлежит принимать от 0,15 до 0,6 МПа в зависимости от числа ступеней и наличия или отсутствия разрыва струи.

Производительность напорного гидроциклона  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч назначенных размеров следует рассчитывать по формуле:

$$Q=9,58 \cdot 10^3 d_n d_{cs} \sqrt{\Delta P g} ,$$

где  $\Delta P$  – потери давления в гидроциклоне, МПа;  $d_n$ ,  $d_{cs}$  – диаметры питающего и сливного трубопроводов, мм.

В зависимости от требуемой эффективности очистки сточных вод и степени сгущения осадков компоновка в напорных гидроциклонах может осуществляться в одну, две или три ступени путем последовательного со-

единения аппаратов. На первой ступени следует использовать гидроциклоны больших размеров для задержания основной массы взвешенных веществ и крупных частиц взвеси, которые могут засорить гидроциклоны малых размеров, используемых на последующих ступенях очистки.

Напорные гидроциклоны могут быть единичными и батарейными (мультигидроциклоны).

В зависимости от химических и механо-химических свойств обрабатываемой воды и осадков аппараты изготавливают из нержавеющей стали, полиэтилена и полиуретана, или из стали Ст3 с покрытием внутренней поверхности износостойкой эмалью.

Эффективность очистки в гидроциклонах достигает 70 %.

#### **4.1.7. Фильтры**

Фильтры служат для глубокой очистки сточных вод от мелкодиспергированных примесей, а также для доочистки сточных вод после биологической или другой очистки. В практике водоочистки применяют в основном скорые фильтры с зернистой загрузкой, которые рекомендуются следующих конструкций: однослойные, двухслойные и каркасно-засыпные (КЗС). Они могут располагаться на открытой площадке или в помещении.

Скорые открытые фильтры (рис. 25а) представляют собой прямоугольный в плане железобетонный резервуар, оборудованный сборно-распределительной системой подачи исходной, промывной и профильтрованной воды, а также контрольно-регулирующей арматурой и приборами для управления работой фильтра.

Напорные фильтры (рис. 25б) – это металлические резервуары, оборудованные дренажно-распределительной системой и необходимыми трубопроводами.

В качестве фильтрующего материала допускается использовать кварцевый песок, гравий, гранитный щебень, гранулированный доменный шлак, антрацит, керамзит, полимеры, а также другие зернистые загрузки.

Фильтры и их коммуникации должны быть рассчитаны на работу при нормальном и форсированном (часть фильтров находится на ремонте) режимах. На станциях с количеством фильтров до 20 следует предусматривать возможность выключения на ремонт одного фильтра, при большем количестве – двух.

Расчетные параметры фильтров с зернистой загрузкой для глубокой очистки сточных вод следует принимать по табл.52 СНиП 2.04.03-85 и табл. 21 СНиП 2.04.02-84. В первом случае скорость меняется от 6 до 16 м/ч в зависимости от фильтрующего материала и конструкции фильтра, во втором случае от 5 до 12 м/ч. При форсированном режиме скорость возрастает примерно на 2 м/ч. Большие значения скорости фильтрования характерны для фильтров с крупнозернистой загрузкой.

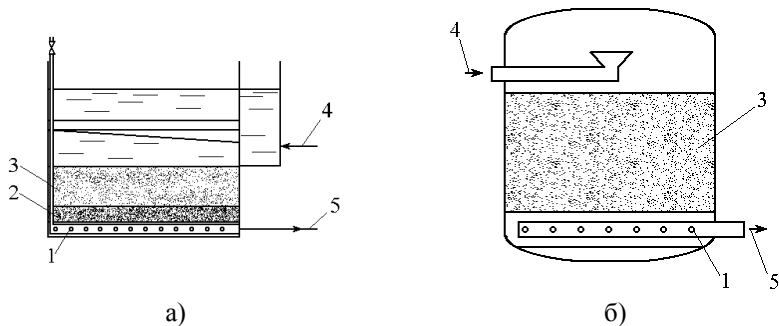


Рис. 25. Скорые фильтры

а) открытый; б) напорный

1 – трубчатая распределительная система; 2 – поддерживающий слой гравия; 3 – фильтрующая загрузка; 4, 5 – подача исходной и отвод фильтрованной воды

Продолжительность фильтроцикла при нормальном режиме составляет 8-12 ч, при форсированном режиме или полной автоматизации промывки фильтров – 6 ч.

Общую площадь фильтрования  $F_\phi$ ,  $m^2$  следует определять по формуле (СНиП 2.04.02-84):

$$F_\phi = \frac{Q}{TV_n - n_{np}q_{np} - n_{np}t_{np}V_n},$$

где  $Q$  – полезная производительность станции,  $m^3/сут$ ;  $T$  – продолжительность работы станции в течение суток, ч;  $V_n$  – расчетная скорость фильтрования при нормальном режиме,  $m/ч$ ;  $n_{np}$  – число промывок одного фильтра в сутки при нормальном режиме эксплуатации; 2-3 промывки;  $q_{np}$  – удельный расход воды на одну промывку одного фильтра,  $m^3/m^2$ ;  $t_{np}$  – время простоя фильтра в связи с промывкой, принимаемое для фильтров, промываемых водой, – 0,33 ч, водой и воздухом – 0,5 ч.

Ю.М.Ласков рекомендует определять площадь фильтров по формуле:

$$F_\phi = \frac{Qk(1+m)}{TV_n - 3,6n_{np}(W_1t_1 + W_2t_2 + W_3t_3) - n_{np}V_n t_{np}},$$

где  $Q$  – производительность очистной станции,  $m^3/сут$ ;  $k$  – коэффициент неравномерности;  $W_1, W_2, W_3$  – интенсивность,  $л/(m^2c)$  первоначального взрыхления верхнего слоя загрузки, подачи воды при водовоздушной промывке и промывке водой;  $t_1, t_2, t_3$  – продолжительность, с., первоначального взрыхления, водовоздушной промывки (только при водовоздушной промывке) и промывки;  $m=0,05$  – коэффициент, учитывающий расход воды на промывку барабанных сеток.

Числитель представляет собой полезную производительность станции.

Как видно из приведенных формул,  $q=Wt$ , в остальном они идентичны, только в первом случае не учитывается время и интенсивность воздушной промывки и первоначального взрыхления верхнего слоя загрузки.

Количество фильтров на станциях производительностью более 1600 м<sup>3</sup>/сут должно быть не менее четырех. При производительности станции более 8-10 тыс.м<sup>3</sup>/сут количество фильтров следует определять с округлением до ближайших целых чисел по формуле:

$$N_{\phi} = \sqrt{F_{\phi}} / 2.$$

При этом должно обеспечиваться соотношение:

$$V_{\phi} = V_{н} N_{\phi} / (N_{\phi} - N_1),$$

где  $N_1$  – число фильтров, находящихся в ремонте;  $V_{\phi}$  – скорость фильтрования при форсированном режиме, м/ч.

Для открытых скорых фильтров в СНИПах приводятся параметры фильтрующих загрузок (минимальный и максимальный размеры частиц, высота слоя загрузки 0,4-2,0 м в зависимости от материала и размеров частиц загрузки), скорости фильтрования при нормальном и форсированных режимах, интенсивности промывки; для напорных фильтров даются размеры выпускаемых серийно аппаратов (диаметр, общая высота, высота собственно фильтра, диаметры подводящих и отводящих патрубков). Такие фильтры имеют диаметр от 2 до 3,4 м, общую высоту 3,2-3,9 м.

СНиП 2.04.03-85 приводит рекомендации по применению фильтров с полимерной загрузкой типа "Полимер", используемых для очистки стоков от масел и нефтепродуктов с начальным содержанием их в воде до 150 мг/л. Концентрация после очистки до 20 мг/л. В качестве загрузки надлежит принимать пенополиуретан крупностью 20x20x20 мм, плотностью 46-50 кг/м, высотой слоя 2 м. Скорость фильтрования до 25 м/ч. Фильтры следует размещать в здании с температурой воздуха не менее 5 °С.

## **4.2. Физико-химическая и химическая обработка воды**

### **4.2.1. Нейтрализация**

Сточные воды, величина рН которых ниже 6,5 или выше 8,5, перед отводом в канализацию или в водный объект подлежат нейтрализации. Нейтрализацию осуществляют смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы, абсорбцией кислых газов щелочными водами или аммиака кислыми водами.

Дозу реагента для обработки сточных вод определяют из условия полной нейтрализации содержащихся в них кислот или щелочей и принимают на 10 % больше расчетной. Теоретическое количество реагентов, необходимое для нейтрализации кислот и щелочей, приводится в литературе (А.И.Родионов, Ю.М.Ласков), дается также удельный расход реагентов для удаления металлов. Доза щелочи на нейтрализацию колеблется от 0,44 до 2,8 кг на 1 кг кислоты, реагентов для удаления металлов – от 0,27 до 1,9 кг

на 1 кг удаляемого металла, доза кислоты на нейтрализацию – от 0,69 до 3,71 кг.

Так как в кислых и щелочных сточных водах практически всегда присутствуют ионы металлов, то дозу реагентов следует определять с учетом выделения в осадок солей тяжелых металлов. Расход реагентов  $G$ , кг, для нейтрализации определяется по формуле:

$$G = K_3 Q \alpha A \frac{100}{B},$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса расхода реагента по сравнению с теоретическим, для известкового молока  $K_3=1,1$ , для известкового теста и сухой известки  $K_3=1,5$ ;  $Q$  – расход сточных вод на нейтрализацию,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $\alpha$  – удельный расход реагента на нейтрализацию,  $\text{кг}/\text{кг}$ ;  $A$  – концентрация кислоты или щелочи,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $B$  – количество активной части в товарном продукте (реагенте), %.

При нейтрализации кислых стоков, содержащих соли тяжелых металлов, количество реагента определяется из соотношения:

$$G = K_3 Q (\alpha A + v_1 c_1 + v_2 c_2 + \dots + v_n c_n) \frac{100}{B},$$

где  $c_1, c_2, c_n$  – концентрации металлов в сточных водах,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $v_1, v_2, v_n$  – удельный расход реагента,  $\text{кг}/\text{кг}$ .

В состав станций нейтрализации входят склады реагентов, растворные и расходные баки, дозаторы реагентов, смесители сточных вод с реагентами, камеры реакции (нейтрализаторы), отстойники нейтрализованных сточных вод, осадкоуплотнители, сооружения для механического обезвреживания осадков.

В качестве реагентов для нейтрализации кислых сточных вод СНиП 2.04.03-85 рекомендуют применять гидроксид кальция (гашеную известь) в виде 5 % по активному оксиду кальция известкового молока или отходы щелочей (едкого натра или калия). Для подкисления и нейтрализации щелочных вод используют техническую серную кислоту.

Объем осадка, образующегося при нейтрализации  $1 \text{ м}^3$  сточных вод,  $W$ , %, определяется по формуле:

$$W = 100 \cdot M / (100 - P),$$

где  $P$  – влажность осадка, %;  $M$  – количество сухого вещества осадка,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , образующегося при нейтрализации  $1 \text{ м}^3$  сточной воды, содержащей свободную серную кислоту и соли тяжелых металлов, определяется по формуле:

$$M = \frac{100 - A}{A} (A_1 + A_2) + A_3 + (E_1 + E_2 - 2),$$

где  $A$  – содержание активной  $\text{CaO}$  в используемой известки, %;  $A_1, A_2, A_3$  – количество активной  $\text{CaO}$ , необходимой для осаждения металлов и нейтрализации свободной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , и количество образующихся гидроксидов металлов,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $E_1, E_2$  – количество сульфата кальция, образующегося при осаждении металлов и нейтрализации свободной кислоты,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Все резервуары, трубопроводы, оборудование, соприкасающиеся с агрессивными средами, должны быть защищены от коррозии. Перемешива-



вание реагента в баках осуществляется сжатым воздухом, подаваемым через дырчатые трубы, механическими мешалками или циркуляционными насосами. Растворные баки в нижней части следует проектировать с наклонными стенками. Для опорожнения баков предусматриваются трубопроводы диаметром не менее 150 мм.

Аппарат для безотходного гашения извести представляет собой барабан диаметром 1300 мм, вращающийся на горизонтальном валу. В барабан загружают чугунные шары диаметром 50 и 70 мм. Производительность барабана по извести 12-15 т/сут.

#### 4.2.2. Коагуляция

Очистка сточных вод методами коагуляции или флокуляции включает в себя процессы приготовления водных растворов коагулянтов и флокулянтов, их дозирование в обрабатываемую сточную воду, хлопьеобразование, выделение хлопьев из воды.

Смешение коагулянтов со всем объемом обрабатываемой сточной воды происходит в смесителях, продолжительность пребывания воды в которых составляет 1-2 мин. Применяются смесители гидравлического типа (перегородчатые, дырчатые, шайбовые, вертикальные), а также механические с пропеллерными или лопастными мешалками.

Число смесителей следует принимать не менее двух с возможностью отключения их в периоды интенсивного хлопьеобразования. Скорость движения воды в дырчатых и перегородчатых смесителях колеблется от 0,6 до 1 м/с, в вертикальном – от 1,2-1,5 м/с до 30-40 мм/с.

После смешения обрабатываемых сточных вод с коагулянтами начинается процесс образования хлопьев, который осуществляется в специальных резервуарах – камерах хлопьеобразования. Они могут быть водоворотные, перегородчатые, вихревые, а также с механическим перемешиванием. Последующее осветление воды производится в горизонтальных и вертикальных отстойниках.

Скорость движения воды в трубопроводах или каналах от смесителей к камерам хлопьеобразования следует принимать уменьшающейся от 1 до 0,6 м/с, в коридорах перегородчатой камеры хлопьеобразования 0,2-0,3 м/с, вихревой – 4-5 мм/с в верхнем сечении.

Приготовление и дозирование коагулянтов производят в виде растворов или суспензий. Растворение коагулянтов осуществляют в баках, количество которых должно быть не менее двух. Концентрация раствора коагулянта в растворных баках должна составлять 10-17 %. Перемешивание осуществляется сжатым воздухом в количестве 8-10 л/(м<sup>2</sup>с), продолжительность растворения 10-12 ч. Концентрированные растворы коагулянтов перемешивают с водой в расходных баках лопастными мешалками, возду-

хом или циркуляционными насосами до концентрации 1-10 %. Интенсивность подачи воздуха 3-5 л/(м<sup>2</sup>с).

В качестве коагулянтов применяют соли алюминия или железа –  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $Fe_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ , известь, к которым добавляют флокулянты. Вид реагента и его дозу определяют в зависимости от характера загрязнений сточных вод, необходимой степени очистки, местных условий и др. Такие данные приводятся в табл.55 СНиП 2.04.03-85 и составляют для солей алюминия и железа 30-700 мг/л, извести – 1000-2500 мг/л, флокулянтов – 0,5-25 мг/л. Дозу коагулянта можно также рассчитывать по СНиП 2.04.02-84:

$$D_k = 4\sqrt{Ц},$$

где  $Ц$  – цветность обрабатываемой воды, град.

Дозу флокулянта (ПАА) принимают по табл.17 СНиП 2.04.02-84 при вводе перед отстойниками или осветлителями со взвешенным осадком она составляет 0,2-1,5 мг/л; перед фильтрами ее принимают равной 0,05-0,1 мг/л при двухступенчатой очистке и 0,2-0,6 мг/л при одноступенчатой очистке.

Флокулянты следует вводить в воду после коагулянта, с разрывом по времени по 2-3 мин; при очистке высокомутных вод допускается ввод флокулянтов до коагулянтов. Концентрация растворов флокулянтов 0,1-1 %.

Дозы подщелачивающих реагентов, необходимых для улучшения процесса хлопьеобразования, надлежит определять по формуле:

$$D_{щ} = K_{щ}(D_k/e_k - Щ_0 + 1)$$

где  $D_k$  – максимальная, в период подщелачивания, доза безводного коагулянта, мг/л;  $e_k$  – эквивалентная масса безводного коагулянта, мг/мг-экв, принимаемая для  $Al_2(SO_4)_3$  – 57,  $FeCl_3$  – 54,  $Fe_2(SO_4)_3$  – 67;  $K_{щ}$  – коэффициент, равный для извести (по  $CaO$ ) – 28, для соды (по  $Na_2CO_3$ ) – 53;  $Щ_0$  – минимальная щелочность воды, мг-экв/л.

#### 4.2.3. Флотационные установки

Флотационные установки применяются для удаления из сточных вод взвешенных веществ, ПАВ, нефтепродуктов, жиров, масел, смол и других веществ, осаждение которых малоэффективно.

Различные способы флотации отличаются конструкцией установок и способом разделения жидкой и всплывающей фаз. Напорные, вакуумные, безнапорные, электрофлотационные установки следует применять при очистке сточных вод с содержанием взвешенных веществ свыше 100-150 мг/л (с учетом твердой фазы, образующейся при добавлении коагулянта). При меньшем содержании взвесей для фракционирования в пену ПАВ, нефтепродуктов, для пенной сепарации могут применяться флотаторы импеллерные, пневматические, с диспергированием воздуха через пористые материалы. Большее распространение в практике водоочистки нашли напорная и импеллерная флотация.

При проектировании напорных флотационных установок продолжительность флотации следует принимать 20—30 мин. Количество подаваемого воздуха 40-15 л на 1 кг извлекаемых загрязняющих веществ при исходной их концентрации от  $C_n \leq 200$  мг/л до  $C_n=3-4$  г/л. Флотокамеры могут быть прямоугольными (с горизонтальным движением воды при производительности до  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ , с вертикальным – до  $200 \text{ м}^3/\text{ч}$ ); круглыми (с радиальным – до  $1000 \text{ м}^3/\text{ч}$  и вертикальным движением воды). При этом горизонтальную скорость движения воды в прямоугольных и радиальных флотаторах следует принимать 5 мм/с. Воздух вводят либо через эжектор, установленный на перемычке между всасывающим и напорным патрубками центробежного насоса (при небольшой высоте всасывания), либо компрессором в напорный бак. Объем сатуратора рассчитывают на необходимую продолжительность насыщения воздухом (обычно 1-3 мин) при избыточном давлении 0,3-0,5 МПа. Количество растворяющегося в сатураторе воздуха должно составлять 3-5 % обрабатываемой воды.

Глубина зоны флотации принимается не менее 1,5 м, а продолжительность пребывания воды в ней – не менее 5 мин, глубина зоны отстаивания – не менее 1,5 м, период пребывания воды в ней – 15 мин. Прямоугольная флотационная камера имеет длину  $L=3-9$  м, ширину  $B$  до 6 м, отношение  $B:L=2/3 - 1/3$ , глубина слоя воды  $H=2-3$  м.

Напорный флотатор радиального типа с внутренней флотационной камерой, оборудованной вращающимся водораспределителем и механизмом сгребания пены, рассчитывается следующим образом.

Высота флотационной камеры принимается 1,5 м. Диаметр флотационной камеры  $D_k$  определяется по формуле:

$$D_k = 0,6\sqrt{Q_\phi / V},$$

где  $Q_\phi$  – расход сточных вод, поступающих на один флотатор,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  $V$  – восходящая скорость движения воды, равная 6 мм/с.

Высота отстойной зоны  $H_o=1,5$  м, общая высота флотатора  $H_\phi=3$  м.

Диаметр флотатора  $D_\phi$  определяется по формуле:

$$D_\phi = \sqrt{4Q_\phi t_o / \pi H_o \cdot 60},$$

где  $t_o$  – время пребывания воды в отстойной зоне, равное 14-16 мин.

