

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ ИМ. ПРОФ. М.А. БОНЧ-  
БРУЕВИЧА» (СПбГУТ)

Кафедра экологии и безопасности жизнедеятельности

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**«НОРМИРОВАНИЕ И СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»**  
Направление подготовки 05.04.06 Экология и природопользование  
Разработчик: профессор, д.г.н. Стурман В.И.

Санкт-Петербург  
2018

# 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ

Общепринятого определения (понятия) экологического нормирования в настоящее время не существует, хотя суть этого понятия, на первый взгляд, является достаточно простой и понятной. Под *нормированием качества окружающей среды* понимается установление показателей и пределов, в рамках которых допускается изменение этих показателей (для воздуха, воды, почвы и т.д.). Цель нормирования — установление предельно допустимых норм (*экологических нормативов*) воздействия человека на окружающую среду. Соблюдение экологических нормативов должно обеспечить экологическую безопасность населения, сохранение генетического фонда человека, растений и животных, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов. Однако, как будет показано ниже, определение норм, обеспечивающих сохранение генетического фонда человека, растений и животных ... является весьма сложной научной задачей, не получившей пока удовлетворительного решения.

Поэтому практически, на уровне нормативных документов и деятельности органов государственного управления (отделы, департаменты экологического нормирования и т.п.) практикуется санитарно-гигиеническое нормирование, являющееся лишь частью нормирования экологического.

Таблица 1. Структура и основные механизмы экологического нормирования

Направления экологического нормирования	Основные цели	Разновидности нормирования	Нормативы	Механизмы и критерии
Санитарно-гигиеническое	Безопасность жизнедеятельности и сохранение генетического фонда человека	Концентрации, уровни и дозы вредных воздействий Критерии качества компонентов ОС Риск (заболеваний, аварий и т.д.)	ПДК, ПДУ, ОДК, ОБУВ ИЗВ, ИЗА, Z <sub>c</sub> , ИХЗ ПДВ индивидуального и группового риска	Лимитирование на основе принципа пороговости действия и принципа приемлемого риска Лимитирование на основе концепции приемлемого риска
Производственно-ресурсное: безопасности производства	Экологическая безопасность производственных процессов и конечной продукции	Объемы вредных воздействий и отходы производства и потребления Технологии производства и качества конечной продукции	Лимиты образования и захоронения отходов, ПДРО, ПДВ, ПДС Декларации безопасности, нормы качества продукции, сертификат, ресурсоемкость	Лимитирование, лицензирование
рационального использования и охраны природных ресурсов	Охрана, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов	Изъятие и использование ресурсов (лесных, земельных, водных, минеральных, животных и т.д.)	Лимиты и нормы изъятия, категории, нормы эксплуатации	Лицензирование, сертификация, стандартизация, паспортизация, экологизация
Экосистемное	Сохранение биоразнообразия, нормальных условий функционирования и развития экосистем	Допустимые нагрузки на экосистему, биомасса, ПТК, элементарный ландшафт	ПДВВ, ПДАН, ассимиляционная емкость, устойчивость экосистем ПДК	Экологические модификации экосистем и ПТК, биоразнообразие, состояние здоровья населения и т.д. Принцип пороговости действия

Примечание. Условные обозначения см. в списке сокращений.

## 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОХРАНЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА

## 1.1. ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ОХРАНЫ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РОССИИ ПРИ СОВРЕМЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕМ

Нормирование загрязнения атмосферы основывается на использовании гигиенических критериев. Предельно допустимая концентрация – максимальная концентрация примеси в атмосфере, отнесенная к определенному времени осреднения, которая при периодическом воздействии или на протяжении всей жизни человека не оказывает на него вредного воздействия, включая отдаленные последствия, и на окружающую среду в целом. Эта величина обосновывается клиническими и санитарно-гигиеническими исследованиями и носит законодательный характер. В России для воздуха установлены следующие виды ПДК:

- ПДК для атмосферного воздуха населенных мест, в т.ч. ПДК максимально разовые (ПДК<sub>мр</sub>) и ПДК среднесуточные (ПДК<sub>ср</sub>);
- ПДК для воздуха рабочей зоны (ПДК<sub>рз</sub>), в т.ч. максимальные разовые и среднесменные.

ПДК<sub>рз</sub> – предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны, которая при нормативной продолжительности рабочей недели, продолжительностью не более 41 часа, не должна вызывать обнаруживаемых современными методами исследований заболеваний или отклонений в состоянии здоровья работающего и его потомков. ПДК<sub>рз</sub> подразделяются на максимальные разовые (величины, до которых допускается кратковременное повышение) и среднесменные. Действие ПДК<sub>рз</sub> распространяется на производственные помещения, и контроль за их соблюдением является задачей не столько природоохранных служб, сколько охраны труда.

ПДК<sub>мр</sub> – предельно допустимая концентрация максимальная разовая – концентрация химического вещества в воздухе населенной местности, которая при вдыхании в течение 20 минут не должна вызывать рефлекторных реакций (кашель, ощущение запаха и др.).

ПДК<sub>ср</sub> – среднесуточная ПДК в воздухе населенной местности, концентрация химического вещества, которая не должна оказывать на человека прямого или косвенного вредного влияния при неопределенно долгом вдыхании.

Предельно допустимые концентрации некоторых распространенных загрязняющих веществ в воздухе приводятся в таблице 1.

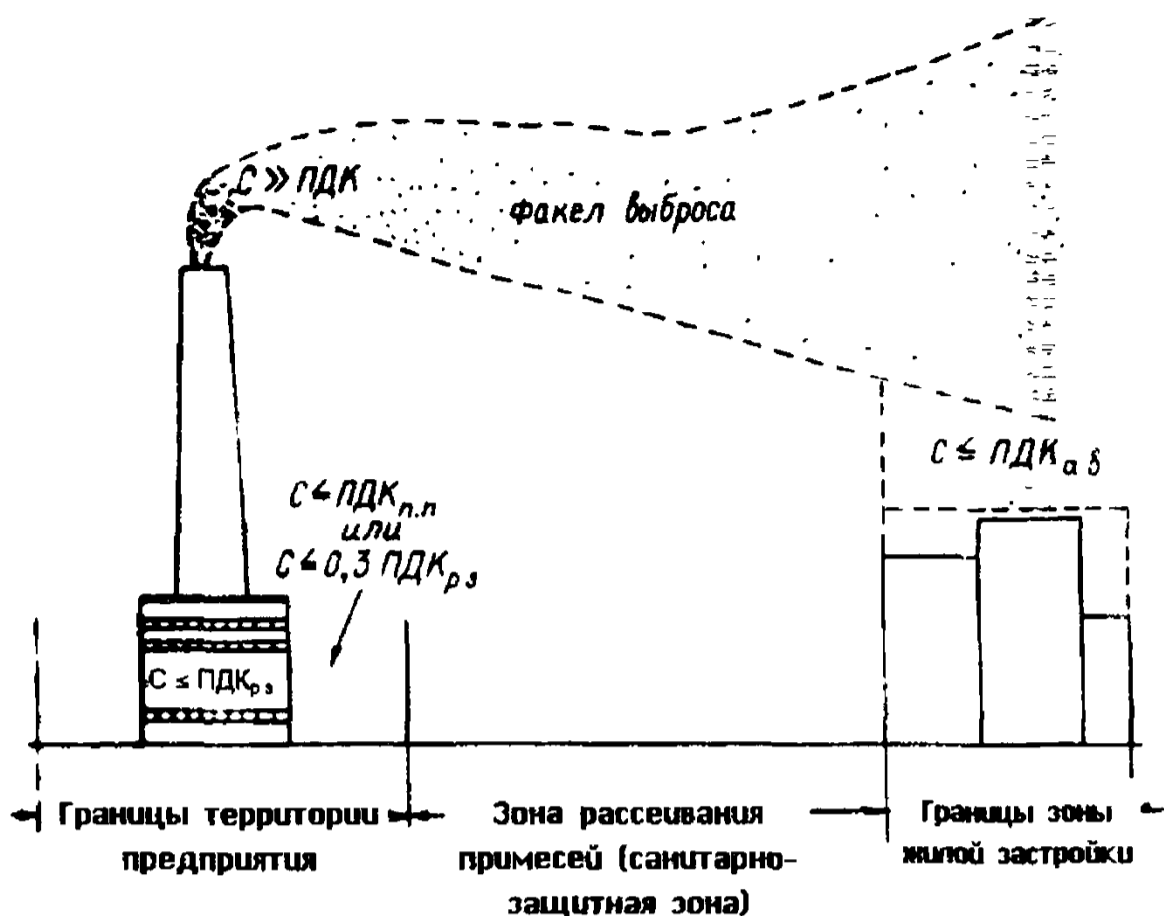
Таблица 1.

ПДК некоторых распространенных загрязняющих веществ в воздухе, мг/м<sup>3</sup> (по [21, 22])

Вещества	Класс опасности	ПДК <sub>рз</sub>	ПДК <sub>мр</sub>	ПДК <sub>ср</sub>
C <sub>2</sub> H <sub>12</sub> (3,4-бенз(а)пирен)	1	-/0,00015	-	10-6
H <sub>2</sub> S (сероводород)	2	10	0,008	-
NO <sub>2</sub> (диоксид азота)	3	2	0,2	0,04
SO <sub>2</sub> (диоксид серы)	3	6	0,5	0,05
Пыль нетоксичная	3	-/от 0,5 до 6 по видам пылей	0,5	0,15
NH <sub>3</sub> (аммиак)	4	20	0,2	0,04
CO (оксид углерода)	4	20	5	3

Примечания: для рабочей зоны в числителе указаны максимальные разовые ПДК, а в знаменателе – среднесменные ПДК. Прочерк в числителе означает, что норматив установлен в виде среднесменной ПДК. Если приведен один норматив, то это означает, что он установлен как максимальная разовая ПДК.

Организация охраны атмосферного воздуха в России базируется на сочетании административных и экономических методов управления. Для стационарных источников загрязнения установлен разрешительный порядок: выбросы допускаются на основании разрешений, выдаваемых уполномоченными государственными природоохранными органами, формой разрешения является устанавливаемый для каждого конкретного источника и предприятия в целом предельно допустимый выброс (ПДВ), пересматриваемый раз в 5 лет, или (до его установления) временно согласованный выброс (ВСВ). ПДВ определяется расчетным путем, с использованием типовой методики ОНД-86 [63] и реализующих ее стандартных (сертифицированных) программных средств. За ПДВ (по каждому веществу) принимается выброс, который с учетом мощности источника, климатических характеристик, фонового уровня загрязнения атмосферы, не приведет к превышению ПДК<sub>мр</sub> на границе санитарно-защитной зоны (СЗЗ) предприятия в течение 95% времени.



Предприятия, получившие разрешение на выброс, должны обеспечивать его соблюдение и своими силами организовывать контроль источников загрязнения. Первичный контроль за источниками загрязнения атмосферы включает инвентаризацию источников и определение состава и объемов выбросов от них, в граммах в секунду и тоннах в год. Объемы выбросов определяют расчетным путем на основе отраслевых нормативов, с учетом продолжительности работы единиц оборудования и удельных выбросов от них, и лабораторно-инструментальным путем на основе отбора и анализа проб отходящих газов.

На основе данных первичного контроля составляются годовые отчеты (формы 2-ТП воздух), содержащиеся в них данные об объемах и составе выбросов используются для определения размеров платы предприятия за загрязнение атмосферы (в однократном размере в пределах ПДВ, в пятикратном размере в пределах ВСВ и в 25-кратном размере при его превышении или отсутствии). При аварийных выбросах, вызвавших экстремально высокое загрязнение воздуха, вследствие чего был нанесен ущерб здоровью населения, флоре и фауне, экономике, виновные выплачивают штрафы и компенсации за нанесенный ущерб в административном или судебном порядке.

Полнота и достоверность отчетов об объемах и составе выбросов зависит от добросовестности и компетентности природоохранных служб предприятий. Контроль достоверности данных об объемах и составе выбросов возложен на государственные природоохранные органы. Соответственно, предприятия заинтересованы в снижении платы за загрязнение атмосферы, а государственные природоохранные органы – в полноте ее поступления.

Внесение платы за загрязнение не освобождает природопользователей от штрафных санкций и возмещения вреда в случаях аварийного, экстремально высокого загрязнения, а также от необходимости выполнения природоохранных мероприятий. Возможность снижения платы в случае выполнения природоохранных мероприятий создает для предприятий стимул для их реализации. Снижение платы в связи с уменьшением объемов выбросов должно достигаться на основе разработки и реализации планов природоохранных мероприятий. Такие планы разрабатываются предприятиями как составные части документации по ПДВ. Из планов природоохранных мероприятий предприятий, а также районных, городских, региональных и федеральных мероприятий, финансируемых за счет соответствующих бюджетов и внебюджетных экологических фондов, складываются разделы целевых комплексных программ охраны окружающей среды, посвященные охране атмосферного воздуха.

Основные направления снижения загрязненности атмосферы образуют 3 большие группы мероприятий:

1. Улучшение существующих и внедрение новых, безотходных и малоотходных технологий. Это включает множество конкретных мероприятий, направленных на предотвращение образования загрязняющих веществ путем замены высокоотходных технологических процессов на менее отходные, улучшения качества топлива, отказа от использования высокосернистых сортов угля и нефти и т.п. Пути снижения объемов выбросов от предприятий отдельных отраслей рассматриваются ниже (глава 4).

2. Использование газоочистительных и пылеулавливающих установок для очистки выбросов от веществ, образование которых не удалось предотвратить технологическими методами.

3. Минимизация последствий загрязнения атмосферы. Вещества, от которых не удалось избавиться путем совершенствования технологий и/или очистки выбросов, следует по возможности направлять туда, где они принесут минимальный вред. Минимизация последствий атмосферного загрязнения достигается путем пространственного и временного перераспределения выбросов, а также рационального взаимного размещения объектов, являющихся их источниками и реципиентами. Пространственное перераспределение выбросов достигается путем строительства высоких дымовых труб, позволяющих рассеять выброс в возможно большем объеме воздуха и, таким образом, понизить концентрации. Временное перераспределение достигается путем регламентации работы агрегатов, являющихся источниками загрязнения, с учетом метеорологических ситуаций, что должно предусматриваться планами мероприятий при НМУ. Так, котельные и ТЭЦ могут работать на газовом топливе, когда ветер направлен в сторону жилых районов, и на мазуте или угле при иных ситуациях. При НМУ, связанных с ростом метеорологического ПЗА, снижается мощность или приостанавливается работа агрегатов, вносящих наибольший вклад в загрязнение атмосферы.