При проектировании установок импеллерных, пневматических и с диспергированием воздуха через пористые материалы необходимо принимать продолжительность флотации 20-30 мин, расход воздуха при работе в режиме флотации – 0,1-0,5  $\text{м}^3/\text{м}^3$ . Глубина воды в камере флотации 1,5-3 м, окружная скорость импеллера – 10-15 м/с, камера квадратная, со стороной, равной  $6D$ , где  $D=200-750$  мм – диаметр импеллера.

Размер импеллерного флотатора зависит от диаметра импеллера и скорости его вращения, которые меняются в достаточно широких пределах. Рабочий объем аппарата  $W$  определяется:

$$W = hf = 36 \cdot hD^2,$$

где  $f$  - площадь камеры, равная  $(6D)^2$  или  $36D^2$ ;  $h$  - высота водовоздушной смеси (рабочая высота) в камере, м, определяется по формуле:

$$h = H_c / \gamma_{\text{аж}}$$

где  $\gamma_{\text{аж}}$  - объемная масса аэрируемой сточной воды (водовоздушной смеси), т/м<sup>3</sup>;  $H_c$  - статический напор, м:

$$H_c = \xi \frac{U^2}{2g},$$

где  $U$  = 12-15 м/с - окружная скорость импеллера;  $\xi$  - коэффициент напора, принимаемый для флотомашин 0,2-0,3.

Рабочую высоту камеры  $h$  принимают не более 3 м,  $\gamma_{\text{аж}} = 0,67\gamma$  (где  $\gamma$  - объемная масса сточной жидкости, т/м<sup>3</sup>).

Объем пены (шлама)  $W_{\text{ш}}$  при влажности 94-95 % может быть определен по формуле (% к объему обрабатываемой воды):

$$W_{\text{ш}} = 1,5 \cdot C_n,$$

где  $C_n$  - исходная концентрация нерастворенных примесей, г/л.

#### 4.2.4. Адсорбционные аппараты

Для глубокой очистки сточных вод от растворенных органических загрязняющих веществ применяется метод адсорбции. В качестве сорбентов используют различные искусственные и природные пористые материалы: золу, коксовую мелочь, торф, силикагели, алюмогели и др., но наиболее активным сорбентом являются активированные угли различных марок.

В практике очистки сточных вод чаще используются адсорберы с неподвижным и плотно движущимся слоем поглотителя (сорбция в динамических условиях), с псевдооживленным слоем адсорбента, а также аппараты, в которых обеспечивается интенсивное перемешивание обрабатываемой воды с порошкообразным или пылевидным сорбентом (сорбция в статических условиях).

В качестве адсорберов с неподвижным слоем сорбента надлежит применять конструкции безнапорных открытых и напорных фильтров с загрузкой в виде плотного слоя гранулированного угля крупностью 0,8-5 мм. Содержание взвешенных веществ в очищаемой воде не должно превышать 5 мг/л.

Площадь загрузки  $F_a$ , м<sup>2</sup>, адсорбционной установки определяется по формуле:

$$F_a = q/V,$$

где  $q$  - среднечасовой расход сточных вод, м<sup>3</sup>/ч;  $V$  - скорость потока, принимаемая не более 12 м/ч.

Диаметр стандартных адсорбционных колонн составляет от 1 до 3,4 м. При выключении одного адсорбера скорость фильтрования на остальных

не должна увеличиваться более, чем на 20 %. Число последовательно работающих адсорберов рассчитывается по формуле:

$$N = H_{\text{общ}}/H_a,$$

где  $H_a$  – высота сорбционной загрузки одного фильтра, м, принимаемая конструктивно (обычно 2,5-2,7 м);  $H_{\text{общ}}$  – общая высота сорбционного слоя, м, определяемая:

$$H_{\text{общ}} = H_1 + H_2 + H_3$$

где  $H_1$  – высота сорбционного слоя, м, в котором за период  $t_a$  адсорбционная емкость сорбента исчерпывается до степени  $K$ , рассчитываемая по формуле:

$$H_1 = \frac{D_{\min} q t_a}{F \gamma},$$

где  $\gamma$  – насыпной вес активного угля, г/м<sup>3</sup>, принимаемый по справочным данным;  $D_{\min}$  – минимальная доза активного угля, г/л, выгружаемого из адсорбера при коэффициенте истощения емкости  $K_u=0,6-0,8$ , определяемая по формуле:

$$D_{\min} = \frac{C_n - C_k}{K_u \cdot a_{\max}},$$

где  $C_n, C_k$  – концентрации сорбируемого вещества до и после очистки, мг/л;  $a_{\max}$  – максимальная сорбционная емкость активного угля, мг/л, определяемая экспериментально, или принимаемая по справочным данным;  $H_2$  – высота загрузки сорбционного слоя, обеспечивающая работу установки до концентрации  $C_k$  в течение времени  $t_a$ , принимаемого по формуле:

$$H_2 = \frac{D_{\max} q t_a}{F_a \gamma},$$

где  $D_{\max}$  – максимальная доза активного угля, г/л, определяемая по формуле:

$$D_{\max} = \frac{C_n - C_k}{a_{\min}},$$

$H_3$  – резервный слой сорбента, рассчитанный на продолжительность работы установки в течение времени перегрузки или регенерации слоя сорбента высотой  $H_1$ , м;  $a_{\min}$  – минимальная сорбционная емкость активного угля, мг/л, определяемая экспериментально или принимаемая по справочным данным.

Потери напора в слое гранулированного угля при крупности частиц загрузки 0,8-5 мм надлежит принимать не более 0,5 м на 1 м слоя загрузки.

Выгрузку активного угля из адсорбера следует предусматривать насосом, гидроэлеватором, эрлифтом и шнеком при относительном расширении загрузки на 20-25 %, создаваемом восходящим потоком воды со скоростью 40-45 м/ч. Металлические конструкции, трубопроводы, арматура и емкости, соприкасающиеся с влажным углем, должны быть защищены от коррозии.

Аппараты с псевдооживленным слоем применяют при использовании мелкозернистого (0,25-0,3 мм) и пылевого (40 мкм) сорбента для сорбции из труднофильтруемых сточных вод. В псевдооживленном слое частицы сорбента меньше заиливаются взвешенными веществами, содержащимися в воде, однако их концентрация не должна превышать 1 г/л при гидравлической крупности не более 0,3 мм/с. Скорость восходящего потока воды в

таким адсорбере надлежит принимать 30-40 м/ч для активных углей с размерами частиц 1-2,5 мм и 10-20 м/ч для углей с частицами 0,25-1 мм. Расширение слоя  $H_{сл}/H_0$  не должно превышать 1,5. Дозу угля для очистки воды следует определять экспериментально, дозирование угля осуществлять в мокром или сухом виде. При высоте адсорбера 0,5-1 м следует устанавливать секционирующие решетки с круглой перфорацией диаметром 10-20 мм и долей живого сечения 10-15 %. Оптимальное число секций 3-4. Взвешенные вещества, выносимые из адсорберов, и мелкие частицы угля надлежит удалять после адсорбционных аппаратов.

#### 4.2.5. Ионообменные установки

Ионообменные установки следует применять для глубокой очистки сточных вод от минеральных и органических ионизированных соединений и их обессоливания с целью повторного использования очищенной воды в производстве и утилизации ценных компонентов. Для проведения процесса ионного обмена используют те же установки, что и для адсорбции. Напорный фильтр с неподвижным слоем сорбента или ионита имеет диаметр от 1000 до 3400 мм. Основные узлы этих емкостных аппаратов – распределительные и дренажные устройства для воды и регенерирующего раствора. Дренажи и распределители выполняют из нержавеющей труб со щелями на боковой поверхности или в виде системы пористых (или щелевых колпачков) на приваренных к трубам ниппелях. Иногда пластмассовые, керамические или металлические дренажные колпачки из наборных кольцевых пластин (или со щелями) устанавливают на ложном днище из пресс-материала. Для защиты от коррозии внутреннюю поверхность корпуса адсорберов и ионообменных аппаратов часто гуммируют либо покрывают кислотостойкими смолами и лаками, например, перхлорвиниловым.

Сточные воды, подаваемые на ионообменную очистку, не должны содержать: солей свыше 3000 мг/л (как правило, до 1500-2000 мг/л); взвешенных веществ свыше 8 мг/л; ХПК не должна превышать 8 мг/л. При большом содержании в сточной воде взвешенных веществ и ХПК необходимо предусматривать ее предварительную очистку.

Обессоливание воды ионным обменом по одноступенчатой схеме надлежит предусматривать последовательным фильтрованием через водород-катионит и слабоосновной анионит с последующим удалением диоксида углерода из воды на дегазаторах.

При двухступенчатой схеме обессоливания воды предусматривают водород-катионитовые фильтры первой ступени и анионитовые фильтры первой ступени, загруженные слабоосновным анионитом. Далее идут водород-катионитовые фильтры второй ступени, дегазаторы для удаления диоксида углерода и анионитовые фильтры второй ступени, загруженные сильноосновным анионитом для извлечения кремниевой кислоты.

При трехступенчатой схеме в дополнение к предыдущей схеме, надлежит предусматривать третью ступень фильтров со смешанной загрузкой, состоящей из высококислотного катионита и высокоосновного анионита (ФСД).

Расчет сооружений ионообменной очистки сточных вод приводится в СНиП 2.04.03-85, для опреснения и обессоливания воды в СНиП 2.04.02-84.

Объем катионита  $W_k$ ,  $m^3$ , в водород-катионитовых фильтрах следует определять по формуле:

$$W_k = \frac{24q_w (\sum C_n^k - \sum C_k^k)}{n_p E_p^k},$$

где  $q_w$  – расход обрабатываемой воды,  $m^3/ч$ ;  $\sum C_n^k$  – суммарная концентрация катионов в обрабатываемой воде,  $г-экв/м^3$ ;  $\sum C_k^k$  – допустимая суммарная концентрация катионов в очищенной воде,  $г-экв/м^3$ ;  $n_p$  – число регенераций каждого фильтра в сутки (выбирается в зависимости от конкретных условий, но не более двух);  $E_p^k$  – рабочая обменная емкость катионита по наименее сорбируемому катиону,  $г-экв/м^3$ :

$$E_p^k = \alpha_k \cdot E_n^k - K_n q_k \sum C_w^k,$$

здесь  $\alpha_k=0,8-0,9$  – коэффициент эффективности регенерации катионита, учитывающий неполноту регенерации;  $E_n^k$  – полная обменная емкость катионита,  $г-экв/м^3$ , определяемая по заводским паспортным данным, по каталогу на катиониты или по экспериментальным данным; при отсутствии таких данных при расчетах допускается принимать: для сульфогля крупностью 0,5-1,1 мм – 500  $г-экв/м^3$ ; для катионита КУ-2 крупностью 0,8-1,2 мм – 1500 – 1700  $г-экв/м^3$ ;  $q_k$  – удельный расход воды на отмывку катионита после регенерации,  $м^3$  на  $1 м^3$  катионита, принимаемый равным 3-4;  $K_n$  – коэффициент, учитывающий тип ионита; для катионита принимается равным 0,5;  $\sum C_w^k$  – суммарная концентрация катионов в отмывочной воде (при отмывке катионита ионированной водой),  $г-экв/м^3$ .

Площадь катионитовых фильтров  $F_k$ ,  $м^2$ , надлежит определять по формулам:

$$F_k = \frac{W_k}{H_k}; \quad F_k = \frac{q_w}{V},$$

где  $H_k$  – высота слоя катионита в фильтре, принимаемая по каталогу ионообменных фильтров от 2 до 3 м;  $V$  – скорость фильтрования,  $м/ч$ , принимаемая в зависимости от общего содержания воды от 20 до 8  $м/ч$ .

При значительных отклонениях площадей, рассчитанных по приведенным формулам, следует проводить корректировку числа регенераций в формуле по определению объема катионита.

Число катионитовых фильтров первой ступени следует принимать: рабочих не менее двух, резервных – один. Потери напора в напорных катионитовых фильтрах составляют от 4 до 9 м в зависимости от скорости

фильтрования, размера зерен ионита и высоты слоя загрузки. Интенсивность подачи воды при взрыхлении катионита 3-4 л/(м<sup>2</sup>·с), продолжительность взрыхления 0,25 ч.

Регенерацию катионитовых фильтров первой ступени надлежит производить 7-10 %-ными растворами соляной или серной кислот со скоростью до 2 м/ч. Последующая отмывка катионита осуществляется ионированной водой, пропускаемой через слой ионита сверху вниз со скоростью 6-8 м/ч. Продолжительность регенерации 2,5-3 ч.

Объем анионита  $W_a, м^3$ , в анионитовых фильтрах следует определять по формуле:

$$W_a = \frac{24q_w (\sum C_n^a - \sum C_k^a)}{n_p E_p^a},$$

где  $\sum C_n^a$  - суммарная концентрация анионов в обрабатываемой воде, мг-экв/л;  $\sum C_k^a$  - допустимая суммарная концентрация анионов в очищенной воде, мг-экв/л;  $E_p^a$  - рабочая обменная емкость анионита, мг-экв/л:

$$E_p^a = \alpha_a E_n^a - K_u q_a \sum C_w^a,$$

здесь  $\alpha_a=0,9$  - коэффициент эффективности регенерации анионита;  $E_n^a$  - полная обменная емкость анионита, мг-экв/л, определяемая как и для катионитов; при отсутствии таких данных для анионитов АН-31 и АВ-17 допускается принимать 600-700 г-экв/м<sup>3</sup>;  $q_a$  - удельный расход воды на отмывку анионита после регенерации смолы, принимаемый равным 3-4 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> смолы;  $K_u$  - коэффициент, для ионитов равный 0,8;  $\sum C_w^a$  - суммарная концентрация анионов в отмывочной воде, мг-экв/л.

Площадь фильтрации анионитовых фильтров первой ступени  $F_a, м^3$ , определяют по формуле:

$$F_a = \frac{24q_w}{n_p t V},$$

где  $n_p$  - число регенераций анионитовых фильтров в сутки, принимается не более 2;  $t$  - продолжительность работы каждого фильтра, ч, между регенерациями, определяемая по формуле:

$$t = \frac{24}{n_p} - (t_1 + t_2 + t_3),$$

где  $t_1=0,25$  ч - продолжительность взрыхления анионита;  $t_2=1,5$  ч - продолжительность пропуска регенерирующего раствора, находится исходя из его количества и скорости пропуска (1,5-2 м/ч);  $t_3=3$  ч - продолжительность отмывки анионита после регенерации, определяемая исходя из количества промывочной воды и скорости отмывки (5-6 м/ч);  $V$  - скорость фильтрования воды, принимаемая 8-20 м/ч.

Регенерацию анионитовых фильтров первой ступени следует производить 4-6 %-ными растворами едкого натра, кальцинированной соды или аммиака. В установках с двухступенчатым анионированием для регенерации анионитовых фильтров первой ступени следует использовать отрабо-



таные растворы едкого натра от регенерации анионитовых фильтров второй ступени.

Загрузку анионитовых фильтров второй ступени следует проводить сильноосновным анионитом с высотой загрузки 1,5-2 м. Скорость фильтрования воды составляет 12-20 м/ч. Регенерация анионитовых фильтров второй ступени осуществляется 6-8 %-ным раствором NaOH. Катионитовые и анионитовые фильтры второй ступени рассчитываются по тем же формулам, что и фильтры первой ступени.

Фильтры смешанного действия (ФСД) предусматривают после одной или двухступенчатого ионирования воды для глубокой доочистки воды и регулирования рН ионированной воды. Расчет их аналогичен катионитовым и анионитовым фильтрам.

Аппараты, трубопроводы и арматура установок ионообменной очистки и обессоливания сточных вод должны изготавливаться в антикоррозионном исполнении.

Аналогичные формулы для расчета натрий-катионитного и водород-натрий катионитного методов умягчения воды приводят СНиП 2.04.02.-84. Водоснабжение. Только вместо разности концентраций ионов в обрабатываемой и очищенной воде приводится общая жесткость умягчения воды.

### **4.3. Биохимическая очистка сточных вод**

#### **4.3.1. Расчет аэротенков**

Наиболее распространенными сооружениями аэробной биохимической очистки являются аэротенки. Они представляют собой гибкие в технологическом отношении сооружения, как правило, коридорного типа, изготовленные из железобетона и оборудованные аэрационной системой. Аэротенки используют в большом диапазоне расходов сточных вод от нескольких сот до миллионов кубометров в сутки.

Различают аэротенки-вытеснители, аэротенки-смесители и аэротенки промежуточного типа (с рассредоточенным впуском воды).

Аэротенки-вытеснители (рис. 26а) – длинные коридорные сооружения, в которых вода и активный ил подаются в начало сооружения, а иловая смесь отводится в конце его. При этом практически не происходит перемешивание поступающей воды с ранее поступившей. Такие аэротенки состоят из нескольких коридоров и могут быть со встроенным регенератором и без него. Регенерацию активного ила необходимо предусматривать при БПК<sub>п</sub> поступающей в аэротенки воды свыше 150 мг/л, а также при наличии в воде вредных производственных примесей.

Коридоры аэротенка оборудуются устройствами для аэрирования иловой смеси, щитовыми затворами, системой трубопроводов для подачи сжатого воздуха, воды, активного ила и мостиками для обеспечения подхо-

да к местам обслуживания. Длина аэротенков-вытеснителей достигает 50-150 м и объем от 1,5 до 30 тыс.м<sup>3</sup>. Изменение объема аэротенка возможно путем подбора количества и длины секций. Аэрация – пневматическая в виде пористых керамических пластин или пористых керамических труб.

В большей степени режиму вытеснения соответствуют конструкции аэротенков ячеистого типа (рис. 26б). Они представляют собой прямоугольные в плане сооружения, разделенные на ряд отсеков поперечными перегородками. Смесь из первого отсека поступает во второй (снизу), из второго в третий переливается через перегородку (сверху) и т.д. В каждой ячейке устанавливается режим полного смешения, а сумма ряда последовательно расположенных смесителей составляет практически идеальный вытеснитель. При этом предотвращается возвратное движение воды, отсутствует продольное перемешивание.

Аэротенки-смесители представляют собой, как правило, заблокированные в одном сооружении аэротенк-смеситель и вторичный отстойник. Они могут быть прямоугольные (квадратные или вытянутые в длину) или круглые. Круглые в плане сооружения носят название аэроакселаторы (рис.26в). В центральной части их располагается аэротенк (зона аэрации), а на периферии – отстойник (зона отстаивания). Подаваемый в зону аэрации воздух обеспечивает в ней циркуляцию жидкости и подсос иловой смеси из циркуляционной зоны отстойника. Благодаря внутренней рециркуляции между зонами аэрации и отстаивания не требуется внешней системы возврата активного ила. Потоки иловодяной смеси и возвратного активного ила разобщены: иловодяная смесь из аэроценной зоны в циркуляционную поступает через регулируемые переливные окна, а возврат активного ила в аэрационную зону происходит через придонную кольцевую щель. Активный ил поддерживается во взвешенном состоянии и это позволяет устанавливать оптимальный кислородный режим и осуществлять более интенсивный процесс окисления органических загрязнений за счет увеличения дозы ила до 3-5 г/л.

Союзводоканалпроектом разработаны аэроакселаторы диаметром 24 м с пневматической и пневмомеханической системами аэрации.