Рациональное взаимное размещение источников и реципиентов загрязнения достигается путем зонирования территорий в генеральных планах и схемах районной планировки. Объекты, являющиеся источниками загрязнения атмосферы, размещают с учетом «розы ветров», на хорошо проветриваемых возвышенных участках местности, с подветренной стороны от жилой застройки, социально-культурных и рекреационных объектов, особо охраняемых природных территорий. Вокруг предприятий организуются санитарно-защитные зоны (СЗЗ), в которых запрещается строительство жилья, размещение детских, образовательных, оздоровительных и рекреационных учреждений. Существующее жилье и социальные объекты, попавшие в СЗЗ, постепенно выводятся из них за счет средств соответствующих предприятий. В СЗЗ разрешается размещать предприятия с меньшим классом опасности, ремонтные мастерские, склады, гаражи и автостоянки, автозаправочные станции и т.п. Не менее 40-60% территории СЗЗ подлежит обязательному озеленению, с использованием газоустойчивых видов растительности.

Размеры СЗЗ определяются согласно санитарным правилам и нормам (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, в ред. 2008 г.), в зависимости от классов опасности предприятий: 1000 м для предприятий 1-го класса опасности, 500 м для 2-го класса опасности, 300 м для 3-го класса опасности, 100 м для 4-го класса опасности, 50 м для 5-го класса опасности. При этом класс опасности определяется, исходя из профиля производства и, в отдельных случаях, мощности предприятий, вне зависимости от технологий и, соответственно, объемов и состава выбросов. Непревышение ПДК<sub>мр</sub> на границе СЗЗ должно быть подтверждено расчетами по методике ОНД-86.

Минимизация последствий загрязнения атмосферы выбросами от автотранспорта достигается путем соответствующей организации транспортных потоков. Для этого прокладываются объездные дороги, направляющие транзитный транспорт мимо населенных пунктов, создаются транспортные развязки и магистрали непрерывного движения, призванные свести к минимуму простои на холостом ходу перед светофорами и т.п. Для достижения этих же целей административным путем или взиманием платы ограничивается въезд транспорта в районы со сложными экологическими ситуациями и/или требующие особой охраны.

## 1.2. ОЧИСТКА И ПЕРЕРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ, ДЫМОВЫХ ОТХОДОВ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ ВЫБРОСОВ

Защита окружающей среды от загрязнений включает, с одной стороны, специальные методы и оборудование для очистки газовых и жидких сред, переработки отходов и шламов, вторичного использования теплоты и максимального снижения теплового загрязнения. С другой стороны, для этого разрабатывают технологические процессы и оборудование, отвечающие требованиям промышленной экологии, причем технику защиты окружающей среды применяют практически на всех этапах технологий. Предлагаемые к рассмотрению в лекциях 5, 6 и 7 методы и устройства защиты окружающей среды сгруппированы по типу очищаемой среды (газовая, жидкая, твердая, комбинированная) или вторично используемого отхода в зависимости от его характеристик.

Газообразные промышленные отходы включают в себя не вступившие в реакции газы (компоненты) исходного сырья; газообразные продукты; отработанный воздух окислительных процессов; сжатый (компрессорный) воздух для транспортировки порошковых материалов, для сушки, нагрева, охлаждения и регенерации катализаторов; для продувки осадков на фильтровальных тканях и других элементах; индивидуальные газы (аммиак, водород, диоксид серы и др.); смеси нескольких компонентов (азотоводородная смесь, аммиачно-воздушная смесь, смесь диоксида серы и фосгена); газопылевые потоки различных технологий; отходящие дымовые газы термических реакторов, топков и др., а также отходы газов, образующиеся при вентиляции рабочих мест и помещений. Кроме этого, все порошковые технологии сопровождаются интенсивным выделением газопылевых отходов. Пылеобразование происходит в процессах измельчения, классификации, смешения, сушки и транспортирования порошковых и гранулированных сыпучих материалов [1, 2].

Для очистки газообразных и газопылевых выбросов с целью их обезвреживания или извлечения из них дорогих и дефицитных компонентов применяют различное очистное оборудование и соответствующие технологические приемы.

В настоящее время методы очистки запыленных газов классифицируют на следующие группы:

I. «Сухие» механические пылеуловители.

2. Пористые фильтры.
3. Электрофильтры.
4. «Мокрые» пылеулавливающие аппараты.

Важнейшие характеристики аппаратов очистки:

- эффективность очистки (доля удаленной примеси от ее первоначального количества, в %);
- гидравлическое сопротивление – разница давления воздуха на входе в аппарат и на выходе из него;
- производительность – количество газа, проходящего через аппарат, в м<sup>3</sup>/ч.

Механические («сухие») пылеуловители

Такие пылеуловители условно делятся на три группы:

пылеосадительные камеры, принцип работы которых основан на действии силы тяжести (гравитационной силы);

инерционные пылеуловители, принцип работы которых основан на действии силы инерции;

циклоны, батарейные циклоны, вращающиеся пылеуловители, принцип работы которых основан на действии центробежной силы.

Пылеосадительная камера представляет собой пустотелый или с горизонтальными полками во внутренней полости прямоугольный короб, в нижней части которого имеется отверстие или бункер для сбора пыли (рис. 5.1.).

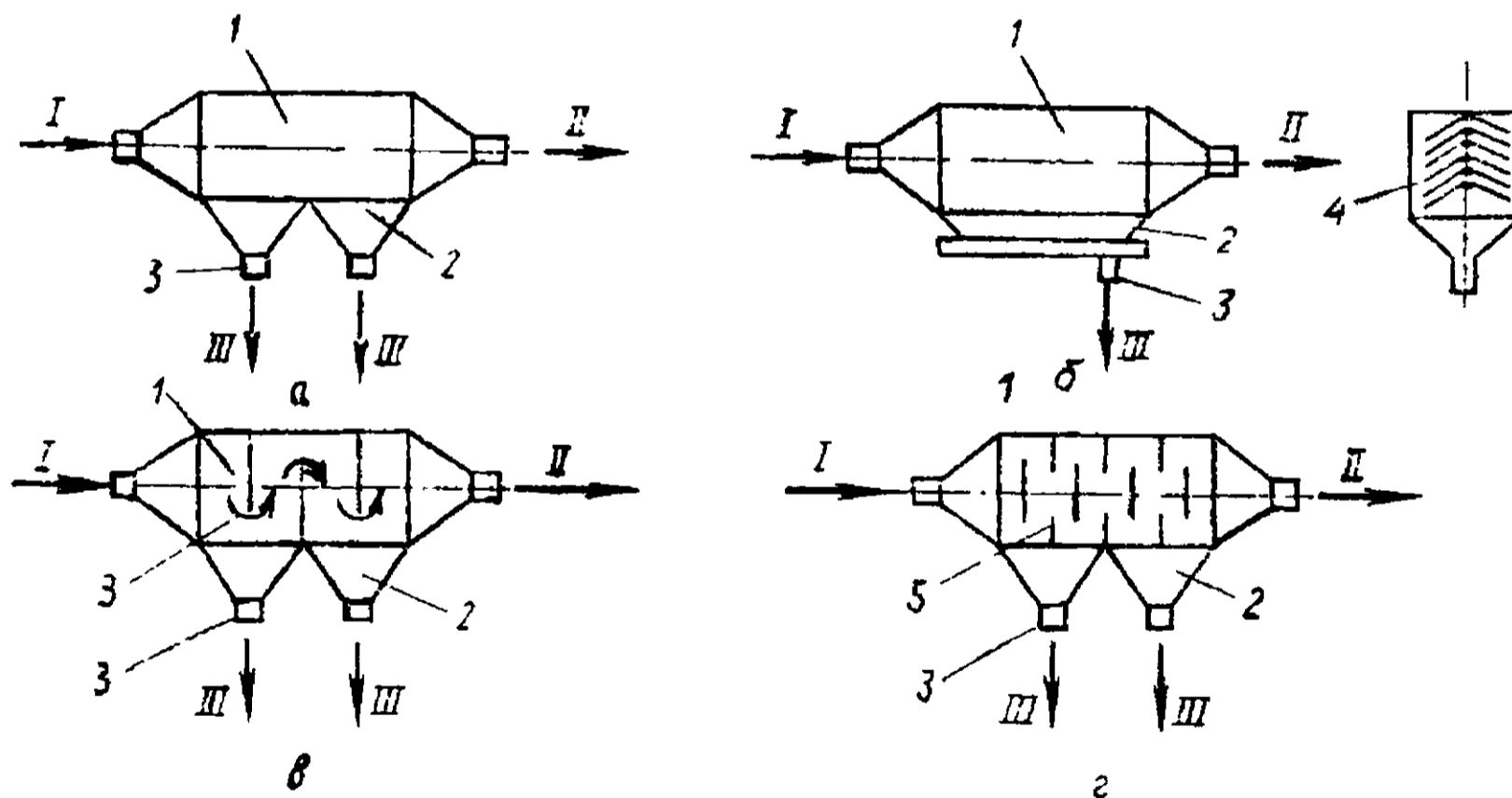


Рис. 5.1. Пылеосадительные камеры:

а - полая, б - с горизонтальными полками; в, г - с вертикальными перегородками, I - запыленный газ; II - очищенный газ; III - пыль, 1 - корпус; 2 - бункер, 3 - штуцер для удаления; 4 - полки, 5 - перегородки.

Скорость газа в камерах составляет 0,2-1,5 м/с, гидравлическое сопротивление 50-150 Па. Пылеосадительные камеры пригодны для улавливания крупных частиц размером не менее 50 мкм. Степень очистки газа в камерах не превышает 40-50%.

В инерционных пылеуловителях для изменения направления движения газов устанавливают перегородки (рис. 5.2). При этом наряду с силой тяжести действуют и силы инерции. Пылевые частицы, стремясь сохранить направление движения после изменения направления движения потока газов, осаждаются в бункере. Газ в инерционном аппарате поступает со скоростью 5-15 м/с. Эти аппараты отличаются от обычных пылеосадительных камер большим сопротивлением и высокой степенью очистки газа ГЗ1.

Большое внимание при проектировании пневмотранспортных и других устройств пылеочистки необходимо уделять узлам отделения материала от транспортирующего воздуха - разгрузочным и пылеулавливающим устройствам (циклонам, фильтрам и т.п.). В зависимости от способа отделения материала в системах пневмотранспорта используют объемные разгрузочные устройства и центробежные циклоны. Выбор того или иного типа устройства зависит от конкретных условий работы установок и требований, предъявляемых к его работе: наибольшее значение коэффициента осаждения материала, минимальное сопротивление разгрузочного устройства, надежность в эксплуатации.

Предпочтение отдается центробежным циклонам, выполняющим одновременно и роль пылеулавливающего аппарата. Эффективность улавливания пыли в циклонах повышается с уменьшением диаметра корпуса, но при этом снижается их пропускная способность. Для обеспечения соответствующей производительности пневмотранспортной установки небольшие циклоны группируют в батарею. Коэффициент пылеулавливания батареи циклонов составляет 0,76-0,85 и несколько повышается с увеличением входной скорости (с 11 до 23 м/с). Использование вместо циклонов вихревых пылеуловителей обеспечивает улавливание частиц пыли размером 5-7 мкм.

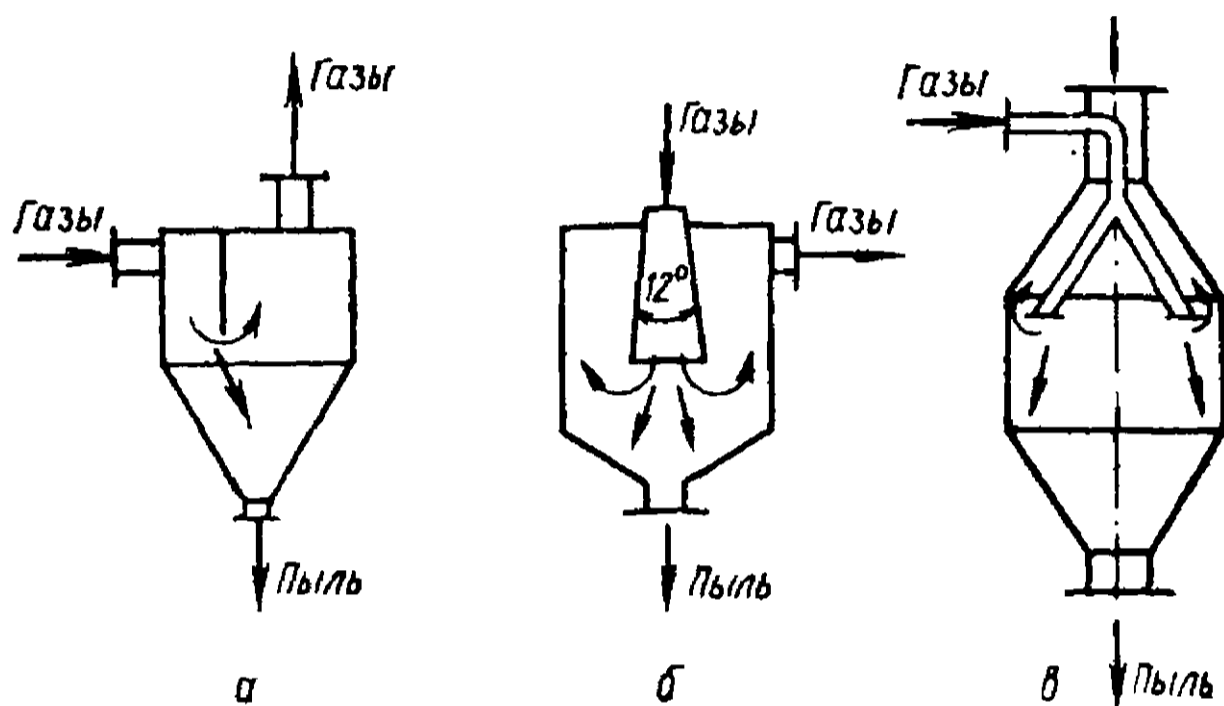


Рис. 5.2. Инерционные пылеуловители с различными способами подачи

и распределения газового потока: а - камера с перегородкой, б - камера с расширяющимся конусом, в - камера с заглубленным бункером.