По сравнению с аэротенками-вытеснителями в аэротенках-смесителях высокая остаточная концентрация примесей в очищенной воде. Поэтому их целесообразно применять для очистки концентрированных сточных вод на первой ступени, а аэротенки-вытеснители – на второй ступени. Аэротенки промежуточного типа (рис. 26г) совмещают элементы аэротенков-вытеснителей и аэротенков-смесителей. К ним относятся аэротенки с рассредоточенной подачей воды и сосредоточенной подачей активного ила, а также каскад аэротенков-смесителей. В них создаются условия для более высокой средней концентрации активного ила, чем в аэротенках-вытеснителях и обеспечивается более высокое качество очистки, чем в аэ-

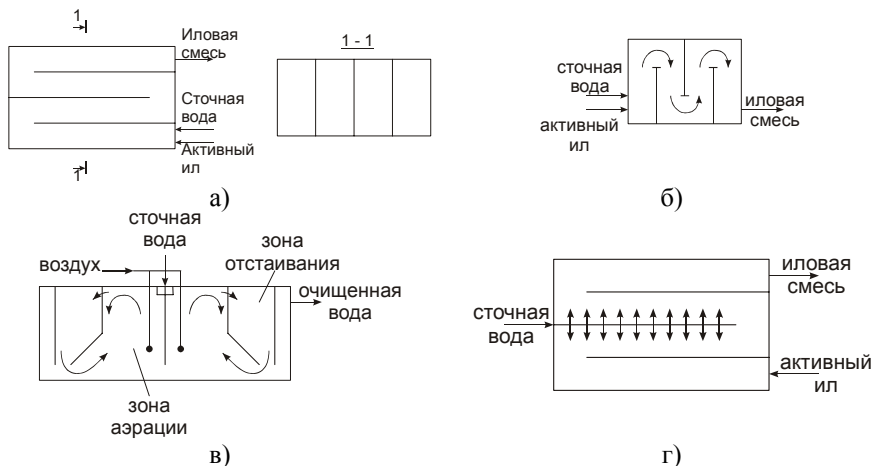


Рис. 26. Аэротенки

а) многокоридорный аэротенк-вытеснитель; б) аэротенк ячеистого типа; в) аэротенк-смеситель; г) аэротенк с рассредоточенным впуском воды

ротенках-смесителях. выполняются они в виде двух- или четырехкоридорных сооружений. Капитальные затраты на строительство таких аэротенков снижаются не менее чем на 15 % по сравнению с рассмотренными выше, при этом сохраняется высокое качество очистки. Применяются они, в основном, для очистки смеси производственных и бытовых сточных вод.

Расчет аэротенков включает определение вместимости и габаритов сооружения, объема требуемого воздуха и избыточного активного ила.

Вместимость аэротенков находится по среднечасовому поступлению сточных вод за период аэрации в часы максимального притока:

$$W_a = t_a(I + R_i)q_w,$$

где  $q_w$  – расход сточной воды,  $м^3/ч$ ;  $R_i$  – степень рециркуляции активного ила в аэротенках:

$$R_i = \frac{a_i}{\frac{1000}{I} - a_i},$$

здесь  $I$  – иловый индекс, определяется в зависимости от вида сточных вод и нагрузки на ил  $q_i$  по табл. 41 СНиП 2.04.03-85; изменяется в пределах 40-400  $см^3/г$ ;  $a_i$  – доза ила в аэротенке,  $г/л$  (2-4,5  $г/л$ );  $t_a$  – продолжительность обработки воды в аэротенке:

$$t_a = \frac{2,5}{\sqrt{a_i}} \lg \frac{L_w}{L_k},$$

здесь  $L_w$ ,  $L_k$  – БПК, соответственно поступающей и очищенной воды,  $мг/л$ .

Объем регенератора определяют по формуле:

$$W_p = t_p R_i q_w,$$

где  $t_p$  – продолжительность регенерации:

$$t_p = t_o - t_a,$$

здесь  $t_o$  – продолжительность окисления органических загрязняющих веществ в аэротенках с регенераторами:

$$t_o = \frac{L_n - L_k}{R_i a_r (1 - S) \rho},$$

где  $a_r$  – доза ила в регенераторе, г/л, определяется по формуле:

$$a_r = a_i \left( \frac{1}{2R_i} + 1 \right),$$

$\rho$  – удельная скорость окисления, мг БПК<sub>н</sub> на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч (расчет в следующем разделе).

Прирост активного ила, мг/л, в аэротенке следует определять по формуле:

$$P_i = 0,8C_n^a + K_n L_n,$$

где  $C_n^a$  – концентрация взвешенных веществ в сточной воде, поступающей в аэротенк;  $K_n$  – коэффициент прироста активного ила; для городских и близких к ним по составу производственных сточных вод,  $K_n=0,3-0,5$ .

Для аэротенков и регенераторов надлежит принимать число секций – не менее двух; рабочую глубину 3-6 м, отношение ширины коридора к рабочей глубине от 1:1 до 2:1. Для станций производительностью до 50 тыс.м<sup>3</sup>/сут наиболее целесообразное число секций 4-6, а при большей производительности 6-8; все секции рабочие, каждая состоит из двух-четырёх коридоров.

В практике проектирования и строительства аэротенков используют типовые проекты, разработанные Союзводоканалпроектом (аэротенки-смесители) и ЦНИИЭП инженерного оборудования (аэротенки-вытеснители). Прямоугольные аэротенки-смесители выполняют в виде 2, 3 и 4-коридорных резервуаров с рабочей глубиной от 1,2 до 5,2 м и шириной коридора 3, 4, 6 и 9 м. Длина секции от 24 до 150 м. Аэротенки-вытеснители состоят из 2, 3 или 4 коридоров при ширине 4, 5, 6 и 9 м и глубине 3,2; 4,4 и 5 м, длина от 36 до 114 м.

Аэротенки-вытеснители коридорного типа применяются при начальной БПК<sub>н</sub> ≤ 500 мг/л. Аэротенки-смесители рекомендуется использовать с высокой начальной БПК<sub>н</sub>, а также при резких колебаниях состава воды. Такие аэротенки разработаны Гипрокоммуводоканалом.

Аэротенки с рассредоточенной подачей воды и с неравномерно рассредоточенной подачей воды (АНР) разработаны Укргипрокоммуводоканалом, ЦНИИЭП инженерного оборудования и МИСИ им. В.В.Куйбышева. Они имеют 2 или 4 коридора, ширина их 6 и 9 м, глубина 4,4 и 5 м, длина 36-120 м, число секций 3-6.

### 4.3.2. Расчет систем аэрации в аэротенках

Система аэрации представляет собой комплекс сооружений и специального оборудования, осуществляющего снабжение жидкости кислородом, поддержание ила во взвешенном состоянии и постоянное перемешивание сточной воды с илом. Для большинства типов аэротенков система аэрации обеспечивает одновременное выполнение этих функций. В нашей стране большое распространение получила пневматическая система аэрации.

Удельный расход воздуха  $q_a$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> при такой аэрации определяется:

$$q_a = \frac{q_o(L_n - L_k)}{K_1 K_2 K_T K_3 (C_p - C_o)},$$

где  $q_o$  – удельный расход кислорода воздуха, мг на 1 мг снятой БПК<sub>n</sub>, принимаемый при очистке до БПК<sub>n</sub>=15-20 мг/л – 1,1; при очистке до БПК<sub>n</sub> свыше 20 мг/л – 0,9;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий тип аэратора и принимаемый для мелкопузырчатой аэрации в зависимости от соотношения площадей аэрируемой зоны и аэротенка;  $K_2$  – коэффициент, зависящий от глубины погружения аэраторов;  $K_m^T$  – коэффициент, учитывающий температуру сточных вод, который следует определять по формуле:

$$K_T = 1 + 0,02(T_{cp} - 20),$$

здесь  $T_{cp}$  – среднемесячная температура воды за летний период, °С;  $K_3$  – коэффициент качества воды, принимаемый для городских сточных вод 0,85; для производственных сточных вод – по опытным данным, при их отсутствии допускается принимать  $K_3=0,7$ ;  $C_p$  – растворимость кислорода воздуха в воде, мг/л, определяемая по формуле:

$$C_p = \left(1 + \frac{h_a}{20,6}\right) C_T,$$

здесь  $C_T$  – растворимость кислорода в воде в зависимости от температуры и атмосферного давления, принимаемая по справочным данным;  $h_a$  – глубина погружения аэратора, м;  $C_o$  – средняя концентрация кислорода в аэротенке, мг/л; в первом приближении  $C_o$  допускается принимать 2 мг/л.

Все коэффициенты в уравнении для определения удельного расхода воздуха находятся по СНиП 2.04.03-85.

Продолжительность аэрации в аэротенках-смесителях  $t_{атс}$  и аэротенках-вытеснителях  $t_{атв}$  находят из разных соотношений. Для аэротенков-смесителей:

$$t_{атс} = \frac{L_n - L_k}{a_i(1-S)\rho},$$

где  $S=0,12-0,35$  – зольность ила, находится в зависимости от вида сточных вод;  $\rho$  – удельная скорость окисления, мг БПК<sub>n</sub> на 1 г беззольного вещества ила в 1 ч, определяемая по формуле:

$$\rho = \rho_{max} \frac{L_k C_o}{L_k C_o + K_1 C_o + K_o L_k} \cdot \frac{1}{1 + \alpha a_i},$$

где  $\rho_{max}$  – максимальная скорость окисления, принимаемая от 6 до 1720 мг/(гч), в зависимости от вида сточных вод;  $K_1$  – константа, характеризующая свойства органических загрязняющих веществ, мг БПК<sub>n</sub>/л, и принимаемая от 3 до 200 мг/л;  $K_o$  – константа, ха-

рактирующая влияние кислорода, мг  $O_2/l$ , и принимаемая от 0,6 до 2,4 мг/л;  $\varphi$  – коэффициент ингибирования продуктами распада активного ила, л/г, принимаемый от 0,06 до 2 л/г.

Все вышеприведенные величины находятся по таблицам раздела 6 СНиП 2.04.03-85.

Две последние формулы справедливы при среднегодовой температуре  $T_{cp}=15$  °С; при иной температуре средняя продолжительность аэрации умножается на отношение  $15/T_{cp}$ . Продолжительность аэрации во всех случаях должна быть не менее 2 ч.

Период аэрации в аэротенках-вытеснителях  $t_{атв}$  рассчитывают по формуле:

$$t_{атв} = \frac{1 + \varphi a_i}{\rho_{max} C_o a_i (1 - S)} \left[ (C_o + K_o)(L_p - L_k) + K_l C_o \ln \frac{L_n}{L_k} \right] K_p,$$

где  $K_p$  – коэффициент, учитывающий влияние продольного перемешивания:  $K_p=1,5$  при биологической очистке до  $L_k=15$  мг/л;  $K_p=1,25$  при  $L_k>30$  мг/л;  $L_p$  – БПК<sub>n</sub>, определяемая с учетом разбавления рециркуляционным расходом:

$$L_p = \frac{L_n + L_k R_i}{1 + R_i}.$$

Интенсивность аэрации,  $m^3/(m^2 \cdot ч)$  определяется:

$$I_a = \frac{q_a H_a}{t_{ат}},$$

где  $H_a$  – рабочая глубина аэротенка, м;  $t_{ат}$  – период аэрации, ч.

Полученное значение  $I_a$  сравнивают с  $I_{amin}$  и  $I_{amax}$  (табл.42 и 43 СНиП 2.04.03-85) и если оно выше  $I_{amax}$ , то увеличивают площадь аэрируемой зоны (меняется  $K_1$ ), если менее  $I_{amin}$ , следует увеличить расход воздуха (меняется  $K_2$ ), приняв новое значение  $I_{amin}$ .

## ГЛАВА 5. ОБОРУДОВАНИЕ ГАЗООЧИСТКИ

### 5.1. Очистка газовых выбросов гидромеханическими методами

#### 5.1.1. Классификация пылеуловителей

Аэрозоли воздушных выбросов различных предприятий характеризуются большим разнообразием дисперсного состава и других физико-химических свойств. В связи с этим для очистки выбросов создан большой ассортимент пылеуловителей (ПУ), который в большинстве случаев позволяет провести оптимальный выбор средств очистки соответственно ее задачам. ПУ в зависимости от размеров эффективно улавливаемых частиц и эффективности их улавливания подразделяют на пять классов (табл.5.1.,

ГОСТ 12.2.043-80 «Средства пылеулавливающие. классификация»). Пределы эффективности для каждого класса ПУ соответствуют границам зон классификационных групп пылей по их дисперсности (рис. 27). В случае выбора оборудования необходимо руководствоваться специальными инструкциями, относящимися к конкретным видам оборудования.

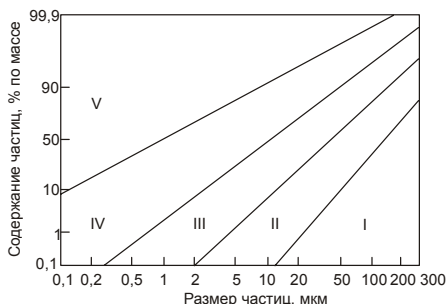


Рис. 27. Классификационная номограмма пылей I – V – зоны классификационных групп пылей по их дисперсности

ПУ применяют для улавливания из воздуха пылей I-IV группы по дисперсности. Пыли V группы в ПУ, как правило, эффективно не улавливаются вследствие их высокой дисперсности (табл. 7).

ПУ 4 и 5 классов применяют, например, для очистки воздуха до допустимых концентраций пыли только при сравнительно небольшой начальной запыленности его. Вследствие этого сухие ПУ 4 и 5 классов следует применять в качестве первой ступени очистки воздуха, например перед мокрыми ПУ более высоких классов для уменьшения количества образующегося шлама или перед сухими ПУ, когда по технологическим соображениям целесообразно отделение крупных фракций.

ПУ 1 класса предназначены для эффективного улавливания пылей IV группы по дисперсности. Верхняя граница дисперсности этой группы пылей соответствует дымам металлургических печей, а также конденсационным туманам кислот и масел. Требования этого класса удовлетворяют высокотурбулентные ПУ типа Вентури, рукавные фильтры некоторых конструкций, а также многопольные электрофильтры.

Улавливание частиц из пылей III группы по дисперсности осуществляется в ПУ типа Вентури 2 класса, а также в многочисленных разновидностях тканевых и электрических ПУ 2 класса при обычном режиме их использования. Из инерционных ПУ требованиям 2 класса могут удовлетворять также струйные ПУ типа ПВМ, «Ротоклон» и т. п.

Частицы пылей II группы по дисперсности улавливаются струйными ПУ 3 класса. Требованиям этого класса удовлетворяют также некоторые разновидности ПУ циклонного типа, смачиваемые водой.

ПУ 4 класса представлены простейшими мокрыми ПУ, высокоэффективными сухими циклонами СН, СКН, УЦ, СИОТ и батарейными циклонами. ПУ 4 класса удовлетворяют достаточно полно пыли II группы дисперсности, а некоторые из них применяют для улавливания пылей 3

группы, хотя эффективность циклонов при улавливании, например, цементной пыли редко превышает 70 %.

К ПУ 5 класса можно отнести циклоны средней эффективности большого диаметра, например. ЦН-24, хорошо приспособленные к большим пылевым нагрузкам, пылесадочные камеры и т. д.

Таблица 7

Классификация пылеуловителей

Класс ПУ по эффективности	Размеры улавливаемых частиц, мкм	Эффективность по массе пыли, %, при классификационной группе пыли по дисперсности				
		I	II	III	IV	V
I	>0,3-0,5	-	-	-	99,9-80	<80
II	>2	-	-	99,9-92	92-45	-
III	>4	-	99,9-99	99-80	-	-
IV	>8	>99,9	99,9-95	-	-	-
V	>20	>99	-	-	-	-

### 5.1.2. Осаждение в гравитационном поле

Осаждение пыли под действием сил тяжести происходит в пылесадочных камерах (ПОК). Скорость газа в ПОК 0,2 - 1,5 м/с. Гидравлическое сопротивление 50 - 300 Па. Применяются для улавливания крупных частиц размером более 50 мкм. Степень очистки не превышает 40-50 %. Достоинства ПОК - простота конструкции, низкая стоимость и энергоёмкость, возможность улавливания абразивной пыли, отсутствие температурных ограничений очищаемых газов. Эффективность улавливания высокодисперсной пыли (менее 6 мкм) близка к нулю. Ввиду низкой эффективности используется для грубой очистки. Кроме того, имеет ограниченное применение из-за трудности удаления уловленной пыли из межполочного пространства.

Простейший тип гравитационного осадителя - ПОК, где частицы дисперсной фазы осаждаются под действием силы тяжести при медленном движении пылегазового потока через объем камеры (рис. 28а).

Для улучшения сепарации горизонтальные камеры снабжают перегородками или колпаками, которые бывают поворотные или наклонные для удобства удаления уловленной пыли (рис. 28б).

Повышение эффективности ПОК достигается уменьшением высоты, с которой частица опускается на дно камеры. Эта идея реализована в многополочной (многосекционной) камере (рис. 28в).

Осаждение частиц в камере подчиняется законам седиментации. Для практических расчетов можно пользоваться формулой:

$$L_k / W_z = H_k / V_s = \tau_{os},$$

где  $L_k$  и  $H_k$  - длина и высота камеры, м;  $V_s$  - скорость осаждения частицы, м/с;  $W_z$  - скорость газа, м/с;  $\tau_{os}$  - время осаждения частицы, с



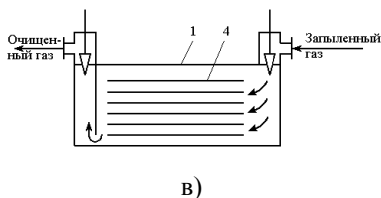
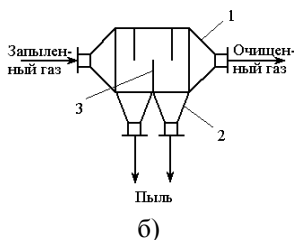
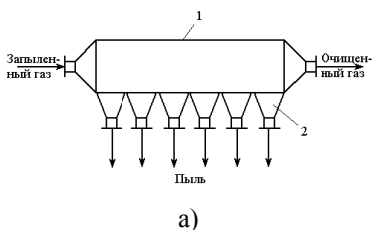


Рис. 28. Пылеосадительные камеры  
 а) простейшая камера; б) камера с перегородками; в) многополочная камера  
 1 – корпус; 2 – бункеры; 3 – перегородка; 4 – полка

Фракционную эффективность пылеосадительных камер определяется отношением  $h/H$ , где  $h$  – путь, который проходит частица за время  $\tau_{ос}$ . Если величина  $h$  больше или равна  $H$ , то все частицы, имеющие скорость осаждения  $V_s$  (и более крупные), улавливаются в камере. Эффективность улавливания частиц данного размера  $\eta$  можно выразить в виде:

$$\eta = h/H = V_s L B / V \varepsilon = V_s L / W \varepsilon H,$$

где  $V_\varepsilon$  – расход газа,  $m^3/c$

### 5.1.3. Осаждение в инерционном поле

При резком изменении направления движения газового потока частицы пыли под действием инерционных сил будут стремиться двигаться в прежнем направлении и в дальнейшем могут быть выделены из этого потока. На этом принципе работает целый ряд пылеуловителей.

Камера с перегородкой (рис. 29а) по эффективности не намного отличается от ПОК, но имеет более высокое гидравлическое сопротивление. Плавный поворот в камере (рис. 29б) позволяет снизить гидравлическое сопротивление. В камере с расширяющимся конусом (рис. 29в) частицы пыли подвергаются дополнительному усилию, что обеспечивает дополнительное ускорение порядка  $g/3$ . Снижается вторичный унос частиц. Скорость газа в свободном сечении камеры 1 м/с, во входной трубе 10 м/с. Частицы размером более 25-30 мкм улавливаются на 65-85 %. Эффективность ПУ с заглубленным бункером (рис. 31 г) в зависимости от скорости газов на входе (5 - 15 м/с) составляет 50 - 80 %.

Принцип внезапного изменения направления газового потока при столкновении с решеткой, состоящей из наклонных пластин, использован в ПУ жалюзийного типа (рис. 30). Широко применяется для предварительной

очистки газов перед циклонами или перед рукавными фильтрами. В нем около 90 % газов частично очищаются от пыли при прохождении через жалюзи, а остальной газовый поток с уловленной пылью отводится на очистку в циклон.

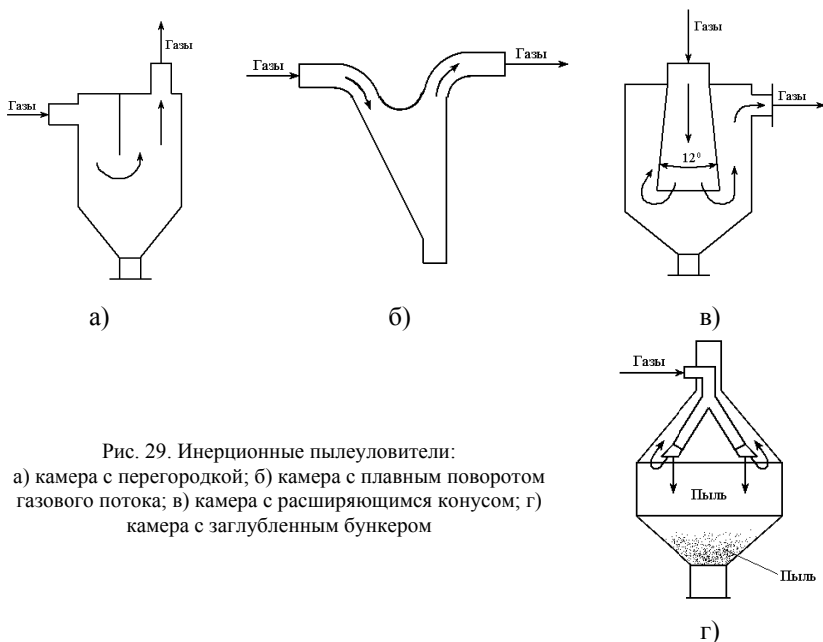


Рис. 29. Инерционные пылеуловители:

- а) камера с перегородкой; б) камера с плавным поворотом газового потока; в) камера с расширяющимся конусом; г) камера с заглубленным бункером

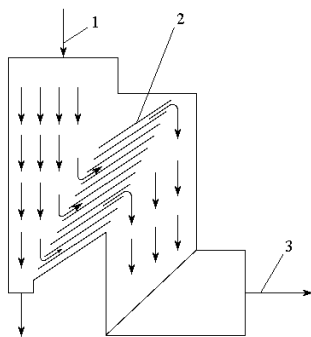


Рис. 30. Жалюзийный пылеуловитель

- 1 – запыленные газы; 2 – жалюзийная решетка; 3 – очищенные газы

Скорость газов 12-15 м/с. Гидравлическое сопротивление решетки 100-500 Па. Применяется для улавливания частиц пыли крупнее 20 мкм. Недостатки: износ пластин решетки при высокой концентрации и возможность образования отложений при охлаждении газов до точки росы.

### 5.1.4. Центробежное осаждение

Этот способ разделения неоднородных пылегазовых смесей более эффективен, чем гравитационное осаждение, поэтому он применяется для отделения более мелких (до 5 мкм) частиц пыли. Соотношение сил (центробежной

$F_c$  и тяжести  $F_T$ ) определяется фактором разделения  $K_p$  :

$$K_p = F_c / F_T = w^2 / rg$$

где  $w$  - линейная скорость, м/с;  $r$  - радиус вращения, м

При аппаратурном оформлении процессов разделения неоднородных систем в центробежном поле применяют два принципа: вращение пылегазового потока в неподвижном аппарате (циклон); движение пылегазового потока во вращающемся роторе (центробежный ротационный пылеуловитель).

В обоих случаях на разделение кроме сил тяжести и центробежных сил значительное влияние оказывают инерционные силы.

Циклонные аппараты наиболее распространены в промышленности. Достоинствами циклонов являются:

- отсутствие движущихся частей в аппарате;
- надежность работы при высоких температурах (до 500°C) и при высоких давлениях;
- возможность улавливания абразивных материалов при защите внутренних поверхностей циклонов специальными покрытиями;
- улавливание пыли в сухом виде;
- почти постоянное гидравлическое сопротивление аппарата;
- простота изготовления;
- сохранение высокой фракционной эффективности при увеличении запыленности газов

Недостатки циклонов:

- высокое гидравлическое сопротивление 1250-1500 Па;
- низкая эффективность улавливания частиц размером менее 5 мкм;
- невозможность использования для улавливания слипающей пыли

Предварительный выбор типа циклона осуществляют в соответствии с оценкой комплекса показателей (экономичности, эффективности и особенностей компоновки) для основных типов циклонов и нормалей НИИО-Газа, а также с учетом заданной производительности по газу.

Обычно существует следующий порядок расчета циклонов:

- а) по производительности выбирают тип циклона, работающего в оптимальных условиях ( при  $\Delta P/\rho=500-750 \text{ м}^2/\text{с}^2$ );
- б) по опытным или промышленным данным определяют гидравлическое сопротивление  $\Delta P$ ;
- в) для расчетного значения  $\Delta P$  строят кривую фракционной эффективности  $\eta=f(d_c)$ ;
- г) на основании распределения частиц по размерам (в исходном газовом потоке) и фракционной эффективности рассчитывают общую эффективность пылеулавливания;
- д) находят распределение частиц по размерам в осажденной пыли;

е) определяют распределение частиц по размерам в пыли, вынесенной из циклона газовым потоком;

ж) сравнивают расчетную эффективность с заданной, и если она не обеспечивается, то подбирают батарейный циклон, состоящий из нескольких циклонов, работающих параллельно, и расчет повторяют.

#### **5.1.4.1. Схема движения газа в циклоне**

Запыленный газ вводится тангенциально в верхнюю часть аппарата, где формируется вращающийся поток, опускающийся вдоль внутренних стенок цилиндрической и конической частей корпуса. В силу значительно-го центробежного ускорения газового потока, на несколько порядков превышающего силу тяжести, частицы выносятся из потока и оседают на стенках, а затем подхватываются вторичным потоком и попадают в бункер. В центральной зоне вращающийся воздушный поток, освобожденный от частиц пыли за счет сил инерции, движется снизу вверх и выходит через коаксиально расположенный выхлопной патрубок. На основное течение накладываются специфические циркуляционные течения, аэродинамические силы искривляют траектории частиц.

Существуют различные варианты конструктивного оформления элементов циклонов (корпусов аппаратов, входных и выхлопных труб и патрубков).

#### **5.1.4.2. Циклоны различных конструкций**

В промышленной практике широко применяются циклоны НИИО-Газ, которые принято разделять на высокопроизводительные и высокоэф-фективные.

К аппаратам первого типа относятся цилиндрические циклоны НИИОГАЗ марки ЦН типа ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24 (рис. 32а).

Особенностью аппаратов этой группы является удлиненность цилиндрической части, угол наклона входного патрубка соответственно  $11^\circ$ ,  $15^\circ$  и  $24^\circ$  и одинаковое отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона, равное 0,59. Диаметр циклонов не превышает 2000 мм, отличается небольшим гидравлическим сопротивлением, высокой производительностью.

К аппаратам второго типа относятся конические циклоны НИИОГАЗ марки С типа СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34 и СК-ЦН-22 (рис. 32б). Они отличаются длинной конической частью, спиральным входным патрубком и малым отношением диаметров выхлопной трубы к корпусу циклона. Диаметр циклона не превышает 3000 мм, потери давления выше, чем в цилиндрических.

Степень очистки в циклонах зависит от дисперсности частиц улавливаемой пыли (рис. 31). Как видно из графика, в циклонах марки С наибо-

лее эффективное улавливание пыли обеспечивается при крупности частиц более 8 мкм (1У класс), а в циклонах серии ЦН - размером более 20 мкм, причем эффективность последних падает по мере увеличения угла входа газового патрубка в аппарат.

Циклоны СИОТ (Свердловский института охраны труда) отличаются высокой эффективностью. Они совсем не имеют цилиндрической части, их выхлопная труба вводится в конус.

Особенностью также является треугольное сечение входного патрубка (рис. 32в). Рекомендуемая скорость входа воздуха 15-18 м/с.

Особенностью циклонов ВЦНИИИОТ является то, что к цилиндрической части примыкает расширяющаяся (рис. 34г). Это ослабляет влияние вторичных циркуляционных течений и уменьшает износ корпуса, в некоторых случаях предотвращает "зависание" слипающейся пыли. Кроме того, в нижнем сечении циклона имеется конусное днище в виде отбортованной вверх воронки с отверстием по оси, что способствует отделению периферийных слоев течения для пропуска их в бункер.

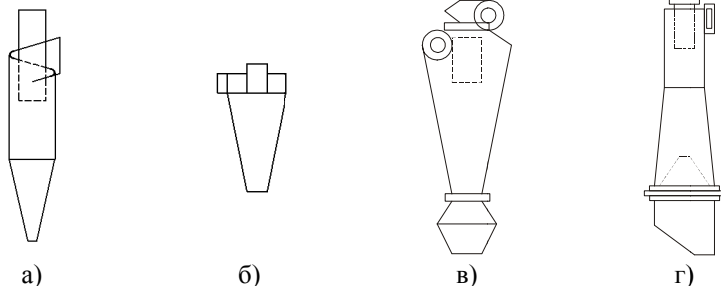


Рис. 32. Основные типы циклонов

а) цилиндрический циклон НИИОГАЗ; б) конический циклон НИИОГАЗ; в) циклон СИОТ; г) циклон ВЦНИИИОТ

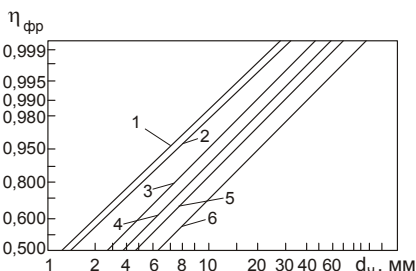


Рис. 31. Зависимость фракционной эффективности пылеулавливания  $\eta_{фр}$  циклонов НИИОГАЗ от диаметра частиц  $d_{ч}$   
1, 2 – циклоны типа ЦС; 3 – 6 – циклоны типа ЦН

### 5.1.4.3. Групповые и батарейные циклоны

При создании систем пылеочистки применительно к большим или меняющимся расходам газовых потоков возникает проблема повышения единичных мощностей циклонной аппаратуры. С увеличением габаритных размеров циклонов, с одной стороны, падает эффективность пылеулавли-

вания, а с другой - возрастает строительная высота установки. Эту проблему можно решить групповой или батарейной компоновкой циклонов.

При больших расходах очищаемых газов применяют групповую компоновку циклонов. Это позволяет не увеличивать диаметр циклона, что положительно сказывается на эффективности очистки. Запыленный газ входит через общий коллектор, а затем распределяется между циклонными элементами (рис. 33а). Коэффициент гидравлического сопротивления группы циклонов  $\xi_{г.ц.}$ :

$$\xi_{г.ц.} = \xi_{ц} + K_2,$$

где  $\xi_{ц}$  - коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона;  $K_2$  - коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления при компоновке.

Батарейные циклоны - объединение большого числа малых циклонов (мультициклонов) диаметром 150-250 мм в группу (рис. 33б). Снижение диаметра циклонного элемента преследует цель увеличения эффективности очистки. В мультициклоне батарея циклонных элементов размещена в общем корпусе, имеющем общий коллектор для подвода и отвода газов и общий бункер для сбора пыли. Ось циклонных элементов может располагаться вертикально или наклонно. Для закручивания газового потока применяют элементы с направляющими аппаратами типа "винт" или "розетка".

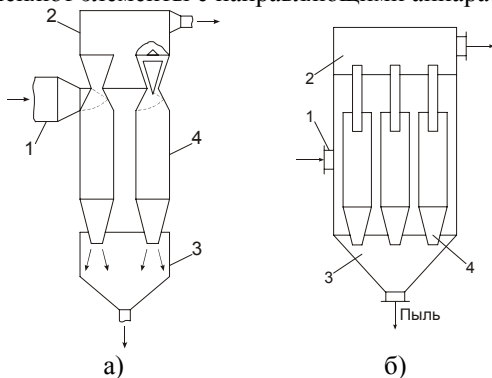


Рис. 33. Конструкции циклонов  
а) групповой; б) батарейный  
1 - входной патрубок; 2 - камера  
обеспыленных газов; 3 - бункер;  
4 - циклонный элемент

#### 5.1.4.4. Вихревые пылеуловители

К аппаратам центробежного действия относятся также вихревые пылеуловители (ВПУ), которые отличаются от циклона наличием вспомогательного закручивающего газового потока.

Достоинствами ВПУ являются:

- более высокая эффективность улавливания высокодисперсной пыли;
- отсутствие абразивного износа внутренних поверхностей аппарата;
- возможность очистки газов с более высокой температурой за счет использования вторичного холодного воздуха;

возможность регулирования процесса сепарации пыли за счет изменения количества вторичного газа.

Недостатки ВПУ:

необходимость дополнительного дутьевого устройства;

повышение общего количества газа, проходящего через аппарат; сложность ратурного оформления.

В аппарате соплового типа (рис. 34) запыленный газовый поток движется вверх, подвергаясь при этом воздействию струй вторичного воздуха, вытекающего из осециально расположенных сопел. Под действием центробежных сил частицы сходят к периферии, а оттуда в возбуждаемый струями спиральный поток вторичного газа, направляющий их вниз, в кольцевое межтрубное пространство. Последнее оснащено подпорной шайбой, обеспечивающей безвозвратный спуск пыли в бункер. В качестве вторичного воздуха в ВПУ может вестись свежий атмосферный воздух, часть очищенного газа или запыленные газы. Оптимальный расход вторичного газа составляет 30-35 % от первичного.

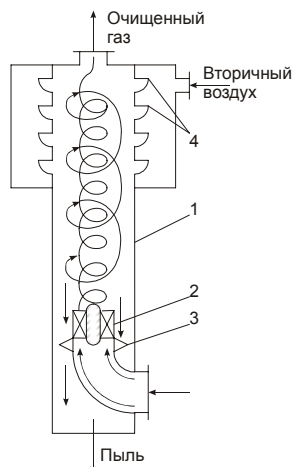


Рис. 34. Вихревой пылеуловитель

1 – камера; 2 – лопастной завихритель; 3 – подпорная шайба; 4 – сопла

#### 5.1.4.5. Динамические пылеуловители

К центробежным пылеуловителям относятся динамические (ротационные) пылеуловители. В этих аппаратах очистка газа от пыли осуществляется за счет центробежных сил и сил Кориолиса, возникающих при вращении рабочего колеса. Динамические ПУ помимо осаждения частиц пыли из газового потока выполняют роль тягодутьевого устройства.

В зависимости от места подвода запыленного газового потока динамические ПУ можно разбить на группы.

В аппаратах типа ЦРП (центробежные ротационные ПУ) улавливаемые частицы перемещаются в направлении, обратном движению газов. Очищаемые газы всасываются через отверстия, расположенные на боковой поверхности вращающегося барабана (рис. 35). В пограничном слое частота вращения пылегазового потока достигает окружной частоты вращения барабана. Благодаря этому частицы пыли выделяются из газового потока в радиальном направлении.

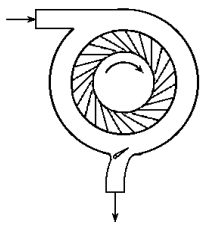


Рис. 35. Центробежный ротационный пылеуловитель

Наибольшее распространение из мических пылеуловителей получил дымосос-пылеуловитель (ДП), который чаще всего комплектуется в паре с циклоном. ДП няется для очистки дымовых газов малых котельных, в литейных производствах для очистки аспирационных выбросов и на асфальто-бетонных заводах для очистки газов сушильных барабанов.

Преимущества динамических пылеуловителей по сравнению с другими центробежными аппаратами заключается в компактности, сокращении металлоемкости, совмещении в одном устройстве дымососа и сепаратора.

Недостатками является опасность абразивного износа лопаток дымососа, возможность образования отложений на лопатках, сложность в изготовлении.

### 5.1.5. Фильтрация аэрозолей

В основе работы пористых фильтров всех видов лежит процесс фильтрации газа через пористые перегородки - фильтрующую среду, в ходе которого твердые или жидкие частицы, взвешенные в газе, задерживаются в ней, и газ полностью проходит сквозь нее.

Применяемые в технике газоочистки фильтровальные перегородки могут быть разделены на следующие типы:

гибкие пористые перегородки - тканевые материалы из природных, синтетических или минеральных волокон, нетканые волокнистые материалы (войлок, картон), пористые листовые материалы (губчатая резина, пенополиуретан, мембранные фильтры);

полужесткие пористые перегородки - слои волокон, стружка, вязаные сетки, расположенные на опорных устройствах или зажатые между ними;

жесткие пористые перегородки - зернистые материалы (пористая керамика или пластмасса, спеченные или спрессованные порошки металлов), волокнистые материалы (слои из стеклянных или металлических волокон); металлические сетки и перфорированные листы;

зернистые слои - слои из кокса, гравия, кварцевого песка.

Современные фильтры в зависимости от назначения и величин входной и выходной концентраций улавливаемой дисперсной фазы условно делятся на следующие классы:

промышленные (тканевые, зернистые, грубоволокнистые) фильтры применяются для очистки промышленных газов в основном с высокой концентрацией дисперсной фазы (до  $60 \text{ г/м}^3$ ). Для периодического или не-



прерывного удаления накапливающейся в фильтрующей перегородке пыли фильтры этого класса имеют устройства для регенерации, позволяющие поддерживать производительность на заданном уровне и возвращать ценные продукты в производство, фильтры этого класса нередко являются составной частью технологического оборудования;

фильтры для очистки атмосферного воздуха (воздушные фильтры) используются в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Они рассчитаны на работу при концентрации пыли менее  $50 \text{ мг/м}^3$  часто при высокой скорости фильтрации (2,5-3м/с). Фильтры этого класса бывают нерегенерируемые, а также периодически или непрерывно регенерируемые;

фильтры тонкой очистки (высокоэффективные или абсолютные фильтры) предназначены для улавливания с очень высокой эффективностью (выше 99 %) в основном субмикронных частиц из промышленных газов и воздуха при низкой входной концентрации (менее  $1 \text{ мг/м}^3$ ) и малой скорости фильтрации (менее 10 см/с). Такие фильтры применяют для улавливания особо токсичных частиц, а также для ультратонкой очистки воздуха при проведении некоторых технологических процессов или в особо чистых помещениях, в которых воздух служит рабочей средой, обычно эти фильтры не подвергают регенерации.

#### **5.1.5.1. Тканевые фильтры**

С целью увеличения фильтрующей поверхности в единице объема ПУ ткани обычно придают форму мешков круглого, овального и др. сечения различных размеров. Наиболее распространены ПУ, в которых ткань используется в виде цилиндрических мешков - рукавов. Такие ПУ называют рукавными фильтрами.