Воздух после разгрузочных устройств или циклонов, насыщенный субмикронными частицами, должен направляться на доочистку в пылеуловители. При выборе типа пылеуловителя в условиях работы таких установок учитывают следующие показатели:

степень пылеулавливания, равную отношению количества пыли, задержанной пылеуловителем, к количеству пыли, содержащейся в воздухе при его поступлении в пылеуловитель;

сопротивление пылеуловителя, от которого зависит экономичность процесса пылеулавливания;

габаритные размеры и масса пылеуловителя, надежность и простота его обслуживания.

Циклоны рекомендуется использовать для предварительной очистки газов и устанавливать перед высокоэффективными аппаратами (например, фильтрами или электрофильтрами) очистки.

Основными элементами циклонов являются корпус, выхлопная труба и бункер. Газ поступает в верхнюю часть корпуса через входной патрубок, приваренный к корпусу тангенциально. Улавливание пыли происходит под действием центробежной силы, возникающей при движении газа между корпусом и выхлопной трубой. Уловленная пыль сыпается в бункер, а очищенный газ выбрасывается через выхлопную трубу (рис. 5.3).

В зависимости от производительности циклоны можно устанавливать по одному (одиночные циклоны) или объединять в группы из двух, четырех, шести или восьми циклонов (групповые циклоны).

Существуют батарейные циклоны. Конструктивной особенностью последних является то, что закручивание газового потока и улавливание пыли в них обеспечивается размещенными в корпусе аппарата циклонными элементами [4].

Ниже приведена техническая характеристика наиболее распространенного на производстве циклона ЦН-15:

допустимая запыленность газа, г/м<sup>3</sup>:

для слабослипающихся пылей - не более 1000; для среднесливающихся пылей - 250;

температура очищаемого газа, °С - не более 400;

давление (разрежение), кПа (кг/см<sup>2</sup>) - не более 5 (500);

коэффициент гидравлического сопротивления:

для одиночных циклонов - 147; для групповых циклонов - 175-182;

эффективность очистки (от пыли  $dm = 20$  мкм, при скорости газопылевого потока 3,5 м/с и диаметре циклона 100 мм), % - 78.

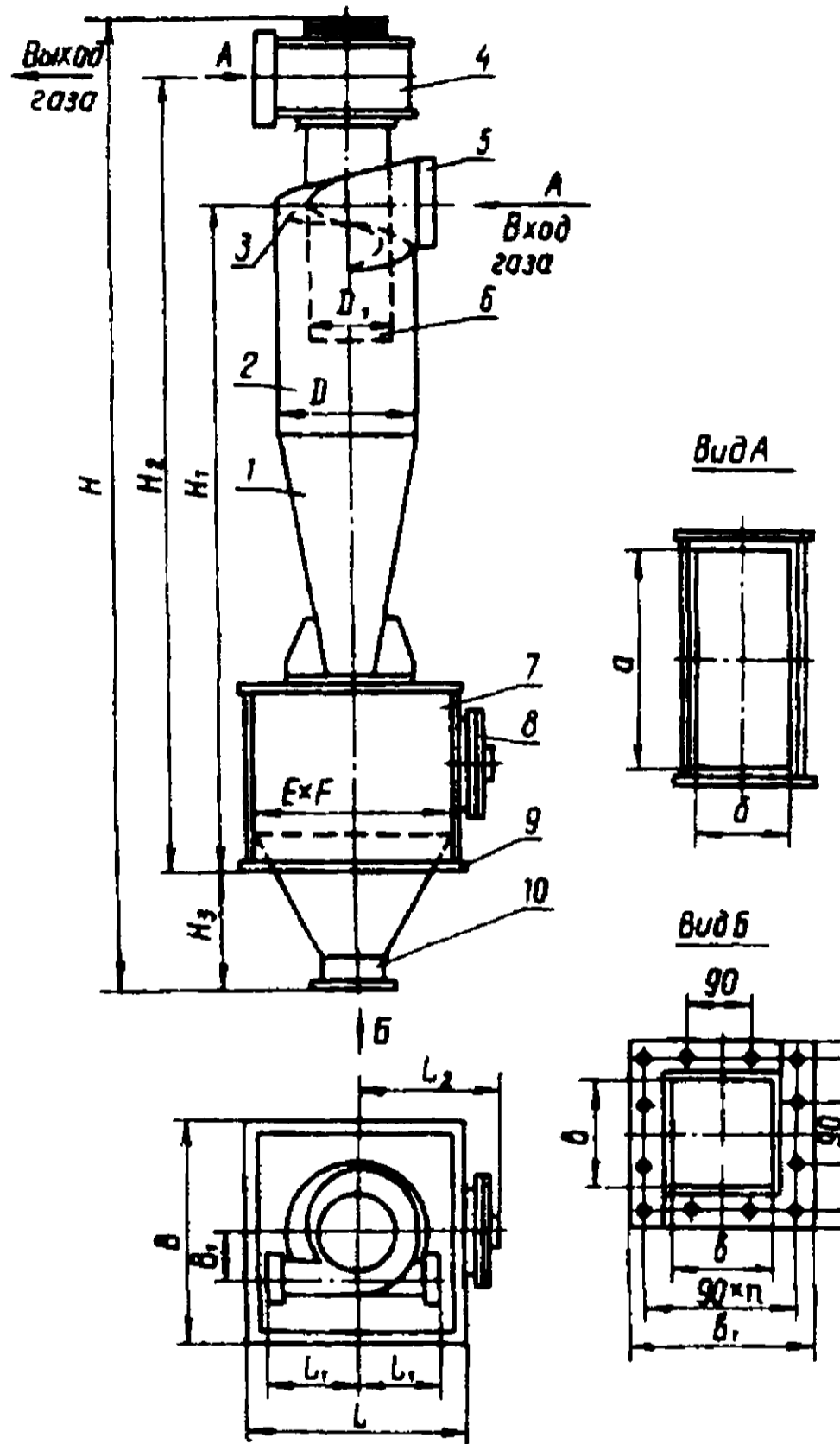


Рис. 5.3. Циклон типа ЦН-15П: 1 - коническая часть циклона; 2 - цилиндрическая часть циклона; 3 - винтообразная крышка; 4 - камера очищенного газа; 5 - патрубок входа запыленного газа, 6 - выхлопная труба; 7 - бункер; 8 - люк, 9 - опорный пояс; 10 - пылевыпускное отверстие

Для расчетов режимов и выбора марки (конструкции) циклона необходимы следующие исходные данные: количество очищаемого газа при рабочих условиях  $V_r$ , м<sup>3</sup>/с; плотность газа при рабочих условиях  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>; динамическая вязкость газа при рабочей температуре  $\eta$ , Па·с; дисперсный состав пыли, задаваемый двумя параметрами  $dm$  и  $lgar$ ; запыленность газа  $S_{вх}$ , г/м<sup>3</sup>; плотность частиц  $\rho_{ч}$  кг/м<sup>3</sup>; требуемая эффективность очистки газа  $\zeta$ .



Конструкцию и режимные параметры циклона рассчитывают методом последовательных приближений по методикам [3-5] или используя более современный математический аппарат [6].

#### Пористые фильтры

Для очистки запыленных газов все большее распространение получает на последних ступенях сухая очистка рукавными фильтрами. Степень очистки газов в них при соблюдении правил технической эксплуатации достигает 99,9%.

Классификация рукавных фильтров возможна по следующим признакам:

форме фильтровальных элементов (рукавные, плоские, клиновые и др.) и наличию в них опорных устройств (каркасные, рамные);

месту расположения вентилятора относительно фильтра (всасывающие, работающие под разрежением, и нагнетательные, работающие под давлением);

способу регенерации ткани (встряхиваемые, с обратной продувкой, с импульсной продувкой и др.);

наличию и форме корпуса для размещения ткани - прямоугольные, цилиндрические, открытые (бескамерные);

числу секций в установке (однокамерные и многокамерные);

виду используемой ткани (например, стеклотканевые).

В качестве фильтровальных материалов применяют ткани из природных волокон (хлопчатобумажные и шерстяные), ткани из синтетических волокон (нитроновые, лавсановые, полипропиленовые и др.), а также стеклоткани. Наиболее распространены лавсан, терилен, дакрон, нитрон, орлон, оксалон, сульфон. Последние два материала представляют полиамидную группу волокон, обладающих термостойкостью при температуре 250-280 °С. Для фильтровальных тканей наиболее характерно саржевое переплетение. Применяют также нетканые материалы - фетры, изготовленные свойлачением шерсти и синтетических волокон.

Таблица 5.1

Наименование	«Филтра-550»	«Филтра-330»
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	550±28	330±17
Ширина, см	150±3	145±3
Толщина, мм	2±0,3	1,3±0,2

Рассмотрим подробнее группу материалов из нетканых иглопробивных фильтровальных полотен, наиболее перспективных в производстве порошковых материалов. Таллинской фирмой «Мистра» предлагаются полотна марок «Филтра-220», «Филтра-330», «Филтра-550» для использования их в аспирационных или вакуумных рукавах и карманных (мешочных) фильтрах очистки газов, пылеулавливания технологических продуктов, а также в системах вентиляции.

Технические показатели фильтровальных полотен

Нетканые иглопробивные полотна характеризуются следующими показателями (табл. 5.1):

Продолжение таблицы 5.1

Наименование	«Филтра-550»	«Филтра-330»
Воздухопроницаемость, дм <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> с), при перепаде давления 50 Па	150±50	250±50
Разрывная нагрузка, Н, не менее		
по длине		
по ширине	1000	400

Удлинение при разрыве, %		
по длине	80	80
по ширине	90	90
Нормированная влажность, %	1	1

Промышленные испытания материала «Фильтра-550» в производстве сепарированного мела показали степень очистки 99,9% при улавливании пыли, 75% которой составляет фракция с диаметром частиц 1-5 мкм.

Срок службы фильтровального материала не менее одного года. Верхний предел рабочих температур составляет 140-150 °С.

В «Мистре» создано и более термостойкое полотно, используемое при температуре до 210-220 °С. В зависимости от вида ткани допустимая удельная газовая нагрузка составляет 0,6-1,2 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>хмин) для хлопчатобумажной или шерстяной; 0,5-1 - для синтетической; 0,3-0,9 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>хмин) - для стеклоткани.

Нагнетательный рукавный фильтр работает следующим образом. Воздух под давлением поступает в верхнюю распределительную коробку и затем в матерчатые вертикальные рукава. Пройдя через рукава и оставив на их внутренней поверхности пыль, очищенный воздух выходит в атмосферу (помещение). Подвижная рама с проволочной сеткой при подъеме и опускании сжимает рукава в поперечном сечении, благодаря чему пыль сбрасывается в пылесборник и удаляется винтовым конвейером. Недостатком таких фильтров является неудовлетворительная очистка фильтрующей ткани, в результате чего значительно возрастает сопротивление фильтра и снижается его КПД.

Наибольшее распространение получил всасывающий рукавный фильтр, который состоит из ряда рукавов, заключенных в герметически закрытый корпус. Подлежащий очистке воздух подается через нижнюю приемную коробку в рукава, заглушенные сверху, проникает сквозь ткань рукавов и удаляется из корпуса через канал. Рукава фильтра очищаются от пыли с помощью специального встряхивающего механизма. Недостатком всасывающих фильтров является значительный подсос воздуха через неплотности (10-15% от объема поступающего на очистку воздуха).

Разработка и промышленное изготовление дешевых фильтровальных тканей, обладающих высокой эффективностью при достаточной механической прочности и стойкости в кислых и щелочных средах, например, при химическом полировании хрусталя, открывают пути для более широкого их применения. Так, фильтрующий материал «Бекинокс» (Великобритания) изготавливают как в виде штапеля, так и в виде длинных нитей различного диаметра из нержавеющей стали. Этот материал при скорости фильтрации 180 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>хч) имеет сопротивление 1200 Па и ту же эффективность, что и текстильные ткани. Он обладает высокой абразивной устойчивостью, температуростойкостью (до 500 °С), регенерируется любым известным способом и хорошо зарекомендовал себя при фильтрации газов, содержащих SO<sub>2</sub>.

Во Франции при очистке отходящих газов с температурой 400-500 °С применяют рукавные фильтры из металлического фетра, основа которого представляет собой металлическую сетку, наращенную слоем тонкой металлической нити определенной толщины и плотности. По скорости фильтрации, аэродинамическому сопротивлению, количеству потребляемой энергии фильтр идентичен рукавному фильтру из полиэфирного волокна.

Для случая, когда высокая фильтрующая способность должна сочетаться с высокой термостойкостью и стойкостью к агрессивной химической среде, фирма «Дюпон» (США) предлагает три вида материалов (войлок и ткани) для фильтрации сухих частиц: номекс (арамидное волокно), тефлон (фторуглерод) и тефэр-войлок, выполненный из смеси тефлона (85%) со стекловолокном (15%). Эти материалы выдерживают рабочую температуру 100-250 °С.

Небольшое количество тонких стеклянных волокон в тефлоне уменьшает его пористость и повышает улавливающую способность. Тефлоновые волокна, стойкие к истиранию, в свою очередь защищают стекловолокно от механических повреждений. Высокие эксплуатационные характеристики материала тефэр объясняются противоположными трибоэлектрическими свойствами обоих волокон смеси, которые создают электростатические заряды в ходе работы. Это способствует высокой эффективности улавливания войлоком субмикронных частиц. Однако, по данным фирмы, если фтористоводородная кислота, например, при химическом полировании хрусталя полностью не нейтрализуется, то в дымовых газах рекомендуется пользоваться 100%-ным тефлоном.

Отечественной промышленностью в настоящее время разработаны следующие тканевые фильтры [4]:

- а) с импульсной продувкой каждого каркасного рукава (ФРКИ и др.). Регенерация осуществляется под действием импульсов сжатого воздуха и без отключения секций;
- б) с комбинированным устройством регенерации - механическим встряхиванием и обратной посекционной продувкой (ФРУ и др.)
- в) с обратной посекционной продувкой (ФР и др.)
- г) с регенерацией механическим встряхиванием (ФР-6П и др.). Регенерация рукавов осуществляется вручную или с помощью электромеханического устройства.

В справочнике [7] подробно рассмотрены фильтры общепромышленного назначения, серийно выпускаемые специализированными заводами. Преимущественное развитие получили фильтры ФРКИ и ФРИ (рис. 5.4). Скорость фильтрования в этих аппаратах на 20-30% выше, чем в фильтрах

с механической регенерацией и обратной продувкой. При эффективной регенерации (короткими импульсами длительностью 0,1-0,2 с) общий срок службы рукавов в этих фильтрах более высокий, рукава меньше изнашиваются. Гидравлическое сопротивление обычно поддерживается на уровне 1000-1500 Па. Условное обозначение типоразмера фильтра: Ф- фильтр; Р - рукавный; К - каркасный; И - с импульсной продувкой; цифра после буквенных обозначений - активная поверхность фильтрации.

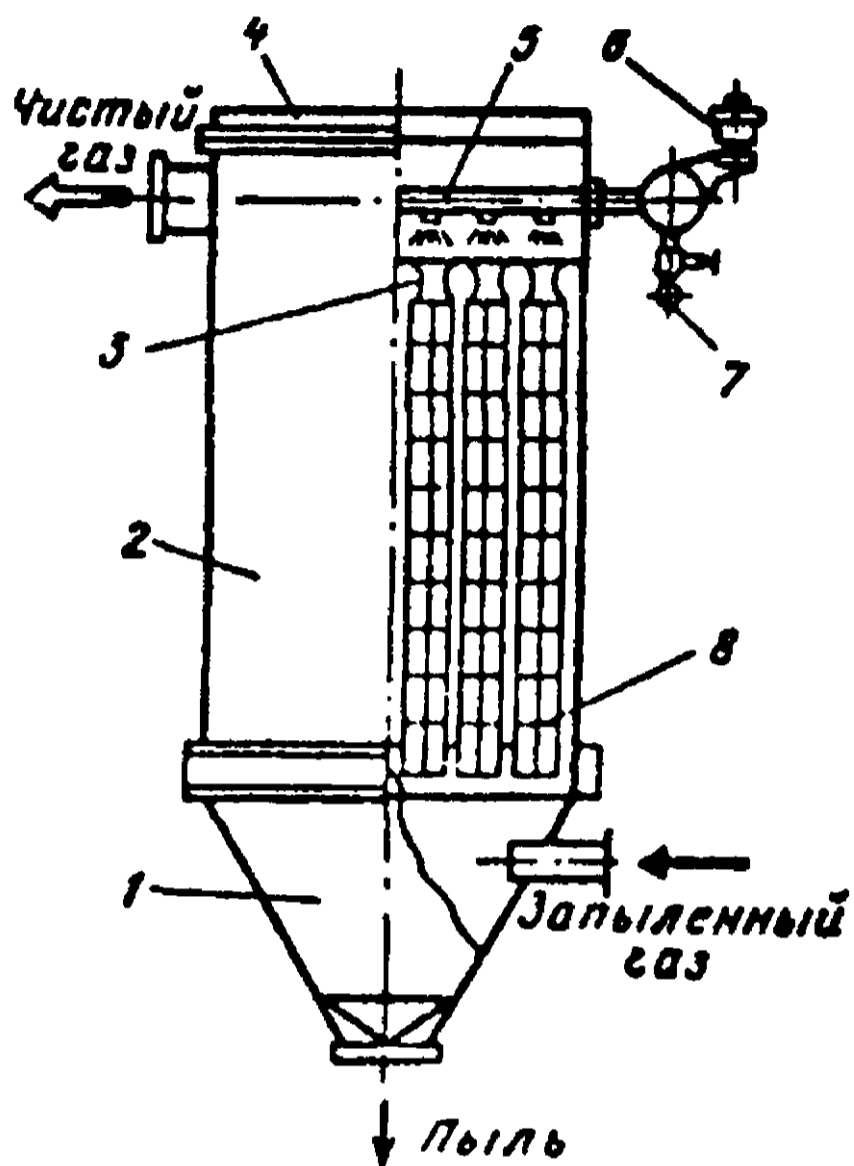


Рис. 5.4. Фильтр ФРКИ (ФРИ): 1 - бункер, 2 - корпус; 3 - диффузор-сопло; 4 - крышка; 5 - труба раздающая, 6 - секция клапанов; 7 - коллектор сжатого воздуха, 8 - секция рукавов

В процессе фильтрации запыленный газ проходит через ткань закрытых снизу рукавов внутрь, выходит через верхний коллектор и удаляется из аппарата. Каждый рукав в фильтре натянут на жесткий каркас и закреплен на верхней решетке. В качестве фильтрующего материала используют лавсан и фетр. В табл. 5.2 приведены основные технические характеристики фильтров рукавных каркасных с импульсной продувкой (ФРКИ).

Таблица 5.2

Показатели	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Поверхность фильтрации, м <sup>2</sup>	30	60	90	180	360

Технические характеристики рукавных фильтров

Продолжение таблицы 5.2

Показатели	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Число рукавов	36	72	108	144	288
высота рукава, м	2	2	2	3	2

Число электромагнитных клапанов	6	12	18	24	48
Число секций	1	2	3	4	8
Наибольший расход сжатого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	10	20	30	60	120
Габаритные размеры, мм	1458x2060x x3620	2820x2060x x3620	4140x2060x x3620	5480x2060x x4620	5850x4370x x4880
Масса, кг	1300	2500	2500	5500	10500

Примечание. Диаметр рукава 130 мм, гидравлическое сопротивление 1,2 кПа, давление продувочного воздуха 0,3-0,6 МПа, рабочее давление (разрежение) в аппарате до 5 кПа.

(5.2)

Периоды работы фильтра между регенерацией, встряхиванием или продувкой ориентировочно определяют в зависимости от входной запыленности газов:

Входная запыленность, г/м<sup>3</sup> 5      10      20

Периоды между регенерацией, мин 10-12    8-9      4-7

Пылеулавливание в цехах подготовки и переработки порошковых материалов является технической проблемой. Например, все звенья погрузочно-разгрузочных работ - потенциальные источники пыления, интенсивность которых зависит от технического уровня используемого оборудования и технологии перегрузки сыпучих и кусковых материалов. Наиболее полно задачи борьбы с образованием пыли и ее улавливанием решены для конвейерных линий и некоторых видов перерабатывающего оборудования [1].

В настоящее время для очистки таких отходящих газов от пыли применяют одноступенчатую очистку в циклонах ЦН-15, ЦН-11 или двухступенчатую с использованием дополнительного циклона-промывателя типа СИОТ или ЛИОТ. Однако они не обеспечивают требуемой степени очистки газов, что связано с зарастанием воздухопроводов в местах отделения сухого газа от пыли и газа от капель воды. Поэтому дополнительно используют пылеулавливающие установки, включающие сухие инерционные пылеуловители (циклоны групповые и батарейные), пористые фильтры (ленточные, рамные, рукавные со струйной импульсной и обратной продувкой, зернистые и др.).

Конструкция зернистого фильтра, представлена на рис. 5.5. Фильтр имеет корпус 1, фильтрующие элементы 4, бункер 5, систему импульсной регенерации 3. Фильтрующий элемент содержит четыре пары вертикально размещенных фильтрующих ячеек 2. Ячейка содержит наклонные непроницаемые перегородки, верхние и нижние сетки. Между сетками засыпаются частицы слоем 150 мм размером 3-5 мм дробленого материала из магнезита, доломита, гравия и т.д. Перегородки и сетки образуют каналы треугольного сечения, по которым очищенные газы через отверстия в боковине проходят в короб. В каналах для прохода очищенного газа устанавливают перфорированные трубки, служащие для циклической подачи сжатого воздуха из коллектора. Фильтрующие ячейки разделены перегородками на три равные части. При импульсной продувке нижние ячейки работают в режиме фильтрации, а верхние - в режиме регенерации.

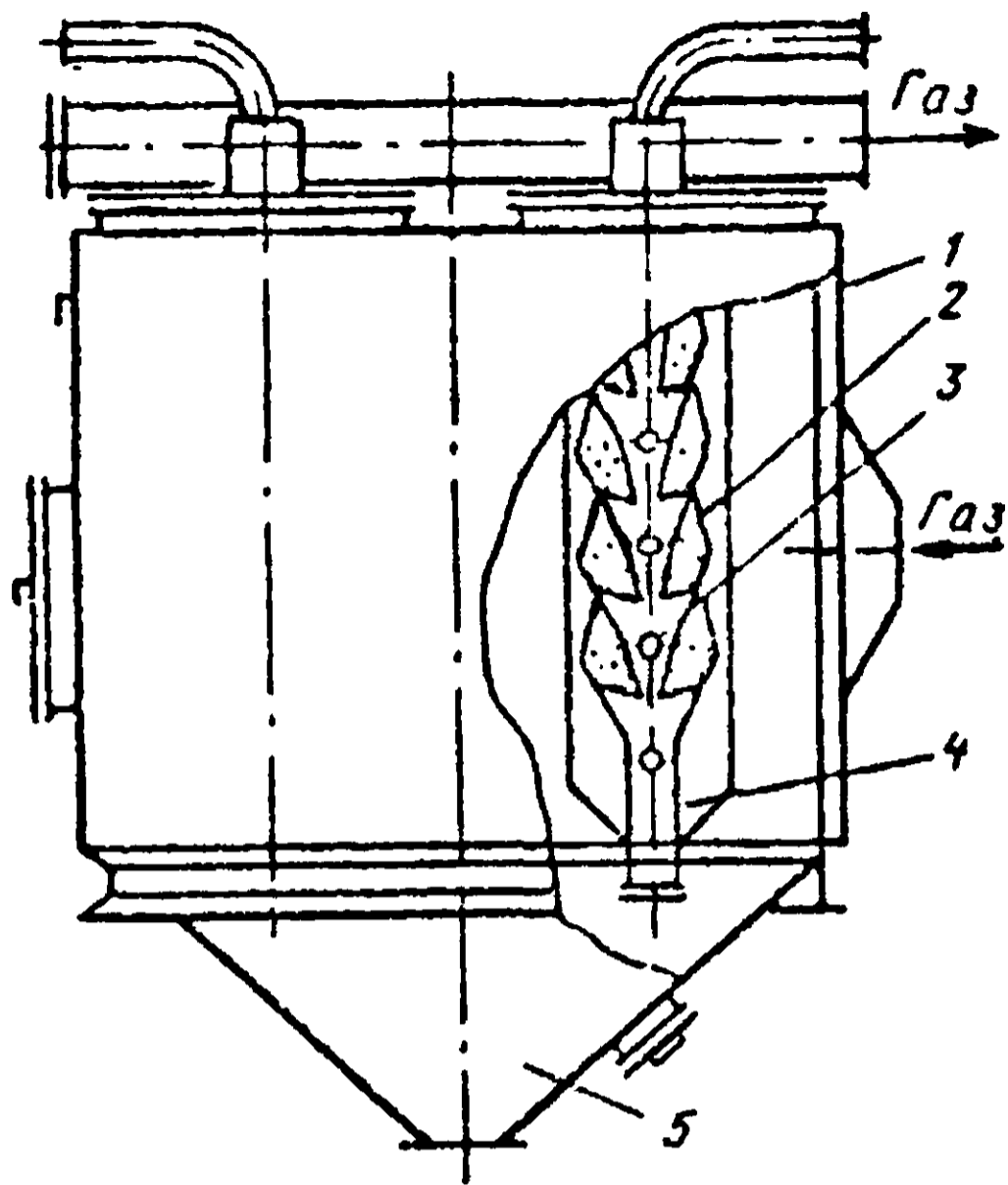


Рис. 5.5. Зернистый фильтр

Наряду с очисткой пылегазовых потоков важной задачей является также очистка и обезвреживание дымовых газов от продуктов сгорания топлива и других газообразных альтерогенов.

С этой целью часто применяют метод адсорбции. В сухом способе очистки дымовых газов фильтрация очищаемых выбросов происходит через неподвижный (адсорберы периодического действия) или движущийся слой твердого поглотителя - адсорбента (адсорберы непрерывного действия). Наиболее распространены адсорберы периодического действия, в которых период контактирования очищаемого газа с адсорбентом чередуется с периодом его регенерации. Конструктивно адсорберы (рис. 5.6) выполняются в виде вертикальных, горизонтальных либо кольцевых емкостей, заполненных пористым адсорбентом. Выбор конструкции определяется скоростью газовой смеси, размером частиц адсорбента, требуемой степенью очистки и рядом других факторов. Вертикальные адсорберы применяют при небольших объемах очищаемого газа, а горизонтальные и кольцевые при производительности до десятков и сотен м<sup>3</sup>/ч.