Ткани, используемые в качестве фильтровальных перегородок, должны удовлетворять следующим требованиям:

высокая пылеемкость при фильтрации и способность удерживать после регенерации такое количество пыли, которое достаточно для обеспечения высокой эффективности очистки от тонкодисперсных частиц;

сохранение оптимально высокой воздухопроницаемости в равновесно запыленном состоянии;

высокая механическая прочность и стойкость к истиранию при изгибах;

стабильность размеров и свойств при повышенной температуре и агрессивном воздействии среды;

способность к легкому удалению накопленной пыли;

низкая стоимость

Тканевые фильтры делятся на каркасные и мягкие. У первых ткань жестко связана с металлическим каркасом, которому придается различная

форма. У вторых каркас тоже имеется, но он служит не для жесткой натяжки ткани, а для ограничения ее подвижности при фильтрации или регенерации; для рукавного фильтра каркас служит для предохранения рукава от потери цилиндрической формы.

Рукавные фильтры по способу ввода очищаемого воздуха в рукав подразделяют на противоточные (с вводом воздуха снизу через бункер) и прямоточные (с вводом воздуха сверху).

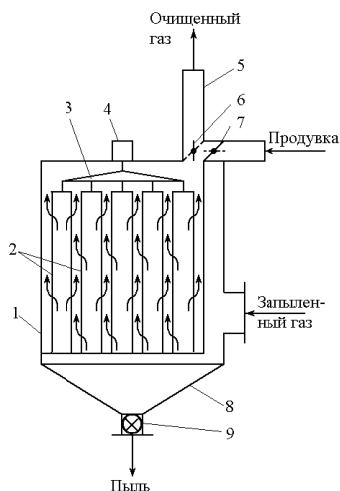


Рис. 36. Схема рукавного фильтра  
1 – корпус; 2 – рукава; 3 – рама; 4 – встряхивающий механизм; 5 – коллектор очищенного газа; 6, 7 – клапаны; 8 – бункер; 9 – шнек

В рукавном противоточном фильтре (рис. 36) корпус 1 разделен вертикальными перегородками 2 из фильтровальной ткани. Верхние концы рукавов закрыты и подвешены к раме 3, соединенной со встряхивающим механизмом 4, установленным на крышке фильтрационной камеры. Нижние концы рукавов закреплены замками на патрубках распределительной решетки. На крышке корпуса находится коллектор очищенного газа 5 и клапаны 6 (для вывода очищенного газа) и 7 (для подвода воздуха для обратной продувки). На крышке корпуса размещается распределительный механизм, с помощью которого отдельные секции фильтра через определенные промежутки времени автоматически отключаются для очистки ткани от накопившейся пыли. Бункер 8 для сбора пыли разделен вертикальными перегородками и снабжен шнеком 9 для выгрузки пыли.

Скорость фильтрования газа через фильтровальную перегородку сравнительно невелика - от 0,007 до 0,08 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с при условии непрерывной регенерации ткани.

Число рукавов велико и устанавливаются они плотно. Диаметр рукавов 135-350 мм, однако известны конструкции, в которых они достигают 600 мм. Длина рукавов обычно 2400-3500 мм, а в некоторых ПУ превышает 10м.

Для уменьшения износа нижней части рукавов их диаметр должен быть тем больше, чем они длиннее. Максимальное отношение длины рукава к диаметру равно 50:1.

Прямоточные рукавные фильтры распространены менее, чем противоточные. В этих фильтрах воздух водится в верхнюю часть корпуса и по

подводящим коллекторам поступает в верхний открытый торец рукава, нижний конец которого сообщается с пылесборным бункером. Фильтруясь через стенки рукавов, воздух оставляет на их поверхности мелкую пыль, крупная пыль свободно падает в бункер, в меньшей степени загружая ткань рукавов, чем это происходит в противоточных фильтрах. Это отличие проточных фильтров является немаловажным: скорость вертикального потока в нижнем сечении противоточных рукавов составляет более 1 м/с, вследствие чего занесенные туда крупные частицы не имеют возможности выпасть в бункер и витают до тех пор, пока не осядут на ткани, увеличивая сопротивление фильтра.

Важную роль играет способ, интенсивность регенерации ткани, их соответствие свойствам ткани, а также свойствам и начальной концентрации улавливаемой пыли. Регенерация увязывается также с газовой нагрузкой на ткань. Совокупность параметров, действующих в ходе тканевой фильтрации, результируется в остаточной запыленности.

Для тканевых фильтров характерно следующее явление: при начале фильтрации газа через совершенно чистую ткань в первые мгновения наблюдается "проскок" наиболее тонких частиц. Он прекращается, как только на ткани осядет некоторое количество частиц, резко повышающих задерживающую способность ткани. Регенерация должна быть такой, чтобы этот дополнительный фильтрующий слой не разрушался - иначе проскок будет иметь место после каждого периода регенерации, и общая остаточная запыленность возрастает.

Существуют различные способы регенерации рукавных фильтров.

Обратная продувка применима для пылей, которые легко сбрасываются с ткани. Может производиться как воздухом, так и очищенным от пыли газом. Объем продувочного воздуха 7-10 % от объема очищаемого газа.

Импульсная регенерация осуществляется периодической подачей внутрь каждого рукава импульсов сжатого воздуха (при условии, что в период фильтрации газ движется снаружи внутрь рукава, т.е. слой осажденной пыли формируется на наружной стороне рукава). Импульс производит двойное действие: продувает рукав и резко встряхивает его.

Регенерация механическим встряхиванием часто применяется в сочетании с обратной продувкой, но во многих случаях применяется самостоятельно.

При струйной продувке продувочный воздух подается на ткань из кольцевой трубки-каретки, медленно движущейся вдоль рукава. Позволяет регенерировать толстую и плотную ткань любой фактуры, повысить скорость фильтрации до 4-4,5 м/мин, остаточная запыленность может быть снижена до 1,0-5,0 мг/м<sup>3</sup>. Недостаток - сложная кинематика механизма перемещения каретки.

### 5.1.5.2. Расчет рукавных фильтров

Расчет рукавных фильтров сводится к определению общей поверхности фильтрации  $F$  ( $\text{м}^2$ ) и числа фильтров или числа секций:

$$F = F_{\text{раб.}} + F_{\text{рег.}} = (V + V_{\text{пр}}) / q_{\text{ф}} + F_{\text{рег.}}$$

где  $F_{\text{раб.}}$  - поверхность фильтрации в одновременно работающих секциях,  $\text{м}^2$ ;  $F_{\text{рег.}}$  - поверхность фильтрации в регенерируемой секции,  $\text{м}^2$ ;  $V$  - объемный расход очищаемых газов с учетом подсоса воздуха в фильтр,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $V_{\text{пр.}}$  - объемный расход продувочного воздуха,  $\text{м}^3/\text{мин}$ ;  $q_{\text{ф}}$  - допустимая удельная газовая нагрузка,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$ .

Число необходимых фильтров или секций  $n$ :

$$n = F / F_1,$$

где  $F_1$  - фильтрующая поверхность всех рукавов, установленных в одном фильтре или секции.

Величина подсоса воздуха для всасывающих фильтров составляет 10 % от количества газов, поступающих на очистку.

$$V_{\text{пр}} / V = 1,3 - 2.$$

Периоды работы фильтра между регенерацией встряхиванием или продувкой ориентировочно можно определить в зависимости от входной запыленности:

Входная запыленность, $\text{г}/\text{м}^3$	5	10	20
Периоды между регенерацией, мин	10-12	8-9	4-7

### 5.1.5.3. Фильтры тонкой очистки

В связи с развитием таких отраслей промышленности, как атомная энергетика, радиоэлектроника, точное приборостроение, промышленная микробиология и пр. разработаны волокнистые фильтры и материалы, способные обеспечить тонкую очистку больших объемов газа и воздуха от твердых частиц всех размеров, включая субмикронные. Это вызвано необходимостью очистки радиоактивных или других высокотоксичных аэрозолей, а также обеспечения ряда технологических процессов в рабочих помещениях совершенно свободным от обычной атмосферной пыли воздухом.

Для улавливания высокодисперсных аэрозолей с эффективностью не менее 99 % по наиболее проникающим частицам (размером 0,05-0,5  $\mu\text{м}$ ) широко применяются фильтрующие материалы в виде тонких листов или объемных слоев из тонких или ультратонких волокон (диаметром менее 2  $\mu\text{м}$ ). Скорость фильтрации в них 0,01-0,15  $\text{м}/\text{с}$ , сопротивление чистых фильтров 200-300 Па, а забитых пылью 700-1500 Па. Улавливание частиц происходит в основном за счет броуновской диффузии и эффекта касания, поэтому очень важно для их изготовления использовать волокна диаметром 0,1-1  $\mu\text{м}$ .

Регенерация отработанных фильтров тонкой очистки как правило нерентабельна или невозможна. После работы в течение 0,5-3 лет они подлежат замене. Входная концентрация пыли не должна превышать 0,5  $\text{мг}/\text{м}^3$ ; при увеличении концентрации срок службы фильтров сокращается.

Как правило, перед фильтрами тонкой очистки устанавливаются более простые по конструкции пылеулавливающие аппараты для снижения концентрации до  $0,5 \text{ мг/ м}^3$ .

В качестве тонковолокнистых сред широкое распространение получили фильтрующие материалы типа ФП (фильтры Петрянова) из полимерных смол. Они представляют собой слои синтетических волокон диаметром 1-2,5 мкм, нанесенные в процессе получения на марлевую подложку из скрепленных между собой более толстых волокон. В качестве полимеров для ФП чаще всего используются перхлорвинил (ФПП) и диацетатцеллюлоза (ФПА). Материалы ФП характеризуются высокими фильтрующими свойствами. Малая толщина слоев ФП (0,2-1 мм) дает возможность получать поверхность фильтрации до  $100-150 \text{ м}^2$  в расчете на  $1 \text{ м}^3$  аппарата.

Оптимальная конструкция фильтров тонкой очистки должна отвечать следующим основным требованиям:

- наибольшей поверхностью фильтрации при наименьших габаритах;
- минимальному сопротивлению;
- возможности более удобной и быстрой компоновки;
- герметичности групповой сборки отдельных элементов.

Этим требованиям в наибольшей степени соответствуют рамочные фильтры. Фильтрующий материал в виде ленты укладывается между П-образными рамками, чередующиеся при сборке пакета открытыми и закрытыми сторонами. Между соседними слоями материала устанавливаются гофрированные разделители, чтобы не допустить примыкания их друг к другу. Рамки, разделители, боковые стенки корпуса могут быть из различного материала: фанеры, винипласта, алюминия, нержавеющей стали. Загрязненные газы поступают в одну из открытых сторон фильтра, проходят через материал и выходят с противоположной стороны.

Кроме фильтров с прямыми рамками-разделителями выпускаются фильтры марки Д-КЛ, представляющие собой набор цельноштампованных гофрированных рамок-разделителей из винипластовой пленки, имеющих форму клиньев. Такая форма рамок позволяет увеличить фильтрующую поверхность в единице объема аппарата более чем на 25 %.

#### **5.1.5.4. Зернистые фильтры**

При наличии влажных газов или слипающихся пылей использование для очистки газов тканевых фильтров нецелесообразно из-за возможного заливания рукавов.

В таких ситуациях в качестве альтернативного варианта аппаратурного оформления процесса пылегазоочистки можно выбрать зернистые фильтры. Оптимальные области применения этих ПУ - высокотемпературная очистка газов без предварительного охлаждения с

утилизацией тепла и сухая комплексная очистка от пыли и газообразных примесей с насыпным слоем адсорбента или катализатора.

Преимущества таких фильтров состоят в невысокой стоимости и доступности материалов, возможности работы с высокотемпературными и агрессивными средами при значительных механических нагрузках и перепадах давления.

Недостатки аппаратов: периодичность действия, громоздкость, небольшая производительность и несовершенство некоторых узлов, например устройств регенерации фильтрующего слоя.

Зернистые фильтры делятся на две группы: насыпные и жесткие пористые.

В насыпных (насадочных) фильтрах фильтрующий слой состоит из элементов (гранул, кусков), не связанных друг с другом. Это фильтры с неподвижным насыпным зернистым слоем, с подвижным слоем при гравитационном перемещении сыпучей среды, а также с псевдооживленным слоем фильтрующего материала.

В жестких пористых фильтрах зерна прочно связаны между собой в результате спекания, прессования или склеивания и образуют прочную неподвижную систему. К ним относится пористая керамика, пористые металлы, пористые пластмассы. Регенерацию проводят продуванием воздуха в обратном направлении, пропусканием горячего пара, простукиванием или вибрацией трубной решетки с элементами.

### **5.1.5.5. Мокрые фильтры - туманоуловители**

Принцип действия волокнистых и сеточных фильтров-туманоуловителей (ТУ) основан на захвате жидких частиц волокнами при пропускании туманов через волокнистый слой с непрерывным выводом из него уловленной жидкости.

Отличительной особенностью фильтров-ТУ является коалесценция уловленных жидких частиц при контакте с поверхностью волокон и образование на них пленки жидкости, удаляющейся по мере накопления из слоя в виде струек или крупных капель, перемещающихся внутри слоя и с тыльной стороны под действием силы тяжести, увлечения газовым потоком или капиллярных сил. При этом обычно не требуется никаких механических воздействий на фильтрующие слои, т.е. фильтры работают с постоянным сопротивлением в стационарном режиме саморегенерации (самоочистения).

Существенный недостаток фильтров-ТУ - возможность зарастания при наличии в тумане значительного количества твердых частиц и при образовании в слое нерастворимых солевых отложений за счет взаимодействия солей жесткости воды с кислыми газами.

В соответствие с основным механизмом осаждения частиц фильтры-ТУ разделяют на низкоскоростные (скорость менее 0,2 м/с), работающие в

режиме осаждения частиц за счет диффузии и касания и использующие тонкие волокна, и высокоскоростные, т.е. инерционные фильтры на основе грубых волокон и объемных сеток.

Применять тонковолокнистые фильтры с диаметром волокон менее 5 мкм для очистки промышленных туманов нерационально вследствие высокого гидравлического сопротивления, низкой скорости вывода жидкости, быстрого зарастания твердыми примесями и низкой эффективности из-за вторичной генерации тумана. Как установлено, оптимальными составами являются смеси волокон с определенным соотношением грубых и тонких. Грубые упругие волокна обеспечивают равномерное распределение более тонких, увеличивают скорость вывода жидкости из слоя, придают слою механическую прочность и стабильность, обеспечивая возможность работы более тонким волокнам по всей глубине слоя.

Одна из конструкций низкоскоростного фильтрующего элемента (рис. 37) состоит из двух соосно расположенных цилиндрических сеток из проволоки диаметром 3,2 мм, приваренных к дну и входному патрубку-фланцу. Пространство между сетками заполнено волокном, дно элемента оборудовано трубкой, погруженной в стакан - гидрозатвор, из которого жидкость перетекает в корпус. В одном корпусе может монтироваться от 1 до 50-70 элементов.

С повышением скорости фильтрации габариты волокнистых фильтров-ТУ уменьшаются, снижается и стоимость аппаратов. При этом определяющим механизмом осаждения частиц становится инерционный, эффективность проявления которого резко растет с увеличением скорости фильтрации.

Высокоскоростные ТУ фирмы Monsanto типа Н-V и S-C выполнены в виде плоских элементов, в которых волокно уложено между решетками.

В установках большой производительности они смонтированы в многогранном опорном каркасе, снизу которого расположено поддон конической формы для уловленной жидкости. Фильтры типа Н-V предназначены для очистки грубодисперсных туманов, а типа S-C - только для сепарации брызг. Рекомендуемые скорости фильтрации составляют 120-150 м/мин при эффективности улавливания 98 - 99% для частиц размером менее 3 мкм при гидравлическом сопротивлении 1500-2000 Па.

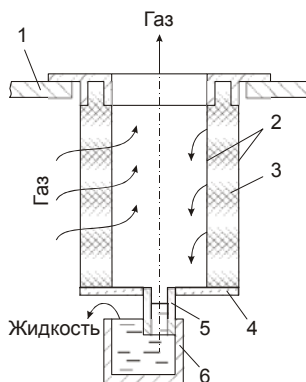


Рис. 37. Цилиндрический фильтрующий элемент  
1 – опорная перегородка; 2 – сетки; 3 – стекловолокнистый слой; 4 – дно; 5 – трубка гидрозатвора; 6 – стакан

Для фильтрующих слоев наиболее пригодны иглопробивные нетканые полотна (войлоки), например, из полипропилена. Эти войлоки успешно применяют для улавливания туманов разбавленных и концентрированных кислот и крепких щелочей. Разработано несколько типов конструкций фильтров, оснащаемых полипропиленовыми и лавсановыми иглопробивными материалами. Самоочищающийся сернокислотный ТУ представляет собой цилиндрический фильтрующий элемент, установленным в слой уловленной кислоты. Фильтрующий элемент представляет собой перфорированный или решетчатый барабан с глухой крышкой. Соосно с ним установлен брызгоулавливающий элемент большего диаметра. На решетчатом барабане крепится пакет из винилпластовых сеток или складчатый грубоволокнистый войлок толщиной 3-5 мм.

Для улавливания жидких частиц размером более 5 мкм используются сеточные брызгоуловители. Они состоят из пакетов вязаных металлических сеток их проволоки диаметром 0,2-0,3 мм, которые при высокой нагрузке и большой скорости потока устойчиво сохраняют форму и размеры ячеек. Материалом для сеток служат легированные стали, сплавы коррозионностойких металлов, фторопластовое моноволокно. Сетки гофрируют, (высота гофр 3-10 мм) и с целью получения максимальной пористости слоя укладывают в пакеты толщиной 50-300 мм.

Для аппаратов диаметром менее 2 м сетки свертывают в цилиндрические элементы (насадка Гудлое). Для аппаратов большого диаметра пакеты изготавливают стандартных размеров и форм для монтажа через люки.

### 5.1.6. Электрофильтры

Электрофильтры (ЭФ) - устройства, в которых очистка газов от взвешенных в них твердых или жидких частиц происходит под действием электрических сил. Для этого частицам сообщается электрический заряд. В результате действия электрического поля на заряженные частицы они выводятся из очищаемого газового потока и осаждаются на осадительных электродах. Зарядка частиц в ЭФ происходит в поле коронного заряда.

Электрическая очистка газов имеет следующие основные особенности:

ЭФ можно сконструировать на любую степень очистки (до 99,9 %) и на широкий диапазон производительности (от нескольких м<sup>3</sup>/час до нескольких млн. м<sup>3</sup>/ч);

ЭФ обладают наименьшим гидравлическим сопротивлением из всего известного оборудования для очистки газов;

ЭФ конструируют для работы как при атмосферном, так и при давлениях выше и ниже атмосферного;

концентрация взвешенных частиц в очищаемых газах может колебаться в широком диапазоне - от долей г/м<sup>3</sup> до сотен г/м<sup>3</sup>; температура га-



зов может достигать более 500°С; очистка газов может быть как сухой, так и мокрой;

ЭФ улавливают частицы размером от 100 до 0,01 мкм;

ЭФ могут выполняться из материалов, стойких к кислотам, щелочам и другим агрессивным веществам;

процесс очистки газов в ЭФ можно полностью автоматизировать;

расход электроэнергии на очистку газов обычно меньше, чем при применении газоочистных аппаратов других типов.

Установку для электроочистки газа включают обычно электрофильтр и преобразовательную подстанцию с соответствующей аппаратурой.

Конструкцию электрофильтра конкретного назначения в основном определяют технологические условия его работы: состав и свойства очищаемых газов и содержащихся в газах взвешенных частиц, температура, давление и влажность очищаемых газов, требуемая степень очистки и др.