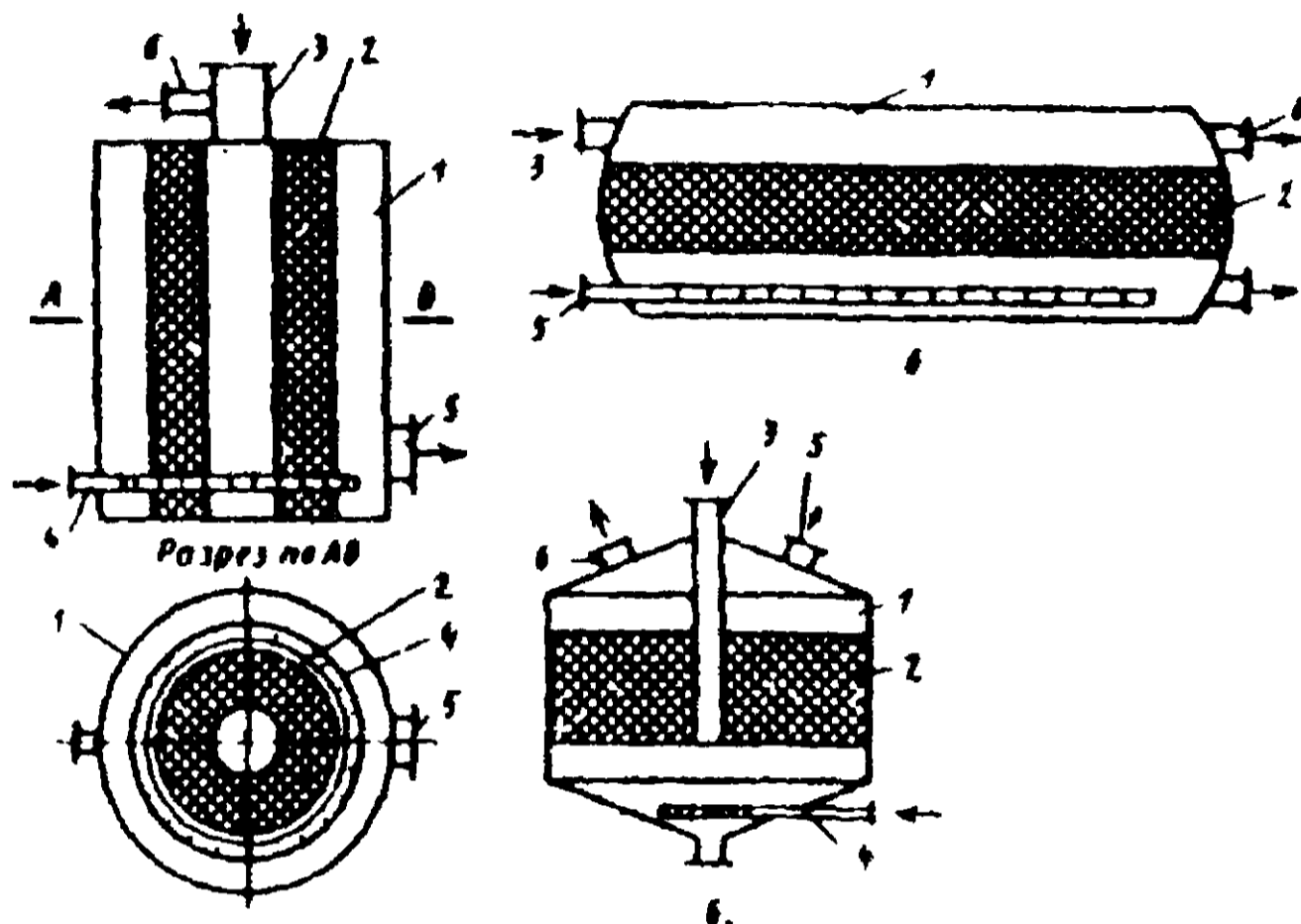


Рис. 5.6. Конструктивные схемы адсорберов: а - вертикальный; б - горизонтальный; в - кольцевой; 1 - адсорбер; 2 - слой активированного угля; 3 - центральная труба для подачи паровоздушной смеси при адсорбции, 4 - барботер для подачи острого пара при десорбции; 5- труба для выхода инертных по отношению к поглотителю газов при адсорбции, б - труба для выхода пара при десорбции.

При проектировании или выборе конструкции адсорбера используют следующие исходные данные: объемный расход очищаемого газа (м<sup>3</sup>/с), концентрацию удаляемой примеси (мг/м<sup>3</sup>) и давление отходящих газов (Па). В результате расчета определяют необходимую массу адсорбента, конструктивные размеры, гидравлическое сопротивление аппарата и время защитного действия адсорбера [8].

#### Электрофильтры

Метод электроосаждения (улавливания пыли в электрическом поле) заключается в следующем. Частицы пыли (или капельки влаги) сначала получают заряд от ионов газа, которые образуются в электрическом поле высокого напряжения, а затем движутся к заземленному осадительному электроду. Попав на заземленный уловитель, частицы прилипают и разряжаются. Когда осадительный электрод обрастает слоем частиц, они стряхиваются под воздействием вибрации и собираются в бункере. Схема электрического осаждения пыли представлена на рис. 5.7. [2].

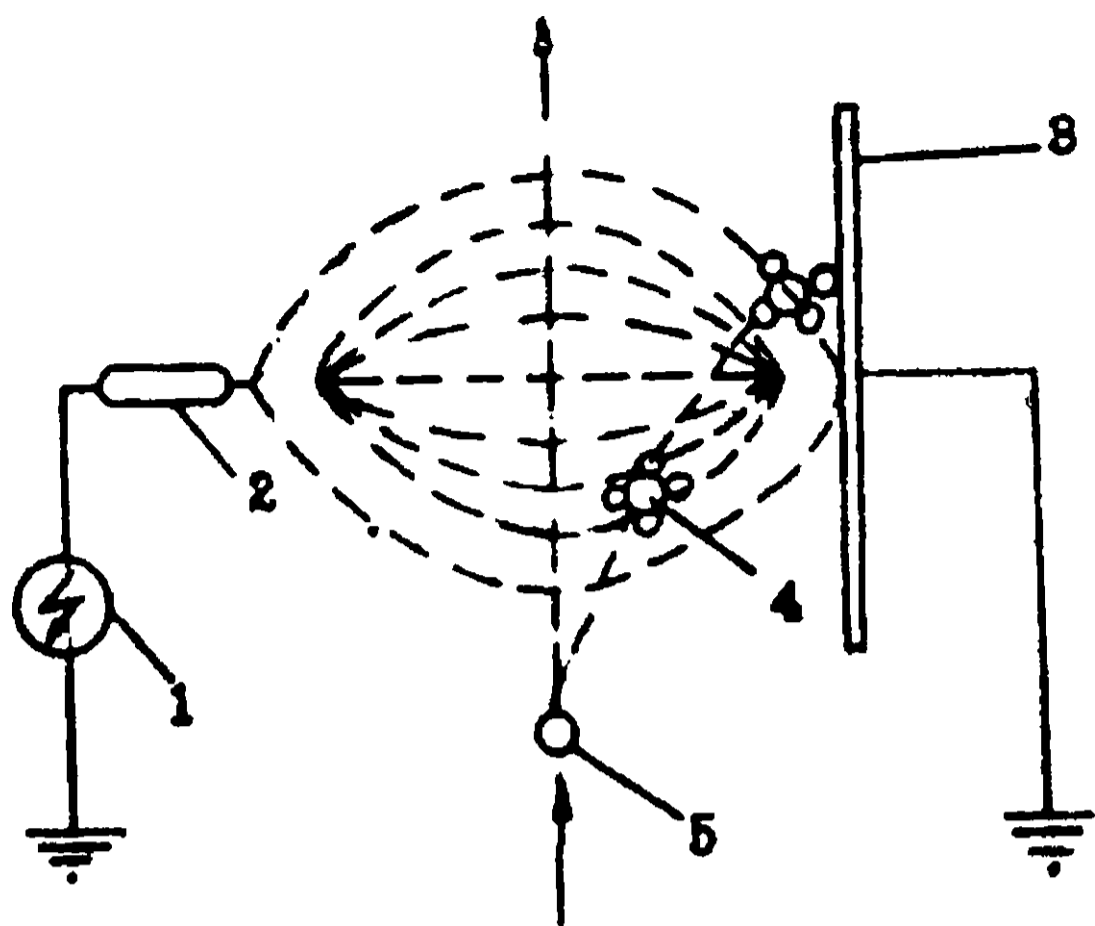


Рис. 5.7. Схема электрического осаждения пыли: 1 - источник электропитания; 2 - коронирующий электрод, 3 - осадительный электрод; 4 - ион газа, 5 - частица пыли

Электрофильтры применяются там, где необходимо очищать очень большие объемы газа и отсутствует опасность взрыва. Эти установки (рис. 5.8) используются для улавливания летучей золы на современных электростанциях, для улавливания пыли в цементной промышленности, а также в металлургии в мощных системах улавливания дыма, для пылеулавливания в системах кондиционирования воздуха и других смежных отраслях [4, 9].

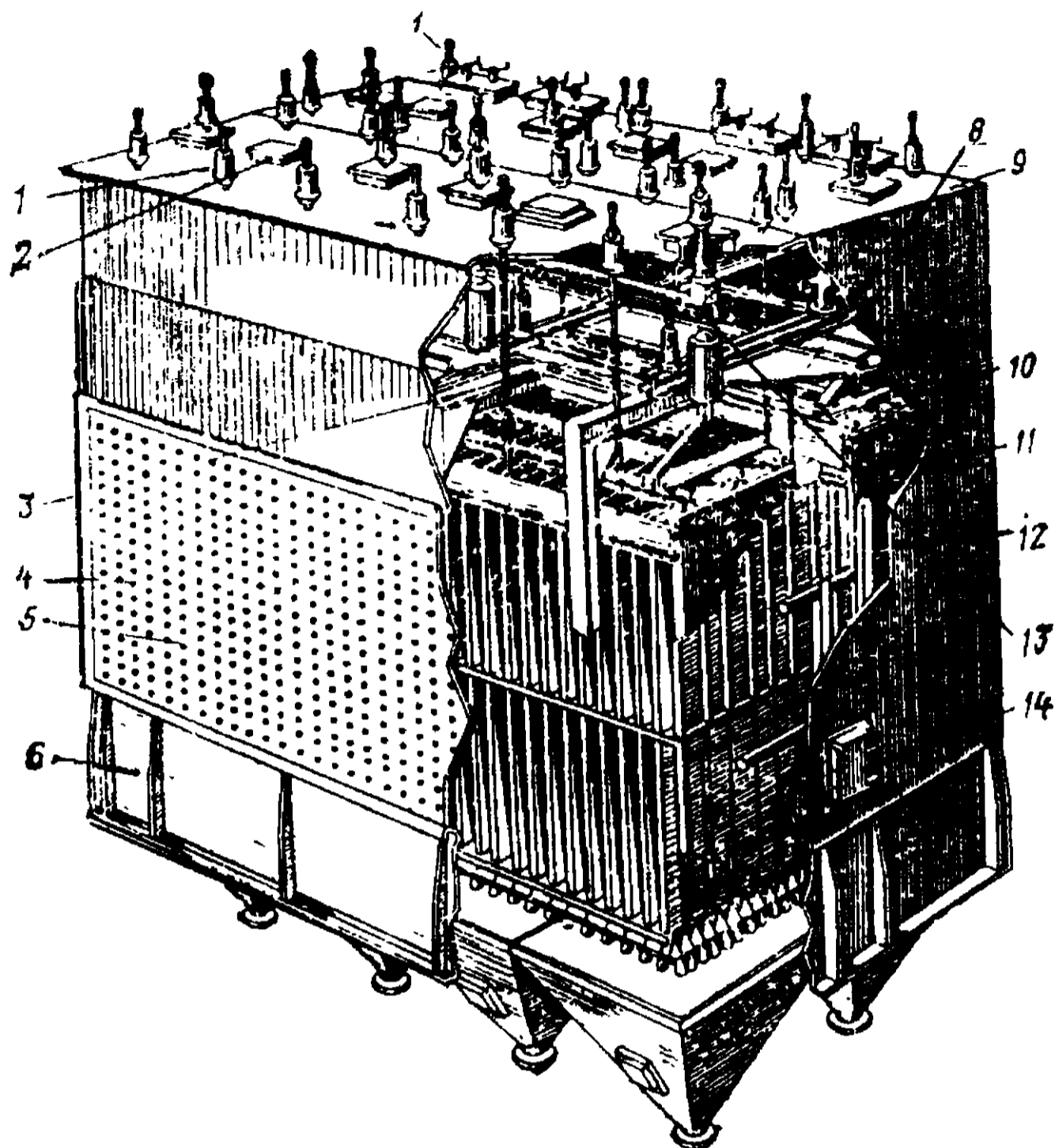


Рис. 5.8. Двухступенчатый электрофильтр горизонтального потока:

1 ~ комплект стяжителей для высоковольтных и собирательных электродов, 2 - отдельная заблокированная дверца смотрового люка; 3 - быстрооткрывающиеся панели для извлечения проволочных электродов без отключения установки; 4 - распорные стержни между осадительными электродами; 5 - дырчатый распределительный экран; 6 - станина, устанавливаемая непосредственно на опорных колоннах; 7 - заблокированное высоковольтное оборудование для каждой электрической секции; 8- площадка для размещения изоляторов и газонепроницаемых уплотнителей, 9 - скатная крыша; 10 - клиновидные опоры для проволочных электродов; 11 - упруго закрепленные собирательные электроды; 12 - пластинчатые и щитковые электроды; 13- упруго закрепленная высоковольтная рама; 14 - люк смотрового прохода между ступенями.

#### Аппараты мокрого пылегазоулавливания

При очистке газов от частиц пыли и для переработки газообразных отходов с целью извлечения из них полезных компонентов или их обезвреживания успешно применяются методы и оборудование, основанные на принципах мокрого пылеулавливания.

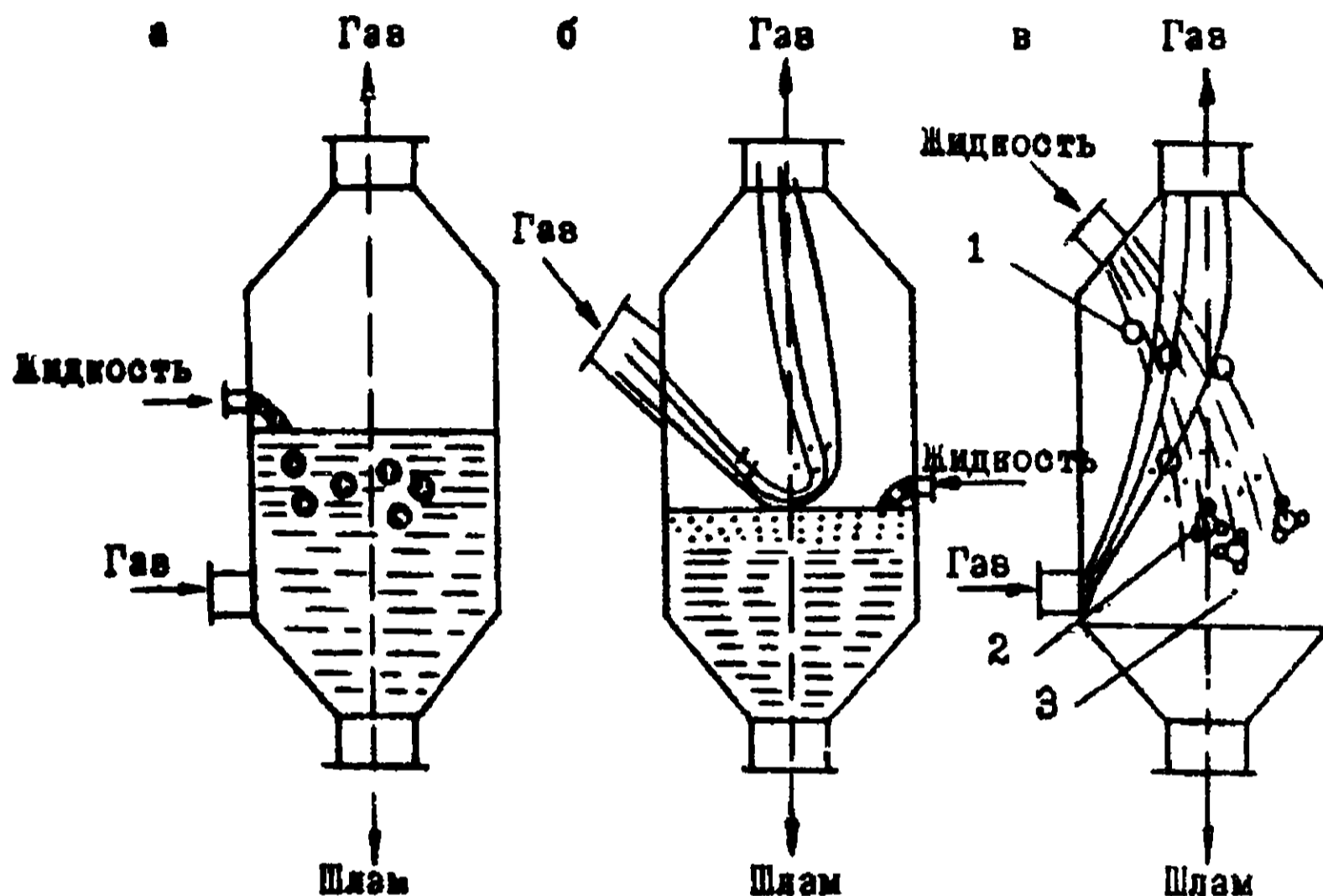
Целесообразно сочетание сухой и последующей мокрой очистки, которая в свою очередь может сочетаться с адсорбционной доочисткой.

Развитая поверхность контакта фаз способствует увеличению эффективности пылеулавливания. В промышленности используют мокрые пылеуловители (промыватели) капельного, пленочного и барботажного типов. Конструктивно аппараты могут быть полыми, тарельчатыми, механического и ударно-инерционного действия (ротоклоны), а также скоростного типа (трубы Вентури и другие инжекторы).



Необходимо стремиться к созданию мокрых промывателей с минимальным гидравлическим сопротивлением, работоспособных при низких расходах воды. Эффективность очистки пыли зависит от размеров улавливаемых частиц и от других свойств пыли. Необходимость концентрирования системы жидкость - твердое тело с возвратом очищенной воды на пылеулавливание, накопление в орошаемой жидкости растворимых компонентов пыли усложняет систему мокрого пылеулавливания.

В общем виде процесс улавливания пыли мокрым методом представляется как перенос твердой фазы из газовой среды в жидкую и удаление последней из аппарата вместе с твердой фазой [2,3]. В зависимости от формы контактирования фаз способы мокрой пылеочистки можно разделить на: 1 - улавливание в объеме (слое) жидкости; 2 - улавливание пленками жидкости; 3 - улавливание распыленной жидкостью в объеме газа (рис. 5.9).



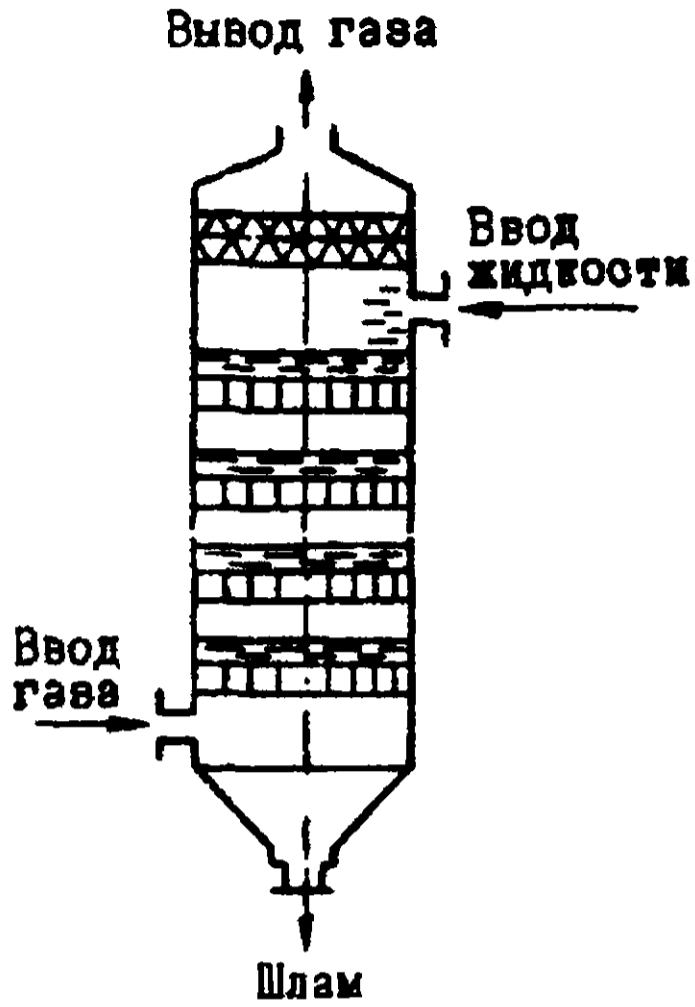
**Р и с . 5.9. Схемы основных способов мокрого пылеулавливания:**

**а – в объеме жидкости, б – пленками жидкости; в – распыленной жидкостью; 1 – пузырьки газа; 2 – капли жидкости, 3 – твердые частицы.**

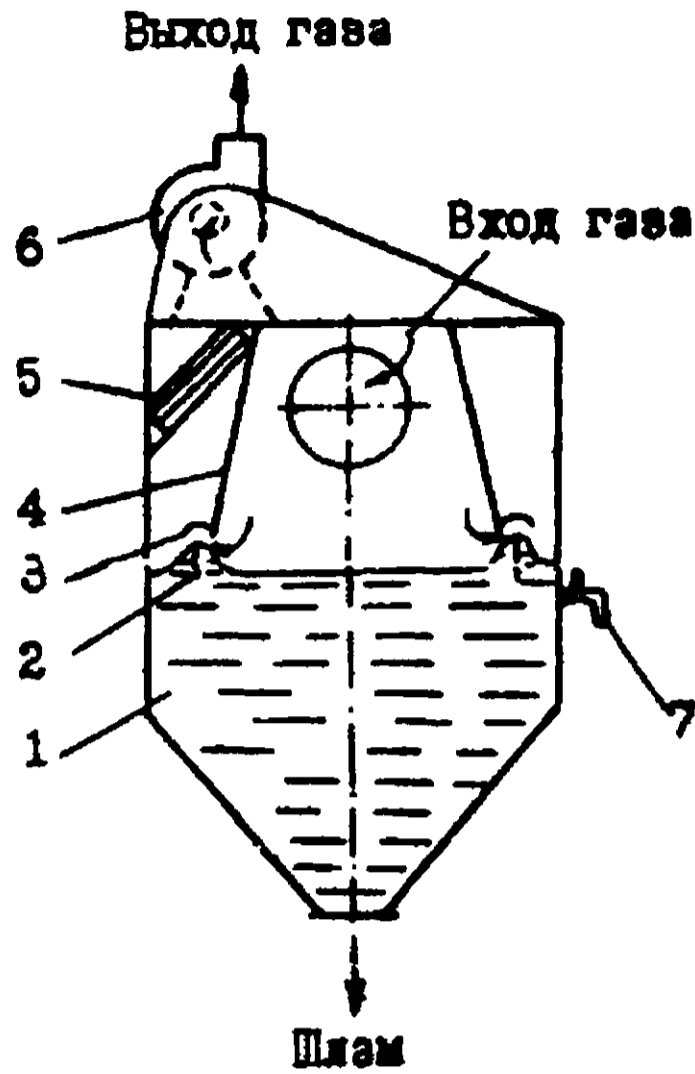
Скрубберы (газопромыватели).

При объемно-жидкостном способе поток запыленного газа пропускают через определенный объем жидкости. Для этой цели используют пенные пылеуловители с провальными тарелками или тарельчатые скрубберы, эффективность которых может достигать 90-95%. На рис. 5.10 представлен тарельчатый скруббер.

Улавливание пыли пленками жидкости характеризуется тем, что контакт газа и жидкости происходит на границе двух сред без перемешивания. Захват (собственно улавливание) твердых частиц тонкими пленками жидкости происходит на поверхностях конструктивных элементов. К этой группе устройств относятся скрубберы с насадкой, мокрые циклоны, ротоклоны и т.п. На рис. 5.11 показана схема пылеуловителя вентиляционного мокрого (ПВМ).



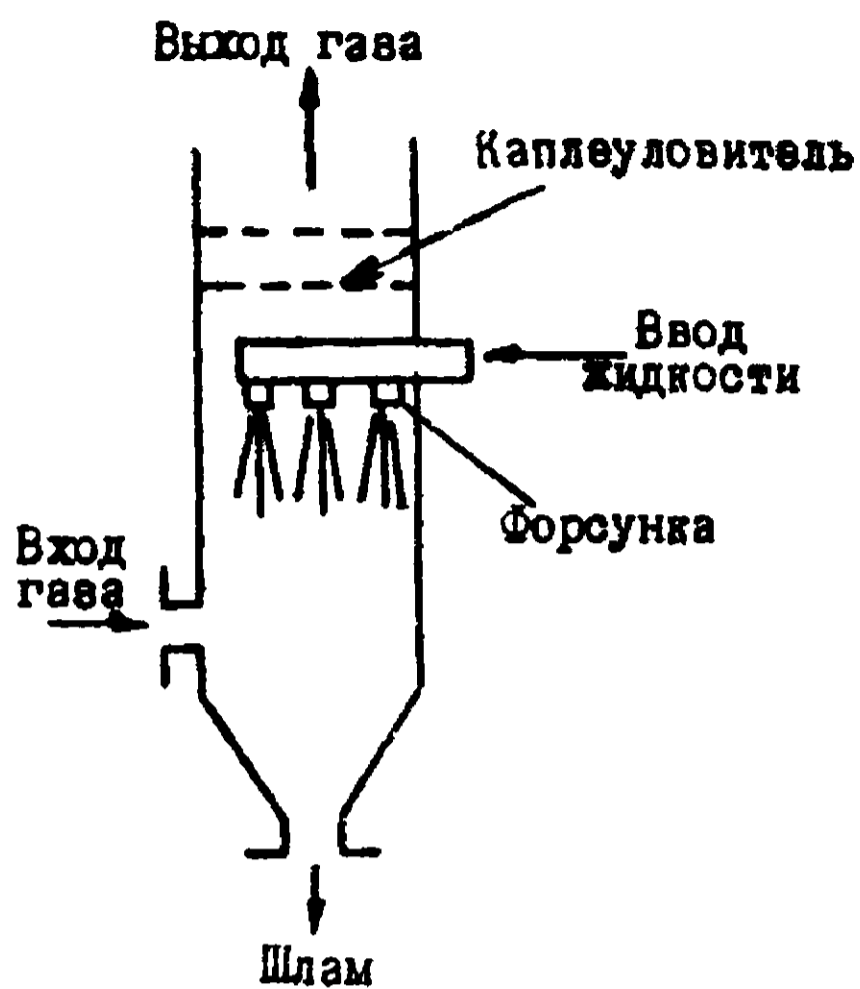
**Рис. 5.10. Тарельчатый скруббер:**  
1 – каплеуловитель, 2 – тарелка.



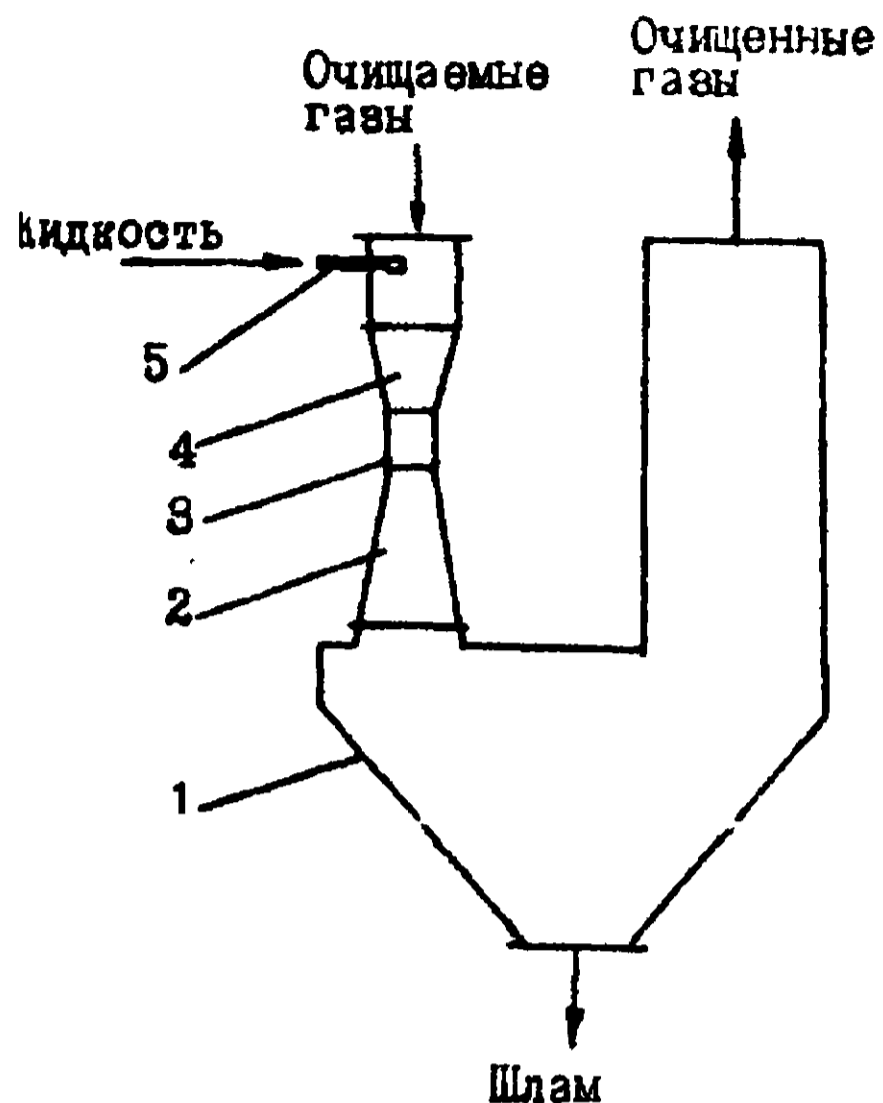
**Рис. 5.11. Пылеуловитель ПВМ:**  
1 – корпус; 2, 4 – перегородки, 3 – водоотбойник; 5 – каплеуловитель, 6 – вентиляционный агрегат; 7 – устройство для регулирования уровня воды

Улавливание пыли распыленной жидкостью заключается в том, что орошающая жидкость вводится в запыленный объем (поток) газа в распыленном или дисперсном виде. Распыление орошающей жидкости производится с помощью форсунок под давлением или за счет энергии самого потока газа. Первый способ распыления используется в полых скрубберах

(рис. 5.12), второй - в турбулентных промывателях и скрубберах Вентури (рис. 5.13).