Электрофильтры классифицируют по способу удаления осажденных частиц (сухие и мокрые); по числу полей или секций, из которых состоит активная зона ЭФ (одно- и многопольные или одно и многосекционные); по направлению хода газа в активной зоне (горизонтальные и вертикальные); по типу электродной системы (пластинчатые и трубчатые осадительные электроды).

Наиболее распространенный тип сухих ЭФ - многопольный горизонтальный ЭФ. При наличии нескольких последовательных полей улучшаются условия улавливания благодаря возможности дифференцировать электрический режим и режим встряхивания электродов по полям.

Вертикальные электрофильтры в большинстве своем - однопольные, что значительно ограничивает их применение для сухого пылеулавливания из-за относительно низкой эффективности. Вместе с тем вертикальные однопольные ЭФ широко используют как мокрые аппараты. Вертикальные многопольные аппараты применяют редко из-за конструктивной сложности.

Значительное влияние на конструкцию и условия работы ЭФ оказывает тип используемых в них осадительных электродов. Пластинчатые электроды используют в горизонтальных и вертикальных ЭФ, а трубчатые - только в вертикальных. ЭФ с трубчатой электродной системой обеспечивают лучшие, по сравнению с пластинчатой, условия улавливания частиц благодаря лучшим характеристикам электрического поля, а также благодаря отсутствию пассивных зон. Однако обеспечить хорошее встряхивание трубчатых электродов сложно и поэтому их редко применяют в сухих ЭФ; в мокрых ЭФ они находят широкое применение.

Следовательно, можно выделить три основных конструктивных типа электрофильтра: горизонтальный пластинчатый, вертикальный пластинча-

тый, вертикальный трубчатый; каждый из этих типов может быть использован как мокрый или сухой аппарат.

Основными элементами ЭФ являются:

узлы подвода, распределения и отвода очищаемых газов;

корпус, а иногда каркас, где размещаются системы коронирующих и осадительных электродов;

электроды коронирующие и осадительные;

устройства для удаления уловленного продукта с электродов;

устройства для вывода уловленного продукта из аппарата;

изоляционные коробки – узлы ввода в ЭФ тока высокого напряжения

Равномерное распределение газов между параллельно работающими ЭФ или секциями, а также по сечению каждого ЭФ - обязательное условие их эффективной работы. Скорость газа в подводящих газопроводах во избежании осаждения в них пыли не должна быть менее 20 м/с. Входные и выходные участки газопроводов выполняют по возможности прямыми с плавными переходами. На входе в ЭФ устанавливают специальные газораспределительные устройства, на выходе - чаще всего делают плавный переход (конфузор) от сечения ЭФ к сечению газопровода или дымовой трубы.

В корпусе ЭФ размещаются осадительные и коронирующие электроды и собирается улавливаемый продукт. При использовании трубчатых осадительных электродов корпус иногда выполняют из двух частей: нижней - входной коробки с бункерами и верхней - выходной коробки; трубчатые осадительные электроды в этом случае расположены открыто между коробками.

Для удаления осевшей пыли с электродов в мокрых ЭФ используют брызгала и форсунки, с помощью которых промывается поверхность электродов. В сухих ЭФ для удаления с электродов уловленного продукта применяют различные механизмы встряхивания: ударно-молотковый, пружинно-кулачковый, магнитно-импульсный, вибрационный.

Для вывода уловленного продукта из аппарата в сухих ЭФ применяют шиберные и дисковые затворы, мигалки, цепные транспортеры. В мокрых ЭФ жидкость выводится обычно без подсоса воздуха (при разряжении) или без пропуска газа наружу (при избыточном давлении) с помощью гидрозатворов, рассчитанных на разность давлений внутри и снаружи ЭФ.

Коронирующие электроды по принципу действия можно разделить на две группы:

электроды не имеют фиксированных разрядных точек и при отрицательной короне точки разряда располагаются вдоль электрода на разном расстоянии друг от друга, коронирующие элементы выполняют круглого или более сложного сечения;

электроды с фиксированными точками разряда по их длине, у них источниками разряда являются острия или шипы, расположенные на определенном расстоянии друг от друга. Изменяя расстояния между иглами или длину иглы, можно управлять коронным разрядом, поэтому электроды этого типа называют электродами с управляемым коронным разрядом. Типичным представителем электродов этой группы является обычная колючая проволока.

Коронирующие электроды первой группы применяются в трубчатых и пластинчатых ЭФ, а второй - только в пластинчатых. Коронирующие электроды размещают строго по осям трубчатых осадительных электродов. Коронирующие электроды подвешивают верхними концами к раме, расположенной над осадительными электродами и изолированной от корпуса ЭФ; к нижним концам электродов прикрепляют натяжные грузы. В нижней части их связывают рамой, расположенной под осадительными электродами. Коронирующие электроды пластинчатых ЭФ размещают в плоской раме между осадительными электродами.

Осадительные электроды трубчатых ЭФ выполняют из труб круглого, квадратного или шестиугольного сечения диаметром 200-300 мм длиной 3-5 м. Осадительные электроды мокрых пластинчатых ЭФ представляют собой гладкие пластины. Осадительные электроды сухих пластинчатых ЭФ делятся на гладкие, коробчатые и желобчатые.

Гладкие электроды изготовляют в виде пластин из листового материала, вставленных в рамки в виде сеток, полос или прутков. Применяются при скорости газов не более 0,8-1 м/с, при больших скоростях наблюдается вторичный унос уловленной пыли.

Коробчатые электроды имеют внутреннюю полость для транспорта удаляемой с электродов пыли. Выполняются в виде коробки, наружные стенки которой, обращенные к коронирующим электродам, снабжены отверстиями различной конфигурации. Допустимая скорость газов - до 1,5 м/с. Наиболее широко из электродов этого типа в горизонтальных ЭФ применяется перфорированный электрод с круглыми отверстиями и карманный электрод с выштампованными навстречу газовому потоку под углом 40° карманами (рис. 38а, б).

Стремление исключить вторичный унос пыли даже при значительной скорости газового потока привело к созданию электродов желобчатого типа. Они представляют собой желоба сложного профиля (U, C, Z, W-образные), установленные в жесткой раме наклонно под углом около 7° к

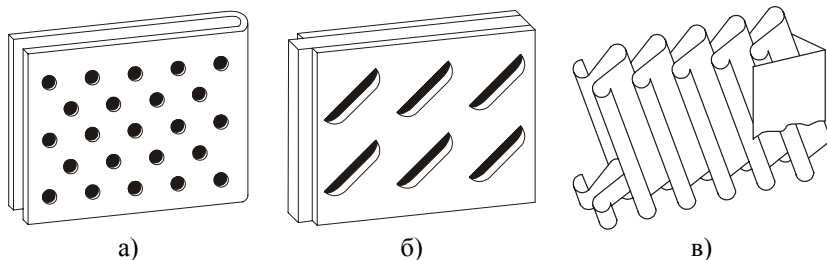


Рис. 38. Пластинчатые осадительные электроды сложного профиля  
а) перфорированные; б) карманные; в) желобчатые

вертикали таким образом, что их отогнутые края образуют наклонные желоба, по которым осаждающаяся пыль ссыпается в бункер ЭФ (рис. 38в).

Теоретическую степень очистки газов  $\eta$  в ЭФ определяют по формулам:

$$\text{для трубчатого ЭФ } \eta = 100(1 - e)^{-2W_g L / W_r R}$$

$$\text{для пластинчатого ЭФ } \eta = 100(1 - e)^{-W_g L / W_r h}$$

где  $W_g$  - скорость движения частиц к осадительным электродам (скорость дрейфа частиц), м/с;  $W_r$  - скорость газа в активном сечении ЭФ, м/с;  $L$  - активная длина ЭФ, т.е. протяженность электрического поля в направлении хода газов, м;  $R$  - радиус трубчатого ЭФ, м;  $h$  - расстояние между коронирующими электродами и пластинчатым осадительным электродом, м.

В пределах применимости формулы Стокса  $W_g$  рассчитывается:

$$\text{для частиц } d > 1 \text{ мкм } W_g = 0,118 * 10^{-10} E^2 d / 2\mu$$

$$d < 1 \text{ мкм } W_g = 0,17 * 10^{-11} E C_k / \mu$$

где  $E$  - напряженность электрического поля в ЭФ, В/м;  $d$  - диаметр частицы, м;  $\mu$  - вязкость газа, Па\*с;  $C_k$  - поправка Кенингема - Милликена,

$$C_k = 1 + 2 A \lambda / d,$$

где  $A$  - коэффициент, равный 0,815 - 1,63;  $\lambda$  - длина свободного пробега молекул газа, м;  $\lambda = 10^{-7}$ .

### 5.1.7. Аппараты «мокрой» очистки газов

В основе «мокрого» пылеулавливания лежит контакт запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама.

Мокрые пылеуловители имеют следующие преимущества перед другими ПУ:

сравнительно небольшая стоимость изготовления;

высокая эффективность;

возможность использования при высокой температуре и повышенной влажности газов, а также в случае опасности самовозгорания или взрыва очищаемых газов или улавливаемой пыли;

возможность одновременной очистки газов от взвешенных частиц, извлечение газообразных примесей (абсорбция) и охлаждение газов (контактный теплообмен)

Недостатки мокрых ПУ:

существенный брызгоунос, что приводит к необходимости включать в схему очистки каплеотделители;

улавливаемый продукт выделяется в виде шлама, что связано с необходимостью обработки сточных вод и, следовательно, с удорожанием процесса очистки;

в случае очистки агрессивных газов аппаратуру и коммуникации необходимо изготавливать из антикоррозионных материалов или применять покрытия.

В целях уменьшения количества отработанной жидкости применяют замкнутую систему орошения.

Наиболее принятая классификация мокрых ПУ основывается на их способе действия и включает:

- полые газопромыватели;
- насадочные скрубберы;
- скрубберы с подвижной насадкой;
- центробежные скрубберы;
- тарельчатые газопромыватели (барботажные и пенные);
- скоростные газопромыватели;
- скрубберы ударно-инерционного действия

### 5.1.7.1. Полые газопромыватели

В полых скрубберах запыленные газы проходят через завесу распыленной жидкости. При этом частицы пыли захватываются каплями жидкости и осаждаются, а очищаемые газы удаляются из аппарата.

К аппаратам этого типа относятся участки газопроводов, орошаемые жидкостью; промывные камеры. Наибольшее применение имеет полый форсуночный скруббер с противоточным движением фаз. Используется в основном для предварительной очистки газов и подготовки их к дальнейшей очистке. Представляет собой колонну круглого или прямоугольного сечения, в которой жидкость распыливается форсунками под давлением  $P_{ж}=300-400$  кПа. Высота цилиндрической части  $H=2,5 D$ . Скорость газа  $w_{г}=0,6-1,5$  м/с. Удельный расход жидкости  $m=10$  л/куб.м. При улавливании частиц пыли с диаметром более 10 мкм эффективность очистки составляет 90-92 %. Гидравлическое сопротивление в отсутствии каплеуловителя и газораспределительной решетки не превышает 250 Па.

Расчет полового газопромывателя заключается в следующем:

1) определение площади сечения скруббера, м:

$$S = V_{г} / w_{г},$$

где  $w_{г}$  - скорость газа в свободном сечении, м/с, при  $w_{г} > 1$  м/с наблюдается интенсивный брызгоунос, необходим каплеуловитель.

$$H = 2,5 D$$

2) удельный расход жидкости  $m$  выбирается в пределах от 0,5 до 8 л/м<sup>3</sup> (при больших концентрациях пыли на входе (10-12 г / куб.м)  $m = 6-8$  л/м<sup>3</sup>). Общий расход жидкости  $V_{ж} = m V_{г}$

3) для противоточного скруббера эффективность очистки  $\eta$ :

$$\eta = 1 - \exp[-3 V_{\text{жс}} \eta_3 (w_{\Gamma} + V_k) H / 2 V_r d_k],$$

где  $\eta$ , - эффективность захвата каплями частиц определенного диаметра,  $\eta_3 = Stk / (Stk + 0,35)$ ;  $V_k$  - скорость осаждения капли, м/с,  $V_k = f(d_k)$ ;  $H$  - высота скруббера с поперечным орошением, м;  $d_k$  - диаметр капли.

### 5.1.7.2. Насадочные скрубберы

Насадочные скрубберы применяют при улавливании тумана, хорошо растворимой пыли, а также при совместном протекании процессов ПУ, охлаждения газов и абсорбции.

В противоточных скрубберах скорость газов  $w_{\Gamma} = 1,5 - 2,0$  м/с, а расход орошаемой жидкости  $m = 1,3-2,6$  л/куб.м, гидравлическое сопротивление  $\Delta P = 300-850$  Па.

В зарубежной практике используются насадочные скрубберы с поперечной подачей жидкости. Считается, что в таком аппарате потребляется на 40 % меньше промывочной воды и более низкое гидравлическое сопротивление. Для обеспечения полного смачивания насадки она наклонена на  $7-10^{\circ}$  к направлению газового потока.

При выводе зависимости для расчета эффективности ПУ в насадочном скруббере было принято ряд допущений:

- запыленный газовый поток, двигаясь через слой насадки по каналу шириной  $b$ , описывает в каждом ее ряду полукруг;
- ширина канала между элементами насадки  $b = jd$ , где  $j$  - коэффициент пропорциональности;
- по высоте слоя насадки  $H$  с размером элемента  $d_n$  газовый поток совершает  $n = H / (d_n + b)$  таких поворотов;
- скорость газового потока в канале:

$$V_0 = w_{\Gamma} / (S_0 - q_{\text{жс}}),$$

где  $q_{\text{жс}}$  - количество удерживаемой жидкости, приходящейся на единицу поверхности насадки,  $\text{м}^3/\text{м}^2$ ;

$$q_{\text{жс}} = a \delta_{\text{пл}}$$

где  $S_0$  - свободный объем насадки;  $a$  - удельная поверхность насадки;  $\delta_{\text{пл}}$  - толщина пленки жидкости

- осаждение частиц пыли на поверхности насадки происходит за счет центробежной силы, возникающей при огибании ее газовым потоком;
- газовый поток при прохождении слоя насадки полностью перемещивается

С учетом вышеизложенного

$$\eta = 1 - \exp [-\pi H Stk / ((j+j^2) (S_0 - q_{\text{жс}}) d_n)]$$

Зависимость коэффициента пропорциональности  $j$  от размера насадки  $d_n$  приведена в табл. 8.

Таблица 8

	$d_n, \text{мм}$	$J$
Кольца Рашига, седла Берля	12,7	0,192

Шарики, седла «Инталокс»	25,4	0,190
	38,0	0,165
Кокс	76-127	0,030

### 5.1.7.3. Скрубберы с подвижной насадкой

В скрубберах с подвижной насадкой устранен основной недостаток насадочных скрубберов - забивание пылью насадки.

В корпусе аппарата 1 (рис. 39) между нижней опорно-распределительной тарелкой 2 и верхней ограничительной тарелкой 3 помещается слой полых или сплошных шаров, колец и тел другой формы 4 из полимерных материалов, стекла или пористой резины. Для обеспечения свободного перемещения насадки в газожидкостной смеси  $\rho_{ш}$  не должна превышать  $\rho_{ж}$  ( $\rho_{ш} < \rho_{ж}$ ).

Предельно-допустимую скорость газов в аппарате  $W_{Г}$  (м/с), отнесенную к полному сечению аппарата, рассчитывают по формуле:

$$W_{Г} = 2,9 S_o^{0,4} (\sqrt{W_{ж}}/V_{Г})^{-0,15}$$

где  $S_o$  - свободное сечение опорной тарелки,  $м^2/м^2$ .

Рекомендуется применять скорость газов 5-6 м/с, а удельное орошение 0,5-0,7 л/м<sup>3</sup>. Доля свободного сечения опорной тарелки  $S_o = 0,4 м^2 / м^2$  при ширине щелей 4 – 6мм. При очистке газов, содержащих смолистые вещества, а также пыль, склонную к образованию отложений, применяют щелевые тарелки с большей долей свободного сечения (0,5-0,6  $м^2/м^2$ ). Свободное сечение ограничительной тарелки 0,8-0,9  $м^2/м^2$ .

При выборе диаметра шаров необходимо соблюдать соотношение  $D/d_{ш} > 10$ . Оптимальным являются шары  $d_{ш} = 20-40$  мм и плотностью 200 - 300 кг/м<sup>3</sup>.

Минимальная статическая высота слоя насадки  $H_{ст}$  составляет 5-8 диаметров шара, а максимальная определяется из соотношения  $H_{ст}/D < 1$ .

Высота секции (расстояние между тарелками)

$$H_{секц} = H_{дин} + H_{сеп}$$

где  $H_{дин}$  - динамическая высота слоя псевдоожиженной шаровой насадки;  $H_{сеп}$  - высота сепарационной зоны

$$H_{дин} = 0,118 W_{ж}^{0,3} H_{ст}^{0,6} (W_{Г} / S_o)^{0,93}$$

где  $W_{ж}$  - массовая нагрузка по жидкости;

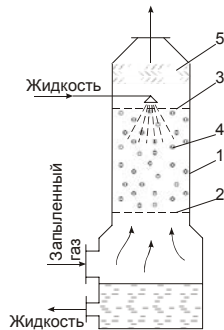


Рис. 39. Пылеуловитель с псевдоожиженной насадкой  
1 – корпус; 2, 3 – опорная и ограничительная тарелки; 4 – шары; 5 – каплеуловитель

$$H_{cen} = (0,1-0,2) H_{out}; \Delta P = 700 - 1200 \text{ Па}$$

#### 5.1.7.4. Центробежные мокрые пылеуловители

Пылеуловители данного типа являются наиболее многочисленной группой тельных аппаратов самого различного назначения.

В циклоне с водяной пленкой (ЦВП) внутренняя стенка корпуса орошается водой, подаваемой из коллектора через сопла, которые установлены под углом  $30^\circ$  вниз касательно к внутренней поверхности корпуса по направлению вращения запыленного потока газа для предотвращения брызгоуноса. В нижней конической части корпуса находится гидрозатвор. ПУ типа ЦВП нормализованы в расчете на производительность от 1000 до 20000 м<sup>3</sup>/ч. Расход воды при диаметре аппарата 1000 мм равен 0,05 л/м<sup>3</sup>.

Гидравлическое сопротивление аппаратов 400-2000 Па.

Аналогичен по принципу действия скоростной промыватель СИОТ, рассчитанный для обработки больших расходов запыленных газов (до 280000 м<sup>3</sup>/ч). Гидравлическое сопротивление и расход воды близки с соответствующим параметрам аппаратов типа ЦВП.

Конструкции центробежных ПУ отличаются стабильностью работы в широком диапазоне производительности по газу и расходов воды на орошение при минимальном брызгоуносе. Изменение нагрузки по газу на 30 % не оказывает существенного влияния на эффективность пылеулавливания.

#### 5.1.7.5. Тарельчатые газопромыватели

В пенных аппаратах запыленный поток газа проходит через слой жидкости со скоростью 2-3-м/с (превышающей скорость свободного всплывания пузырьков при барботаже), в результате чего создаются условия для образования слоя высокотурбулизированной пены.

Пенные аппараты изготовляют двух типов: с провальными решетками (рис. 40) и с переливной решеткой.