**Р и с . 5.12. Полюй форсуночный скруббер**



**Р и с . 5.13. Скруббер Вентури:**  
1 – каплеуловитель; 2 – диффузор, 3 – горловина; 4 – конфузор, 5 – устройство для подачи воды.

Скрубберы Вентури (сочетание трубы с каплеуловителем центробежного типа) обеспечивают очистку газов от частиц пыли практически любого дисперсного состава. В зависимости от физико-химических свойств улавливаемой пыли, состава и температуры газа выбирают режим работы скруббера Вентури. Скорость газа в горловине может быть 30-200 м/с, а удельное орошение 0,1-6 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Эффективность очистки от пыли зависит от гидравлического сопротивления. Скрубберы Вентури эффективно работают при допустимой запыленности очищаемых газов 30 г/м<sup>3</sup>, предельной температуре очищаемого газа 400 °С, удельном орошении 0,5-2,5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> и гидравлическом сопротивлении 6-12 кПа.

Характеристика труб типа ГВПВ (газопромыватель Вентури прямоточный высоконапорный) приведена в т а б л . 5.3. Конструкция часто дополняется каплеуловителем циклонного типа (КЦТ), который обеспечивает улавливание капель при содержании жидкости не более 1 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, температуре не выше 80°С, концентрации капельной влаги после сепарации 70 мг/м<sup>3</sup>. Гидравлическое сопротивление 350 Па и производительность КЦТ 1700-82500 м<sup>3</sup>/ч.

## Технические характеристики скруббера Вентури

Типоразмер	Объем газов на выходе, м <sup>3</sup> /ч	Диаметр горловины, мм	Расход орошаемой жидкости, м <sup>3</sup> /ч	Давление жидкости перед форсункой, кПа
ГВПВ-0,006	1700-3500	85	1,18-3,2	180-370
ГВПВ-0,03	9320-18900	200	6,5-13	60-250
ГВПВ-0,08	23460-47600	320	16,8-45	80-570
ГВПВ-0,140	41400-84000	420	28,8—46	130-320

Скрубберы Вентури типа СВ-Кк (комплект скруббер-сепаратор, один или два) имеют следующие характеристики:

Объем очищаемых газов, м<sup>3</sup>/ч 50000-500000

Расход орошаемой жидкости, м<sup>3</sup>/ч 65-400

Температура очищаемых газов, °С до 120

Концентрация взвешенных частиц, мг/м<sup>3</sup> до 10000 Удельное орошение, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> 0,5-3,5

Гидравлическое сопротивление, кПа 4-12

Созданы скрубберы центробежные, вертикальные, батарейные СЦВБ-20, обеспечивающие производительность по газу 9000-20000 м<sup>3</sup>/ч при температуре не выше 60 °С, запыленности не более 10 г/м<sup>3</sup> и гидравлическом сопротивлении скрубберов 1,7 кПа.

Мокрую очистку газов с частицами 2-3 мкм можно проводить в скрубберах центробежного типа СЦВП, в которых жидкость дробится непосредственно запыленным газом. Шлам, оседающий в нижней части скруббера, выводится эрлифтом в контейнер, а осветленная жидкость вновь возвращается в скруббер. Производительность таких аппаратов 5000-20000 м<sup>3</sup>/ч, допустимая запыленность 2 г/м<sup>3</sup>, температура газов 80 °С, гидравлическое сопротивление 2,4 кПа, расход воды на очистку 0,05 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

Разработаны скрубберы ударно-инерционного типа с пылеуловителями вентиляционными мокрыми. Производительность таких скрубберов 3000- 40000 м<sup>3</sup>/ч. Запыленность газов 10 г/м<sup>3</sup>, гидравлическое сопротивление аппарата 0,8-2 кПа, расход воды 10-40 г на 1 м<sup>3</sup> очищаемого воздуха.

Для химической очистки газов от соединений фтора с содержанием до 1 г/м<sup>3</sup> можно рекомендовать скрубберы с шаровой подвижной насадкой и полые. Очистку производят растворами гидроксида или карбоната натрия.

Эффективность очистки газов от пыли зависит от дисперсности, плотности, склонности к слипанию, сыпучести, абразивности, смачиваемости, гигроскопичности, растворимости и др. Однако основным параметром при выборе пылеуловителя является размер частиц. Необходимо знать дисперсный состав пыли, задаваемый в виде таблиц или интегральных кривых. Гранулометрический состав большинства видов пыли подчиняется

нормально логарифмическому закону распределения частиц по размерам.

Для очистки или обезвреживания газообразных отходов или технологических газов с целью извлечения из них сопутствующих (полезных) газообразных компонентов широко используют метод абсорбции. Абсорбция основана на непосредственном взаимодействии газов с жидкостями. Различают физическую абсорбцию, основанную на растворении газа в жидкости, и хемосорбцию, в основе которой лежит химическая реакция между газом и жидким поглотителем.

Абсорбенты, применяемые для очистки отходящих газов

Абсорбционной очистке подвергают газообразные отходы, содержащие один или несколько извлекаемых компонентов. В зависимости от используемого абсорбента (табл. 5.5) и его селективности можно выделить либо один компонент, либо последовательно несколько. В результате абсорбции получают очищенный газ и насыщенный раствор, который должен быть легко регенерируемым с целью извлечения из него полезных газов и возвращения его на стадию абсорбции [2].

Таблица 5.5

Поглощаемые компоненты	Абсорбенты
Оксиды азота N <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NO <sub>s</sub>	Вода, водные растворы и суспензии: NaOH, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaHCO <sub>3</sub> , KOH, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , KHC03, Ca(OH) <sub>2</sub> , CaCO <sub>3</sub> , Mg(OH) <sub>2</sub> , MgCO <sub>3</sub> , Ba(OH) <sub>2</sub> , BaCO <sub>3</sub> NH <sub>4</sub> HC03
Продолжение таблицы 5.5	
Поглощаемые компоненты	Абсорбенты
Оксид азота NO	Растворы FeCl <sub>2</sub> , FeSO <sub>4</sub> t Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NaHCO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> S03, NaHS03
Диоксид серы SO <sub>2</sub>	Вода, водные растворы: Na <sub>2</sub> S03 (18-25%-ные), NH <sub>4</sub> OH (5-15%-ные), Ca(OH) <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (15-20%-ные), NaOH (15-25%-ные), KOH, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> S03 (20-25%-ные), ZnSO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> : суспензии CaO, MgO, CaCO <sub>3</sub> , ZnO, золы; ксилидин - вода в соотношении 1:1, диметиланилин C <sub>6</sub> H <sub>3</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>2</sub>
Сероводород H <sub>2</sub> S	Водный раствор Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> +Na <sub>2</sub> AsO <sub>4</sub> (Na <sub>2</sub> HAsO <sub>3</sub> ); водный раствор As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (8-10 г/л)+NH <sub>3</sub> (1,2-1,5 г/л)+(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> AsO <sub>3</sub> (3,5-6 г/л); моноэтаноламин (10-15%-ный раствор); растворы K <sub>3</sub> P04 (40-50%-ный раствор); растворы K <sub>3</sub> P04 (40-50%-ные), NH <sub>4</sub> OH, K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , CaCN <sub>2</sub> натриевая соль антрахинондисульфокислоты
Оксид углерода CO	Жидкий азот; медно-аммиачные растворы [Cu(NH <sub>3</sub> )] <sub>n</sub> x xCOH
Диоксид углерода CO <sub>2</sub>	Водные растворы Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> NaOH, KOH, Ca(OH) <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> OH, этаноламины RNH <sub>2</sub> , R <sub>2</sub> NH <sub>4</sub>
Хлор Cl <sub>2</sub>	Растворы NaOH, KOH, Ca(OH) <sub>2</sub> Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , MgCO <sub>3</sub> , CaCO <sub>3</sub> , Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; тетрахлоридметан CCl <sub>4</sub>
Хлористый водород HCl	Вода, растворы NaOH, KOH, Ca(OH) <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Соединения фтора HF, SiF <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , NaOH, Ca(OH) <sub>2</sub>

Требования, которым должна удовлетворять абсорбционная аппаратура, вытекают из физического представления явлений массопереноса в системах газ - жидкость. Так как процесс массопереноса протекает на поверхности раздела фаз, то в конструкциях аппаратов необходимо ее максимально развивать.

Для поверхностных абсорберов характерным является конструктивно образованная поверхность, по которой в пленочном режиме стекает абсорбент (жидкость). Наиболее распространенной конструкцией таких про- тивоточных абсорберов являются хорошо известные насадочные. В качестве насадки применяют кольца Рашига, кольца Палля, седла Берля и другую насадку. Насадочные аппараты сложны, так как необходимо создать опорную решетку, оросители, обеспечить эффективное улавливание капель абсорбента.

В распыливающих абсорберах межфазная поверхность образуется мелкими каплями путем дробления, распыления жидкости. В объеме аппарата с помощью форсунок создаются капли, контактирующие с газовым потоком.

В механических абсорберах жидкость распыляется в результате подвода извне механической энергии, например, вращения валков или специальных распылителей. Эти конструкции достаточно сложны.

В поверхностных и распыливающих абсорберах сплошной фазой является газ, а распределенной - жидкость. В барботажных абсорберах в сплошном потоке жидкости распределяется газ, что достигается на так называемых тарелках. Режим, в котором работают такие абсорберы, называют барботажным.

При создании промышленных систем очистки газов абсорбционными методами необходимо различать схемы с одно- и многократным использованием абсорбента. В последней схеме абсорбция сочетается с десорбци- онными процессами. Однократное использование абсорбента характерно для процессов с низкой стоимостью поглотителя или когда после поглощения образуется готовый (целевой) продукт. Так как в очищаемом газе содержится незначительное количество улавливаемого компонента, то осуществляется циркуляция абсорбента, но без его регенерации.

Существенным недостатком сорбционных методов очистки (абсорбционных и адсорбционных) выбросных газов является необходимость многократной регенерации поглощающих растворов или частичной замены твердого сорбента, что значительно усложняет технологическую схему, увеличивает капитальные вложения и затраты на эксплуатацию.

## Комбинированные методы и аппаратура очистки газов

Комбинированные методы и аппаратура очистки газов являются весьма экономичными и наиболее высокоэффективными. Рассмотрим конструкции аппаратов и технологическую схему очистки на примере очистки запыленного воздуха и газов стекольного производства.

Для обеспыливания процессов сушки, измельчения, просеивания, смешивания и транспортирования сырьевых материалов разработан гидродинамический пылеуловитель ГДП-М (рис. 5.15) производительностью по очищаемому воздуху от 3000 до 40000 м<sup>3</sup>/ч. Принцип работы аппарата основан на барботаже запыленного воздуха (газа) через слой пены, образующейся на газораспределительной решетке. Решетка при этом погружена в пылесмачивающую жидкость. Запыленный газ поступает в подрешеточное пространство и, вытеснив на решетку часть воды, образует на ней слой высокотурбулентной пены. Пройдя через отверстия, газ очищается от пыли в момент контакта с пылесмачивающей жидкостью. Очищенный газовый поток поступает в центробежный каплеотделитель, а затем выбрасывается в атмосферу. Пылеуловитель имеет следующие характеристики :

Производительность, м<sup>3</sup>/ч 3000-40000

Удельная нагрузка по газу, м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>хч) 6500

Гидравлическое сопротивление, Па 1400-1900

Температура очищаемых газов, °С до 300

Расход воды на очистку 1000 м<sup>3</sup> газа, л 15-50

Установочный объем, м<sup>3</sup> 2,5

Масса, кг 120

Аппарат ГДП-М максимальной эффективностью обладает на второй ступени очистки (после циклонов) газов от мелкодисперсной пыли.

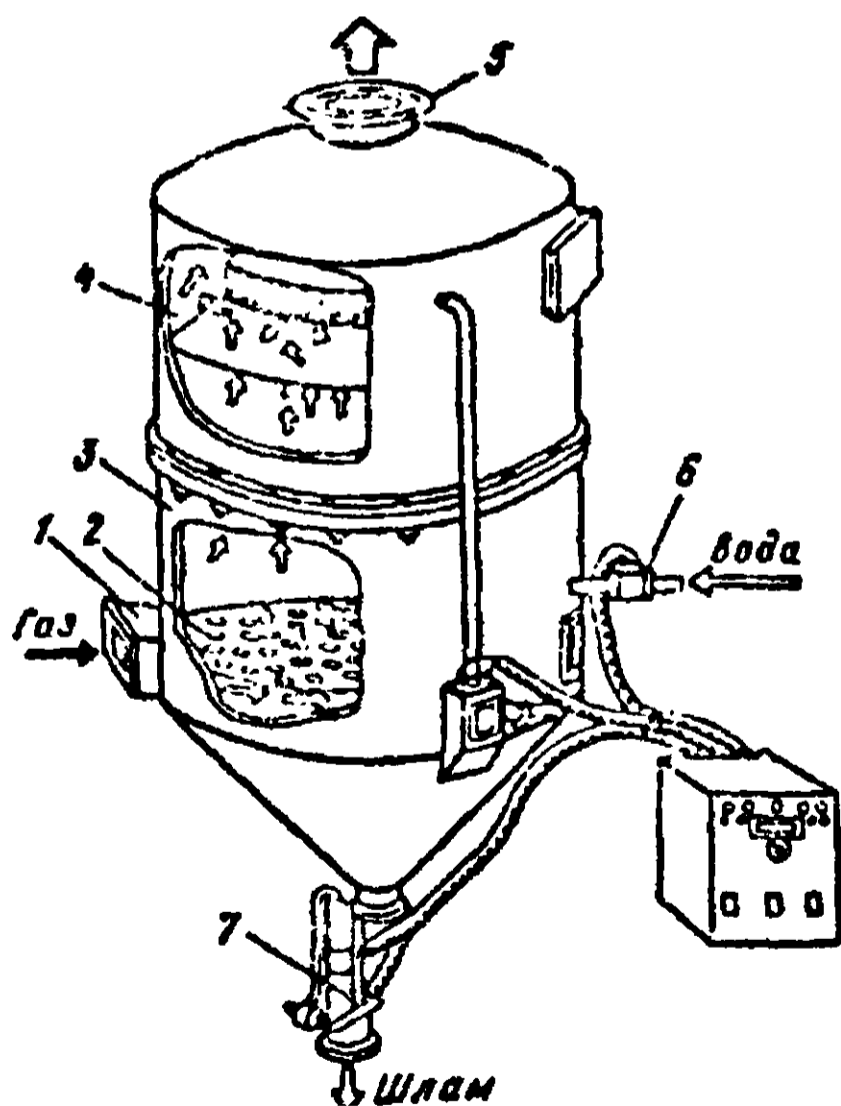


Рис. 5.15. Гидродинамический пылеуловитель ГДП-М: 1 - входной патрубок; 2 - газораспределительная решетка; 3 - корпус; 4 - каплеотделитель; 5 - выходной патрубок; 6 - регулятор подачи воды; 7 - разгрузочное устройство.