В аппаратах с провальными решетками вся жидкость, необходимая для образования пены, поступает из оросительного устройства 4 на решетку 3, проваливается через отверстия на нижнюю решетку и затем выходит снизу из аппарата. Конструкция аппарата с переливной решеткой отличается

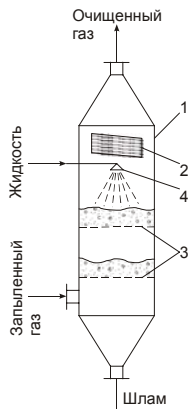


Рис. 40. Пенный аппарат с провальными решетками  
1 – корпус; 2 – каплеуловитель; 3 – решетки; 4 – оросительное устройство



ся тем, что орошающая решетку жидкость поступает в аппарат из коробки через порог, а через решетку проваливается только частично. Остальная жидкость проходит над решеткой в виде пены. На нижних решетках процесс повторяется. Отработанная жидкость в виде шлама стекает с нижней решетки и выводится из аппарата. Для предупреждения прорыва воздуха по переливным трубам на их нижнем конце устанавливают гидравлический затвор.

В пенных аппаратах с провальными решетками скорость газа ограничена и не должна превышать 2 м/с. В аппаратах с переливными решетками допустимы большие колебания нагрузок по газу и жидкости и расходуется примерно в 3 раза меньше жидкости. Однако решетки провального типа меньше забиваются пылью.

Дальнейшее совершенствование конструкции привело к установлению на провальной решетке стабилизатора пенного слоя, который представляет собой сотовую решетку из вертикально расположенных пластин. Применение стабилизатора позволяет работать при скорости газа до 3,5 м/с, при этом резко снижается удельный расход жидкости.

В пенных аппаратах с переливными решетками для уменьшения опасности инкрустирования осадком отверстий решетки газ увлажняется до  $\varphi = 70-100\%$ . С этой целью в газовом потоке на входе в аппарат распыляют орошающую жидкость каплями размером 15-20 мкм.

Вариант дальнейшего развития пенных аппаратов представляют собой циклонно-пенные аппараты (ЦПА). Эти аппараты рекомендуется применять для пылеулавливания частиц со скоростью витания около 0,007 м/с, а также для охлаждения и нагрева газов, для абсорбции и десорбции хорошо растворимых паров и газов.

Эффективность пылеулавливания в ЦПА зависит от скорости газа и высоты пенного слоя. Промышленные испытания ЦПА показали их пригодность для пылеулавливания в достаточно широком диапазоне размеров фракций пыли. Производительность ЦПА изменяется в пределах до 30000 куб.м / ч, гидравлическое сопротивление - до 1000 Па. Габариты ЦПА примерно вдвое меньше по сравнению с циклонами с водяной пленкой и пенными аппаратами той же производительности.

#### **5.1.7.6. Скоростные газопромыватели**

Широкое применение имеют скрубберы Вентури, высокая эффективность которых позволяет обеспечить очистку газа практически до любой концентрации улавливаемой пыли. Эта конструкция отличается простотой изготовления, монтажа и небольшими габаритами по сравнению с другими мокрыми ПУ. Минимальное гидравлическое сопротивление трубы Вентури обеспечивается при следующих ее геометрических соотношениях: угол сужения конфузора  $\alpha_k = 25-28^\circ$ ; угол раскрытия диффузора  $\alpha_d = 6 -$

20°; длина горловины  $L_r = 0,15 d_r$ . Скорость газа в горловине трубы Вентури  $V_r = 30-200$  м/с; удельное орошение  $m=(0,1 - 6) 10^{-3}$  м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> газа. Частицы размером более 10 мкм извлекаются из газа практически полностью.

В зависимости от величины гидравлического сопротивления  $\Delta P$  различают низконапорные скрубберы Вентури ( $\Delta P < 5$  кПа) и высоконапорные ( $\Delta P = 5-25$  кПа). Аппараты первого типа рекомендуют применять для улавливания пыли с диаметром частиц более 3 мкм.

По способу подачи жидкости в конфузор (или перед ним) скрубберы Вентури классифицируют следующим образом:

- с центральным форсуночным подводом жидкости в конфузор;
- с периферийным орошением (в конфузоре или горловине);
- с пленочным орошением;
- с подводом жидкости за счет энергии газа.

Для работы при переменных расходах газа для обеспечения постоянства скорости газа необходимо регулировать сечение горловины, либо возвращать часть газа в трубу.

Для подачи воды в трубы круглого сечения применяют форсунки различных систем. Для труб с щелевым сечением используют разработанные НИИОГазом плоскофакельные форсунки, действующие под давлением 0,4-0,7 МПа. Средний размер капель жидкости при распылении с помощью форсунок изменяется в пределах от 200 до 600 мкм и возрастает с увеличением диаметра форсунок и вязкости жидкости, а уменьшается при росте скорости жидкости.

Выбор конструкции скруббера Вентури проводят при учете следующих исходных характеристик процесса улавливания: объемного расхода запыленного газа, его температуры, влагосодержания, давления, плотности или состава, вязкости, концентрации и состава улавливаемой пыли, а также требуемой степени очистки.

К скоростным газопромывателям можно отнести эжекторные скрубберы. В них вся энергия, затрачиваемая на очистку газов, подводится к орошающей жидкости, которая подается в трубу-распылитель через расположенную в конфузоре форсунку под давлением 600-1200 кПа, увлекая за собой очищаемый газовый поток. Скорость газового потока в сечении камеры от 10 до 12 м/с, а длина камеры смешения равна примерно трем ее диаметрам. Удельный расход жидкости  $m= 7-10$  л / м<sup>3</sup>.

Гидравлическое сопротивление аппарата  $\Delta P_{an}$  складывается из  $\Delta P$  трубы Вентури ( $\Delta P_p$ ) и  $\Delta P$  каплеуловителя ( $\Delta P_{ку}$ )

$$\Delta P_{an} = \Delta P_p + \Delta P_{ку}$$

$$\Delta P_p = \Delta P_z + \Delta P_{жс}$$

где  $\Delta P_z$  - сопротивление, обусловленное движением газа (без подачи орошения);  $\Delta P_{жс}$  - обусловлено вводом орошающей жидкости

$$\Delta P_2 = \zeta_{\text{сух}} V_r \rho_r / 2,$$

где  $V_r$  - скорость газа в горловине;  $\zeta_{\text{сух}}$  - коэффициент гидравлического сопротивления трубы Вентури без ввода орошающей жидкости.

Для труб с круглой и прямоугольной горловиной длиной  $L=0,15 d_3$ ,  $\zeta_{\text{сух}}=0,12-0,15$ ,

для труб Вентури с  $0,15 d_3 < L < 10 d_3$ ,

$$\zeta_{\text{сух}} = 0,165 + 0,034 L_r / d_3 - (0,06 + 0,028 L_r / d_3) M,$$

где  $M = V_r / V_{3B}$  - число Маха ( $V_{3B}$  - скорость звука)

$$\Delta P_{\text{ж}} = \zeta_{\text{ж}} V_r^2 \rho_{\text{ж}} m / 2,$$

где  $\zeta_{\text{ж}}$  - коэффициент гидравлического сопротивления орошаемой трубы Вентури;  $m$  - удельный расход орошающей жидкости,  $\text{м}^3 / \text{м}^3$

$$\zeta_{\text{ж}} = A \zeta_{\text{сух}} [(V_{\text{жс}} / V_r) (\rho_r / \rho_{\text{жс}})]^{1+B}$$

где  $A, B$  - эмпирические коэффициенты;  $V_{\text{жс}}$  и  $V_r$  - массовые скорости жидкости и газов

### 5.1.7.7. Скрубберы ударно-инерционного действия

К скрубберам ударно-инерционного действия (УИД) относится большая группа мокрых ПУ, в которых контакт газов с жидкостью осуществляется за счет удара газового потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием газо-жидкостной взвеси через отверстия различной

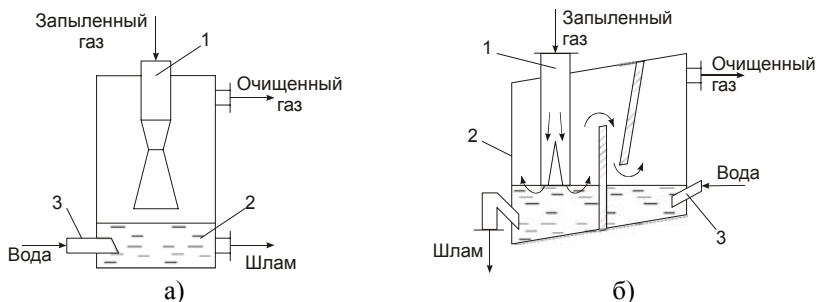


Рис. 41. Скрубберы ударно-инерционного действия

а) пылеуловитель УИД; б) скруббер Дойля

1 – вход газа; 2 – резервуар с жидкостью; 3 – сопло

конфигурации. В результате такого взаимодействия образуются капли диаметром 300-400 мкм. Особенностью аппаратов УИД является полное отсутствие средств перемещения жидкости и поэтому вся энергия, необходимая для создания поверхности контакта, подводится через газовый поток.

Наибольшее распространение из аппаратов данного типа получили пылеуловитель УИД (рис. 41а), скруббер Дойля (рис. 41б).

### 5.1.7.8. Подвод орошающей жидкости в мокрые пылеуловители

Способ подачи жидкости в мокрые ПУ в значительной степени влияет на распределение энергии, затрачиваемой на осуществление про-

цесса улавливания. В аппарате, где главная роль в энергетических затратах принадлежит орошающей жидкости (полюе форсуночные скрубберы, эжекторные аппараты) применяются энергоемкие средства орошения - форсунки высокого давления. В аппаратах, где затраты энергии, подводимые к жидкости, играют второстепенную роль (скрубберы Вентури) используются низконапорные форсунки. В тех аппаратах, где практически вся энергия подводится к газовому потоку (насадочные скрубберы, тарельчатые колонны) и требуется равномерное орошение всего сечения аппарата, применяются оросители различных конструкций.

В отличие от форсунок, назначение оросителей - не создание тонкого распыла жидкости, а лишь равномерное распределение ее по сечению аппарата.

По режиму истечения жидкости оросительные устройства (ОУ) делятся на разбрызгивающие (перфорированные стаканы, щелевые брызгалки) и на струйные неразбрызгивающие (плиты, желоба и др.). Орошение сечения аппарата может быть точечным, зональным и сплошным. При точечном орошении струйными неразбрызгивающими ОУ потоки нераздробленной жидкости равномерно распределяются по всему сечению аппарата. Такой вид орошения целесообразен при ограниченном расходе жидкости и при недопустимости брызгоуноса. Разбрызгивающие оросители позволяют обеспечить зональное или сплошное орошение. При зональном орошении жидкость распределяется не так равномерно, как при точечном, но обеспечивается лучшая смачиваемость. Это особенно важно для насадочных скрубберов; кроме того, при этом способе орошения значительно уменьшается зарастание насадки пылью. Недостатками является большой расход орошающей жидкости и перекрытие смежных зон орошения, т.е. значительная неравномерность плотности орошения по сечению.

## **5.2. Аппаратурное оформление абсорбционных процессов очистки газов**

### **5.2.1. Классификация абсорбционных аппаратов**

Абсорбционная очистка газовых выбросов промышленных предприятий применяется как для извлечения ценных компонентов из газового потока и возврата их снова в технологический процесс для повторного использования, так и для удаления из газового потока токсичных веществ с целью санитарной очистки газов. Обычно рационально использовать абсорбционную очистку тогда, когда концентрация целевого компонента в газовом потоке выше 1 % об.

При абсорбции определяющей характеристикой является межфазная поверхность, от состояния которой зависит скорость переноса целевого компонента из газовой фазы в жидкую. Поэтому интенсификация абсорб-

ционных процессов проводится по пути создания аппаратов с наиболее развитой поверхностью контакта фаз, способных работать при высоких скоростях газового потока. Можно выделить следующие направления, по которым ведутся эти разработки:

- создание аппаратов с контактными элементами, работающими в условиях повышенных нагрузок взаимодействующих фаз;
- разработка аппаратов с контактными элементами, эффективно работающими в широком диапазоне изменения расходов фаз;
- создание аппаратов с контактными элементами, обладающими малым гидравлическим сопротивлением

По общепринятой классификации абсорберы подразделяются на поверхностные, барботажные и распыливающие.

### **5.2.2. Поверхностные абсорберы**

Применяются для поглощения хорошо растворимых газов. В традиционных видах поверхностных абсорберов газ проходит над поверхностью неподвижной или движущейся жидкости. Так как поверхность соприкосновения в таких абсорберах мала, то устанавливают несколько последовательно соединенных аппаратов, в которых газ и жидкость движутся противотоком друг к другу.

Разновидностью поверхностных абсорберов является пластинчатый абсорбер, состоящий из двух систем каналов: по каналам большого сечения движутся противотоком газ и абсорбент, по каналам меньшего сечения - охлаждающий агент.

Среди поверхностных абсорберов привлекают внимание и получают широкое применение пленочные абсорберы. Конструктивной особенностью пленочных контактных устройств с фиксированной поверхностью контакта фаз являются каналы круглого, прямоугольного, треугольного и других сечений, по внутренней поверхности которых движется тонкая жидкостная пленка, взаимодействуя с газовым потоком. Взаимодействие фаз на контактной ступени может быть как прямоточным, так и противоточным. Обычно используют принцип прямоточного взаимодействия на каждой ступени с обеспечением противотока в аппарате в целом.

С целью интенсификации процесса абсорбции и улучшения сепарации фаз в каналах круглого сечения устанавливают завихрители. Дополнительное вращательное движение, сообщаемое двухфазному потоку, увеличивает эффективность массопереноса в 1,5-2 раза и позволяет использовать возникающую центробежную силу для разделения фаз после выхода из контактной зоны, в которой жидкость под действием этой силы образует на внутренней поверхности канала винтообразно движущуюся вверх пленку. Это явилось стимулом для использования закрученного движения фаз в зоне контакта при разработке высокоскоростных абсорбционных аппара-

тов. Расчеты показывают, что аппарат диаметром 2,4 м с прямоточными тарелками с завихрителем может заменить аппарат с колпачковыми тарелками диаметром 5 м при равной производительности.

Завихрители могут выполняться:

с осевыми лопастями, состоящими из нескольких радиально расположенных пластин, установленных под углом к горизонтали и образующих каналы для прохода газовой фазы;

с винтовыми лопастями (в виде шнека), установленными в контактных элементах трубчатого типа;

с тангенциальными лопастями, выполненными в виде ряда вертикальных пластин, расположенных по окружности под углом друг к другу;

с тангенциальными каналами, направляющими газовую фазу по касательной к стенке контактного элемента

Разделение фаз в контактных ступенях осуществляется в два этапа: отделение жидкости от газа в поле центробежных сил, возникающих при вращении газожидкостного потока; отделение жидкости из газового потока за счет гравитационных или инерционных сил.

К поверхностным абсорберам относят также широко распространенные насадочные колонны. К основным элементам насадочных колонн относятся: насадка, устройства для орошения и распределения жидкости, опорные колосники и другие устройства, поддерживающие слой насадки.

По способу расположения насадки по высоте аппарата колонны подразделяются на полностью насаженные, разделенные на секции и частично насаженные.

Полностью насаженные колонны с насадкой, загружаемой навалом, имеют обычно высоту слоя насадки не более 6-8 диаметров, что обусловлено как тенденцией жидкости растекаться к периферии, так и значительным возрастанием веса и распорных усилий, действующих на обечайку колонны с ростом высоты насадки.

Когда требуется высота слоя более (6-8) $D$ , насадку в аппарате располагают отдельными секциями. После каждого слоя жидкость собирают и с помощью распределительных устройств равномерно орошают нижний слой насадки. Общая высота колонны с насадкой, разделенной на секции, может достигать 30-40 м.

Колонны, частично загруженные, имеют над слоем насадки значительное свободное пространство, в котором жидкость реагирует с газом в распыленном состоянии. Уменьшение высоты насадки приводит к снижению гидравлического сопротивления колонны.

К насадке предъявляются следующие основные требования:

большая поверхность в единице объема, механическая прочность, нечувствительность к загрязнениям и осадкам, малое гидравлическое сопротивление, простота изготовления и низкая стоимость.

Различают насадки насыпные - из отдельных элементов , и хордовые - из полос, пластин и решеток.

К насыпным насадкам относятся кольца Рашига, кольца Палля, седловинная насадка. Элементы насадки изготовляют из керамики, фарфора или тонколистового металла. К насадкам из крупных элементов следует отнести хордовую, которую набирают из деревянных, пластмассовых или керамических брусьев, а также насадку из сеток и гофрированных листов. За последнее время освоены плоскопараллельные и сотовые насадки, состоящие из вертикально установленных пластин или сотовых элементов.

Насыпную насадку укладывают на опорную решетку (колосник). Решетка должна иметь минимальное гидравлическое сопротивление и обладать достаточной механической прочностью, чтобы выдерживать вес насадки и удерживаемой ею жидкости. Размер в свету между колосниками решетки должен быть не более 0,6-0,7 от наименьшего размера насадочного элемента. Решетки больших аппаратов выполняются из нескольких секций, которые укладывают на опорные балки. Колосниковые решетки малых размеров делают цельносварными.

Недостатки насадочных колонн:

сравнительно небольшая скорость газового (парового) потока, отнесенная к свободному сечению аппарата (0,5-1,0 м/с) в зависимости от свойств орошающей жидкости;

большие габариты аппарата, являющиеся следствием первого недостатка;

неравномерность смачивания насадки;

в связи с большим весом загружаемой в аппарат насадки на фундамент действуют значительные нагрузки.

В зависимости от скорости газового потока при одном и том же орошении насадочные колонны могут работать в пленочном режиме, режиме подвисяния и эмульгирования. Последний режим соответствует максимальной эффективности насадочных колонн. Однако поддержание этого режима представляет большие трудности в связи с тем, что режим неустойчив и при незначительном увеличении скорости газового потока наступает «захлебывание» аппарата, а затем и унос жидкости из аппарата.

### **5.2.3. Барботажные абсорберы**

Конструкции барботажных (тарельчатых) абсорберов весьма разнообразны.

В результате взаимодействия фаз (жидкость является сплошной фазой, а газ - дисперсной) на тарелках образуется газожидкостный слой, состоящий из относительно чистой жидкости и вспененной. Полная высота слоя на тарелке и ее составляющие зависят от конструктивного оформле-

ния тарелки, от соотношения материальных потоков и физико-химических свойств системы.

К тарелкам предъявляются следующие требования: высокий КПД, низкое гидравлическое сопротивление, устойчивость работы при значительном колебании нагрузок по пару и жидкости, простота конструкции, удобство эксплуатации, малый вес, нечувствительность к осадкам и отложениям.

Среди барботажных контактных устройств особое место занимают ситчатые, колпачковые и клапанные тарелки.

Колпачковые тарелки сложны и металлоемки по сравнению с тарелками других типов и некоторые их показатели уступают более совершенным типам тарелок, однако они хорошо освоены в промышленности и находят широкое применение. Колпачки изготавливают обычно круглыми, реже туннельными.

Колпачки распределяют на тарелках по вершинам равносторонних треугольников или в шахматном порядке. Расстояние между краями колпачков принимают 40-60 мм. Если это расстояние велико, то образуется слой невспененной жидкости и ухудшается контакт между фазами. При очень малом расстоянии возрастает гидравлическое сопротивление и тарелка начинает «захлебываться». Большое значение имеет также выбор зазора между колпачками и краем тарелки. Благодаря расположению сливного и подающего патрубков на противоположных краях тарелки жидкость проходит через зону барботажа всех колпачков, что обеспечивает хороший контакт между жидкостью и газом.

Переливное устройство обеспечивает переток жидкости с тарелки на тарелку по высоте аппарата. Переток может осуществляться при наличии или отсутствии приемного кармана в переливном устройстве (рис. 42а, б). Переливные устройства без приемного кармана позволяют увеличить рабочую площадь тарелки и, следовательно, повысить производительность колонны.

В тех случаях, когда диапазон работы переливного устройства лимитирует работу тарелки в целом, целесообразно устанавливать регулирующие переливные устройства, например, с кольцевыми щелями (рис. 42в), поочередно вступающими в работу, или с поворотными заслонками (рис. 44г), регулирующими проходное сечение переливного устройства.

Ситчатая тарелка представляет собой лист с пробитыми в ней круглыми или щелевидными отверстиями шириной 3-10 мм. Скорость пара в отверстиях 10-12 м/с. Разновидностью ситчатых тарелок являются провальные тарелки, в которых отсутствуют переливные патрубки. Отверстия в них несколько шире ситчатых. Интересна волнистая решетчатая тарелка. Волны придают ей жесткость и позволяют применять ее при больших диаметрах аппарата. Тарелки этих типов просты и эффективны, недостатками



является необходимость регулирования заданного режима и чувствительность к осадкам. Недостатки провальных тарелок - сравнительно узкий диапазон работы в отношении нагрузок по газу.

Интенсификация процесса абсорбции в аппаратах с провальными тарелками в последнее время проводится по пути создания тарелок с упорядоченным перетоком жидкости и постоянным свободным сечением, с укрупненной перфорацией и с регулируемым и саморегулируемым свободным сечением.

Среди противоточных контактных тарелок с упорядоченным перетоком жидкости и постоянным свободным сечением следует отметить ступенчатую тарелку, тарелку с разной перфорацией и щелевую тарелку с отогнутыми краями щелей, имеющими отверстия для раздельного прохода

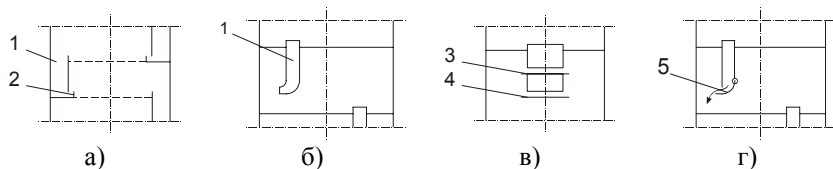


Рис. 42. Конструкции переливных устройств

а) с приемным карманом; б) без приемного кармана; в, г) с приспособлением, регулирующим сечение для прохода жидкости

1 – перелив; 2 – затворная планка; 3, 4 – кольцевые щели; 5 - заслонка

газа и жидкости через основание тарелки.

Если в процессе абсорбции значительно изменяются нагрузки по газу и жидкости, то применяют клапанные тарелки (провальные и беспровальные). Основными конструктивными элементами этих тарелок являются перфорированное основание тарелки и клапаны, в нерабочем состоянии перекрывающие отверстия в основании тарелки, а под действием газового потока поднимающиеся на некоторую высоту, определяемую ограничителем. При этом скорость пара в сечении между клапаном и полотном тарелки остается примерно постоянной, что обеспечивает распределение пара по площади тарелки, уменьшение уноса жидкости и меньшее гидравлическое сопротивление. Благодаря широкому диапазону устойчивости, малому весу и простоте конструкции клапанные тарелки являются весьма перспективными.

Существуют клапанные противоточные тарелки, сочетающие преимущества провальных и клапанных (беспровальных) тарелок. В тарелках с упорядоченным перетоком жидкости (рис. 43а), который осуществляется через специальное переточное устройство, расположенное в клапане, вытекающая жидкость в виде струй или пленки создает дополнительную зону контакта фаз в межтарельчатом объеме.

Среди противоточных тарелок с неупорядоченным перетоком жидкости одной из основных конструкций является провальная тарелка с круглыми клапанами, а также трубчатая тарелка, состоящая из горизонтально расположенных труб на опорных неподвижных стержнях (рис. 43б). Под действием газового потока трубы могут менять свое расположение в пространстве, изменяя тем самым свободное сечение тарелки.

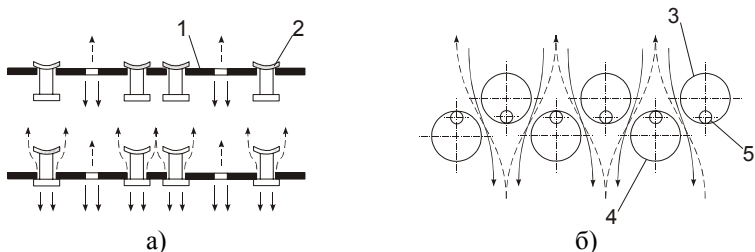


Рис. 43. Клапанные тарелки с противоточным движением фаз

а) с упорядоченным перетоком жидкости; б) с неупорядоченным перетоком жидкости  
1 – основание тарелки; 2 – клапан; 3, 4 – клапаны из труб; 5 – опорные стержни

#### 5.2.4. Распыливающие абсорберы

Особенностью распыливающих (струйных) тарелок является диспергирование жидкости газовым потоком (газовая фаза - сплошная, жидкость - дисперсная) в начальный момент их взаимодействия и последующее их совместное прямооточное и перекрестно - прямооточное движение в направлении, определяемом конструкцией тарелки.

В вихревой тарелке направление движения жидкости от центра к периферии осуществляется за счет центробежных сил, способствующих дальнейшему разделению фаз.

Прямоточное движение фаз в радиальном и аксиальном направлении осуществляется в распылительных контактных устройствах, диспергирование жидкости в которых происходит в наиболее узком сечении. В абсорбере с контактными устройствами в виде кольцевого диффузора (рис. 44) жидкость из переливного устройства через зазор, образованный нижним торцом патрубка 1 и отбойным диском 2, вытекает в пространство между дисками 2 и 3 и дробится газом на мелкие капли, образуя при этом большую межфазную поверхность.

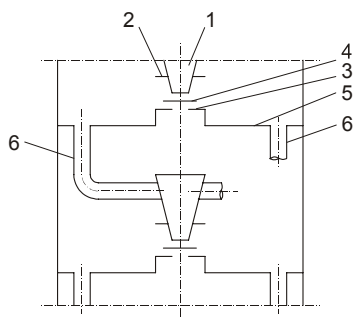


Рис. 44. Струйная тарелка  
1 – патрубок; 2, 3, 4 – диски; 5 – тарелка; 6 - переток

### 5.2.5. Брызгоуловители и брызгоотбойники

При конструировании абсорберов и других массообменных аппаратов для снижения брызгоуноса необходимо использовать брызгоуловители различного типа. По способу установки их подразделяют на встроенные и выносные.

Насадочные колонны часто оборудуются встроенными сепараторами, выполненными в виде расположенного на специальной решетке улавливающего слоя из мелкой насадки или кокса. Улавливающее действие этих брызгоуловителей заключается в укрупнении капель, оседающих в них при ударах и поворотах газового потока. Сопrotивление слоя значительно, поэтому применение сепараторов этого типа ограничено из-за высоких скоростей газового потока.

Циклонный сепаратор (рис. 45) может быть размещен непосредственно в аппарате. Он состоит из внутреннего 1 и внешнего 3 патрубков, завихрителя 2 и конуса 4. Проходя через завихритель, газовый поток приобретает вращательное движение. Возникающая при этом центробежная сила отбрасывает капли к внутренней поверхности патрубка 1. Образуется пленка жидкости, движущаяся винтообразно вверх. При достижении верхнего торца патрубка 1 жидкость отбрасывается на внутреннюю поверхность внешнего патрубка 3, теряет скорость и под действием силы тяжести опускается вниз и отводится через гидрозатвор. Освобожденный от капель жидкости газовый поток выходит через расширительный конус 4.

### 5.3. Аппаратурное оформление адсорбционных процессов очистки газовых выбросов

Основным типом адсорбционных установок до последнего времени остаются установки периодической адсорбции, в которых аппарат со стационарным слоем после окончания стадии адсорбции переключается на стадию десорбции. В рабочий цикл периодического адсорбера обычно входят ряд дополнительных стадий: сушки и охлаждения адсорбента, повышения и сброса давления и т.д.

Традиционные адсорберы периодического действия бывают трех основных типов: вертикальные, тальные и аппараты с кольцевым слоем адсорбента.

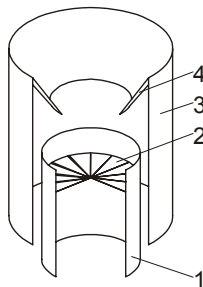


Рис. 45. Циклонный сепаратор  
1, 3 – внутренний и внешний патрубки; 2 – завихритель; 4 – конус

Основные направления при разработке новых конструкций адсорберов периодического действия: увеличение эффективности аппаратов при большой единичной мощности, снижение гидравлического сопротивления, наилучшие условия для использования слоя адсорбента. Для достижения этих целей предложен аппарат полочного многосекционного типа (рис. 46а) или адсорбер, по принципу действия аналогичный адсорберам с кольцевым слоем адсорбента, но слой угля имеет вид конуса со стенкой, толщиной равной толщине слоя угля, а вершина конуса направлена против потока газа, идущего на очистку (рис. 46б). Особый интерес представляют адсорберы периодического действия, в одном корпусе которых совмещены стадии адсорбции и десорбции. Восемь адсорбционных ячеек расположены по окружности колпака который жестко соединен с полым валом. В зависимости от положения вала часть ячеек находится в режиме адсорбции, а часть - в режиме десорбции.

Интенсификация адсорбционных аппаратов непрерывного действия связана с использованием взвешенного слоя адсорбента. Различают аппараты с провальными тарелками и переточными устройствами на тарелках. В последнее время внимание специалистов привлекают адсорберы колонного типа с провальными тарелками регулируемого свободного сечения. Одним из типов таких тарелок является профильная тарелка, для изготовления которой используется стандартный прокат различных профилей: угольник, квадрат, круг (рис. 47).

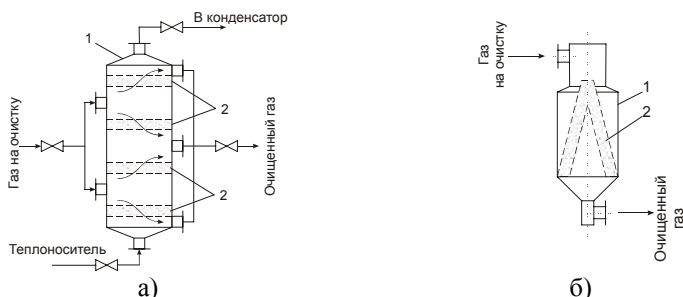


Рис. 46. Адсорберы периодического действия  
а) многосекционный; б) с кольцевым слоем сорбента  
1 – корпус; 2 – слой адсорбента

Профильная тарелка является двухслойной. Свободное сечение тарелок регулируется при вертикальном перемещении нижнего слоя относительно верхнего. Максимальная ширина щели в, шаг расположения элементов  $t$ . Элементы одного слоя должны быть сдвинуты по отношению к элементам другого слоя на половину шага  $t$ .

На рис. 48 представлен комбинированный адсорбер, состоящий из колонны I, включающей в себя расположенные по ее высоте тарелки 1 и переточные устройства 2 для перемещения адсорбента, и конической цилиндрической камеры II. Внутри этой камеры из зоны цилиндрической части опускается опрокинутый вершиной вниз конус 4 (промежуточный бункер) с перфорированной боковой поверхностью для прохождения газового потока внутрь конуса, в котором движется адсорбент в направлении на верхнюю тарелку через переток 5. Газовый поток после предварительной очистки на тарелках колонны I, направляется в зону II, где происходит доочистка газового потока от целевого компонента и одновременно очистка его от пыли, полученной в результате истирания адсорбента.

Привлекательной является идея создания аппарата, в одном корпусе которого размещается адсорбер, десорбер и камеры для охлаждения адсорбента, выходящего из десорбера. Адсорбент на всех стадиях обработки находится во взвешенном состоянии.

Для проведения процесса на микросферических адсорбентах (цеолит, силикагель с диаметром зерен 100 - 1000 мкм) при высоких скоростях газового потока предложена конструкция аппарата с инъекционным захватом адсорбента.

Аппарат состоит из нескольких контактных ступеней, каждая из которых включает в себя тарелку типа усеченного конуса, контактный патрубок, сверху которого расположено сепарационное устройство, и переточки. Между нижним концом патрубка и конической поверхностью тарелки имеется щель для выхода адсорбента

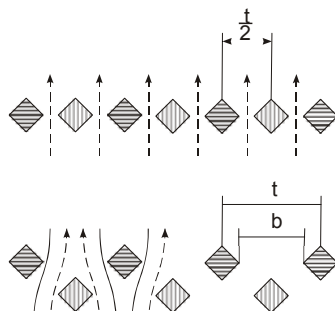


Рис. 47. Прорывные тарелки регулируемого сечения

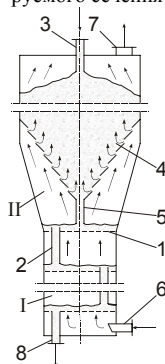


Рис. 48. Комбинированный адсорбер  
1 – тарелка; 2, 5 – переточки; 3, 8 – вход и выход адсорбента; 4 – конус; 6, 7 – вход и выход газа

с тарелки в пространство патрубка. Диаметр отверстия в центре тарелки меньше внутреннего диаметра контактного патрубка, поэтому при высокой скорости газового потока на начальном участке контактного патрубка создается разрежение, что способствует выходу адсорбента с тарелки в пространство контактного патрубка. Адсорбент, поступающий на верхнюю тарелку, движется самотеком по конической поверхности тарелки и через щель проникает в пространство газового патрубка, где подхватывается газовым потоком, движущимся снизу вверх с высокой скоростью (10-20 м/с). Из контактного патрубка адсорбент с газовым потоком попадает в сепарационное устройство для центробежного разделения фаз. После разделения фаз адсорбент оказывается на поверхности тарелки и по мере накопления через перетоки поступает на нижележащую ступень, на которой процесс повторяется. Скорость газового потока в расчете на свободное сечение аппарата 2-4 м/с (в зависимости от зёрнения сорбента).

В многоступенчатых аппаратах непрерывного действия переточные устройства обеспечивают движение адсорбента с тарелки на тарелку. Надежность и устойчивость работы адсорбера в широком диапазоне изменения нагрузок по газовой и твердой фазам обеспечивается, главным образом, хорошей работой переточных устройств.

Перетоки с коническими или дисковыми запорными устройствами (рис. 49а) рационально использовать для больших расходов мелкозернистого адсорбента фракции 0,5-1 мм. Конструкция перетока обеспечивает регулирование высоты взвешенного слоя независимо от интенсивности подачи адсорбента и улучшает условия распределения газового потока. Производительность переточного устройства устанавливается высотой слоя, которая задается положением патрубков 1 и 2 относительно тарелки 4 и конуса 3.

В переточном устройстве (рис. 49б) регулирование расхода адсорбента осуществляется с помощью дополнительного газового потока, подаваемого под наклонную решетку перетока 6. Изменяя подачу газа от независимого источника через щель 5, можно регулировать расход адсорбента в переточном устройстве.

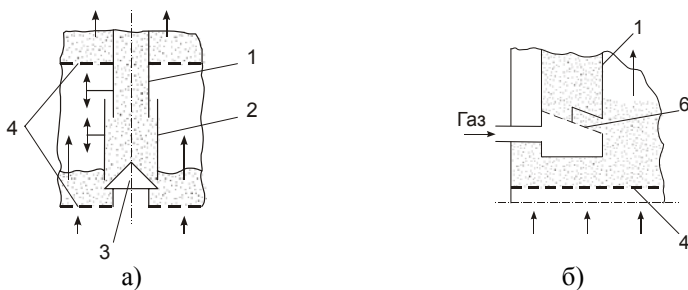


Рис. 49. Переточные устройства

а) с коническим запорным устройством; б) с автономным подводом газа

1, 2 – патрубки; 3 – конус; 4 – тарелка; 5 – шель; 6 – решетка

## ЛИТЕРАТУРА

1. Альперт Л.З. Основы проектирования химических установок. – М.: Высшая шк., 1989. – 304 с.
2. Белевицкий А.М. Проектирование газоочистительных установок. – Л.: Химия, 1990. – 287 с.
3. Белецкий Б.Ф., Зотов Н.И., Ярославский Л.В. Конструкции водопроводно-канализационных сооружений. Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1989. – 448 с.
4. Веселов Ю.С., Лавров И.С., Рукобратский Н.И. Водоочистное оборудование. – Л.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
5. Водоотводящие системы промышленных предприятий /С.В.Яковлев, Я.А.Карелин, Ю.М.Ласков, Ю.В.Воронов. – М.: Стройиздат, 1990. – 511 с.
6. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. Справочник./Под ред. С.Калвера и Г.М.Инглунда, т.1,2. – М.: Металлургия, 1988. – 760 с.
7. Канализация населенных мест и промышленных предприятий. Справочник проектировщика /Под ред. В.Н.Самохина. – М.: Стройиздат, 1981. – 639 с.
8. Каталог современного оборудования по очистке сточных вод и обработке осадков. – М.: Международный фонд конверсии, 1992. – 272 с.
9. Комарова Л.Ф., Кормина Л.А. Инженерные методы защиты окружающей среды. Барнаул: ГИПП "Алтай", 2000. – 391 с.
10. Лащинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов. Справочник /Под ред. А.Р.Толчинского. – Л.: Машиностроение, 1981. – 392 с.

11. Ласков Ю.М., Воронов В.В., Калицун В.И. Примеры расчетов канализационных сооружений. – М.: Стройиздат, 1987. – 255 с.
12. Москвитин Б.А., Мирончик Г.М., Москвитин А.С. Оборудование водопроводных и канализационных сооружений. – М.: Стройиздат, 1984. – 192 с.
13. Основы проектирования химических производств. Уч. пос., ч.1 /В.И.Косинцев, Н.С.Крашениникова, В.М.Мионов, О.В.Казьмина. – Томск: Изд. ТГУ, 1998. – 290 с.
14. Основы проектирования химических производств: Уч.пос., ч.2./ В.И.Косинцев, Н.С.Крашениникова, В.М.Мионов и др. – Томск: Изд. ТГУ, 2000. – 208 с.
15. Очистка природных и сточных вод: Справочник. – М.: Высш.шк., 1994. – 336 с.
16. Проектирование сооружений для очистки сточных вод: Справочное пособие к СНиП. – М.: Стройизда, 1990. – 192 с.
17. Пылеулавливание в металлургии. Справочник./Под ред. А.А.Гурвица. – М.: Металлургия, 1984. – 336 с.
18. Родионов А.И., Кузнецов Ю.П., Зенков В.В. Оборудование и сооружения для защиты от промышленных выбросов. – М.: Химия, 1985. – 352 с.
19. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. – 42 с.
20. СНиП 2.04.02.-84. Водоснабжение. – М.: Стройиздат, 1985. – 136 с.
21. СНиП 11-01-95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – М.: -ГП ЦЕНТРИНВЕСТпроект, 1995. – 8 с.
22. СНиП 2.04.03-85. Канализация. – М.: Стройиздат, 1986. – 72 с.
23. Техника защиты окружающей среды /А.И.Родионов, В.Н.Клушин, Н.С.Торочешников, Г.С.Соловьев. – М.: Стройиздат, 1989. – 512 с.
24. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Справочник. – М.: Химия, 1991. – 368 с.
25. Шальнов А.П., Яковлев Г.И. Технология и организация строительства водопроводных и канализационных сетей и сооружений. – М.: Стройиздат, 1981. – 312 с.