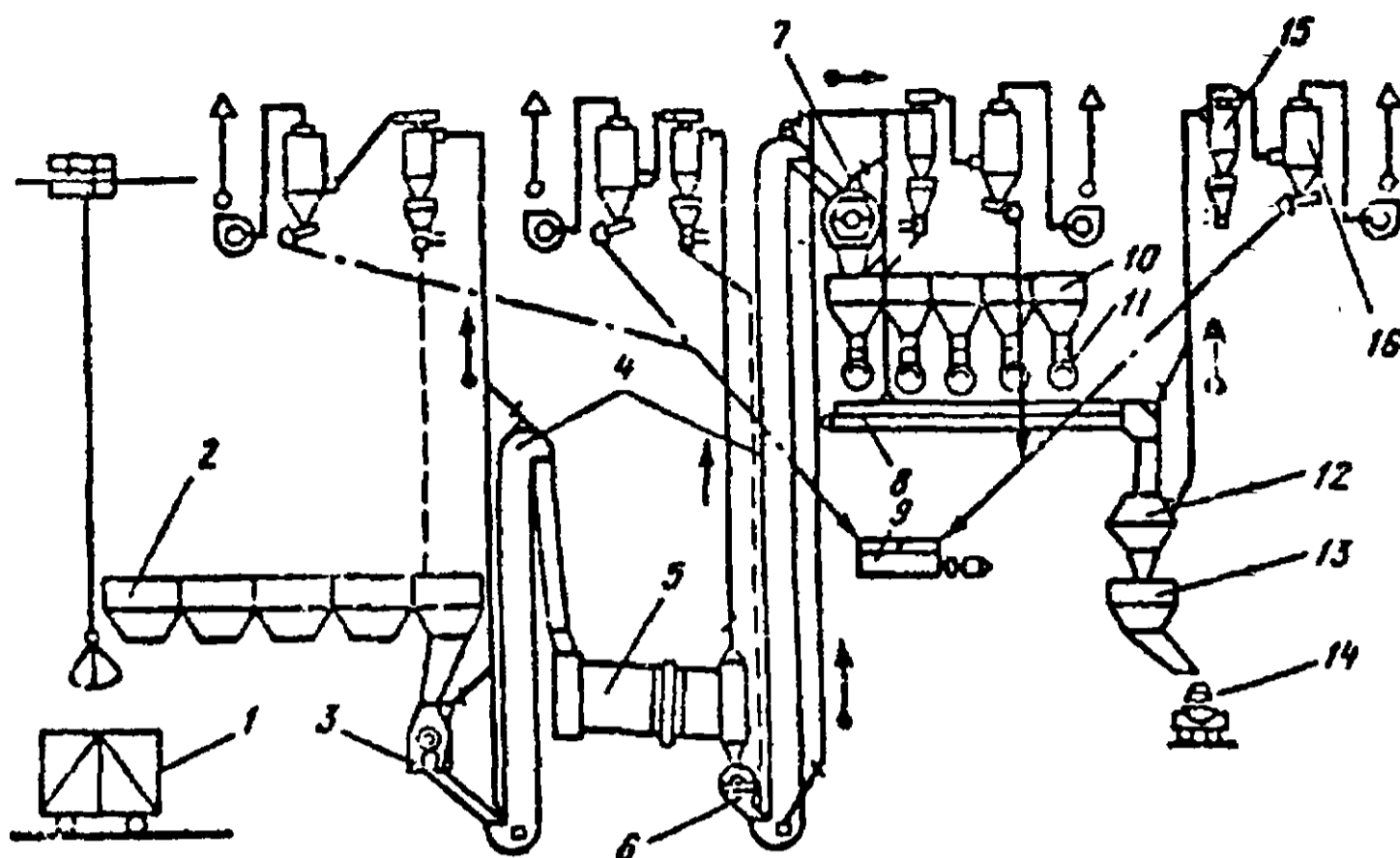


Рис. 5.16. Схема очистки технологических выбросов: 1 - железнодорожный вагон; 2 - приемный бункер; 3 - щековая дробилка; 4 - элеватор; 5 - сушильный барабан; 6 - дробилка; 7 - сито-бураг; 8 - ленточный конвейер; 9 - отстойник; 10 - бункер сырья; 11 - весы; 12 - смеситель шихты; 13 - бункер шихты; 14 - кубель; 15 - циклон ЦН-15; 16 - пылеуловитель ГДП-М.

На рис. 5.16 показан один из вариантов принципиальной схемы комплексной очистки технологических выбросов составных цехов (дозировочно-смесительных отделений). Уловленная циклоном пыль возвращается в расходный бункер соответствующего сырьевого материала. Шлам, образующийся при работе мокрого пылеуловителя, отстаивается и высушивается, после чего может использоваться как добавка к шихте после соответствующей корректировки ее состава. Осветленная вода из отстойника возвращается для повторного использования в пылеуловитель.

Показатели, характеризующие эффективность схемы очистки (содержание пыли в очищаемых газах снижается до нормируемых пределов), приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6

Эффективность комбинированной схемы очистки

Материал	Технологический процесс	Количество очищаемого воздуха, м <sup>3</sup> /ч	Запыленность г/м <sup>3</sup>			Степень очистки, %	
			на входе	после циклонов ЦН-15	на выходе	циклоном ЦН-15	пылеуловителем ГДП-М
Песок	Сушка	7000	30	6,5	0,036	78,3	99,38
	Просеивание	2900	21,4	5,1	0,016	76,1	99,68
	Дробление и сушка	11200	18,3	5,8	0,042	68,3	99,2
Доломит	Просеивание	3600	21,9	4,8	0,018	78	99,6
Мел	Сушка	29530	14,9	3,9	0,066	73,8	98,3
Карбонат натрия	Пневмотранспортирование	1900	5,6	2,5	0,023	55,4	99,08

Содосуль- фатная смесь	Сушка	4000	21,8	6,1	0,023	71,9	99,62
	Просеивание	2800	22,8	4,3	0,014	81	99,67
Сырьевые компоненты	Транспортирование и смешивание	2500	30	3,6	0,012	88	99,66

Рекомендуемые режимные параметры и варианты комбинаций аппаратов для других схем очистки газов от различных пылей приведены в табл. 5,7.



05 00

## Режимные параметры и варианты комбинаций пылеулавливающих аппаратов

Тип оборудования	Объем отходящих газов, м3/ч	Характеристика по группам классификации							Рекомендуемое число ступеней очистки	Примечание
		пылегазовый поток			пыль					
		запыленность, г/м3	температура, °C	точка росы, °C	основная фракция, %	смачиваемость, %	слипаемость, Ю2 Па (Н/м2)	удельное электрическое сопротивление, Ом м		
Пылевые пылительные аппараты	6000- 26000	7,2-16,1	120- 160	67- 75	<20 мкм 72-96	Хорошо смачиваемая, 94-98	Неслипа- ющаяся, слабосли- пающая, 0-1,9	Вторая группа (1x10 <sup>6</sup> - 3,5x10 <sup>8</sup> )	2	Аппарат
Смачиваемые печи	16000- 30000	7,5-15,9	180- 230	40- 48	>20 мкм 49-52	Хорошо и средне- смачиваемая, 50-86	Неслипа- ющаяся, слабосли- пающая, 0-1,2	Третья группа (6x10 <sup>9</sup> -2,5x10 <sup>10</sup> )	2	Аппарат
Сухая печь (с загрузкой)	4600	1,1	1,55				Неслипа- ющаяся	7x10 <sup>9</sup>	1	Точка росы
Водоструйная пылеуловительница	7000	185-236	320		<20 мкм 54	Хорошо смачиваемая, 97	Слабосли- пающая, 0,95	Третья группа (1x10 <sup>10</sup> )	2	Аппарат
Сильный пылеуловитель	35000- 45000	13,6- 15,0	155- 225	40- 53	>20 мкм 52-72	Хорошо смачиваемая, 92	Неслипа- ющаяся	Третья группа	2	Точка росы

### 3. НОРМИРОВАНИЕ И СНИЖЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНОЙ СРЕДЫ

Нормирование загрязнения водной среды осуществляется в рамках принципов гигиенического нормирования, но в то же время имеет ряд особенностей. Нормативы качества воды устанавливаются по-разному, в зависимости от характера использования водоемов: для хозяйственно-питьевого водоснабжения, для рекреационных или рыбохозяйственных целей. Соответственно, различают предельно допустимые концентрации для разных категорий водоемов:

**ПДК<sub>в</sub>** – предельно допустимая концентрация, которая не должна оказывать прямого или косвенного влияния на организм человека в течение всей жизни и на здоровье последующих поколений, а также не должна ухудшать гигиенические условия водопользования,

**ПДК<sub>рх</sub>** – предельно допустимая концентрация вещества в воде водоема, используемого для рыбохозяйственных целей.

Установление ПДК требует длительных дорогостоящих исследований, при их отсутствии на основе экспрессных оценок временно устанавливаются ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ). Для водоемов, используемых в хозяйственно-питьевых и рекреационных целях, установлено 14 основных показателей состава и свойств воды (*содержание взвешенных веществ, плавающие примеси, запахи и привкусы, окраска, температура, рН, общее солесодержание, растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода, химическое потребление кислорода, содержание возбудителей заболеваний, содержание лактозоположительных кишечных палочек, содержание колифагов, содержание токсичных веществ*), в т.ч. ПДК для 420 веществ.

Нормативы качества воды водных объектов питьевого, хозяйственно-бытового и рекреационного водопользования распространяются на створы, расположенные на водотоках в одном километре выше ближайшего по течению пункта водопользования (водозабор для хозяйственно-питьевого водоснабжения, места купания, организованного отдыха, территория населенного пункта и т.п.), а на непроточных водоемах и водохранилищах - в одном километре в обе стороны от пункта водопользования.

Для водоемов, используемых в рыбохозяйственных целях, установлено 11 основных показателей состава и свойств воды (*содержание взвешенных веществ, плавающие примеси, запахи и привкусы, окраска, температура, рН, минерализация, растворенный кислород, биохимическое потребление кислорода, токсичность воды по тест-объектам, содержание химических веществ*), в т.ч. ПДК для 1204 веществ.

Поскольку ПДК<sub>рх</sub> определяется исходя из требования устойчивости популяций ихтиофауны, по своему содержанию они максимально (в сравнении с другими нормативами) приближаются к экологическим ПДК [62]. При этом, согласно «Правилам охраны поверхностных вод...» [80], требование соблюдения ПДК распространяется не на все акватории водоемов, а лишь на места водопользования и створы на расстоянии до 1 км от таких мест. Отнесение водоемов к категории рыбохозяйственных входит в компетенцию местных органов управления водным хозяйством; практически рыбохозяйственными считаются все водоемы, за исключением отстойников сточных вод и т.п. Различают **3 категории рыбохозяйственных водоемов**:

- к высшей категории относятся места расположения нерестилищ, массового нагула и зимовальных ям особо ценных и ценных видов рыб и других промысловых водных организмов, а также охраняемые зоны хозяйств любого типа для искусственного разведения и выращивания рыб, других водных животных и растений;

- к первой категории относятся водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих высокой чувствительностью к содержанию кислорода;

- к второй категории относятся остальные водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей.

Таблица 5.7

Нормативы качества поверхностных вод рыбохозяйственного назначения или их природный состав и свойства (в случае природного превышения этих нормативов) соблюдаются на протяжении всего участка водопользования, начиная с контрольного створа, но не далее чем 500 м от места сброса сточных вод или расположения других источников загрязнения поверхностных вод (мест добычи полезных ископаемых, производства работ на водном объекте и т.п.).

Поскольку характер воздействия загрязняющих веществ на организмы неодинаков, различают отдельные группы нормативных показателей по видам воздействия – *лимитирующим признакам вредности (ЛПВ)*. Для концентраций загрязняющих веществ в водоемах установлены:

- органолептический ЛПВ – вещества, изменяющие органолептические свойства воды (цвет, запах, вкус);
- общесанитарный ЛПВ – вещества, влияющие на общее санитарное состояние водоема (в т.ч. на скорость процессов самоочищения);
- санитарно-токсикологический ЛПВ – вещества, непосредственно оказывающие воздействие на организм человека и гидробионтов. Для рыбохозяйственных водоемов выделяют также токсикологический и рыбохозяйственный ЛПВ. Если вещество способно оказывать воздействия, относящиеся к разным ЛПВ, то в качестве нормативного выбирается ЛПВ с минимальным уровнем воздействия. При этом для водоемов различного назначения ПДК одного и того же вещества могут быть установлены по разным ЛПВ (табл. 3.3.).

Таблица 3.3.

Предельно допустимые концентрации распространенных загрязняющих веществ [20]

Вещества и показатели	Для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения		Для водоемов рыбохозяйственного назначения*	
	ПДК, мг/л	ЛПВ	ПДК, мг/л	ЛПВ
Азот аммонийный	2,0	Сан.-токсикол.	0,5	Токсикол.
Азот нитратный	45	Сан.-токсикол.	40	Сан.-токсик.
Азот нитритный	3,3	Сан.-токсикол.	0,08	Токсикол.
Железо	0,3	Органолепт.	0,05	Токсикол.
Марганец	0,1	Органолепт.	0,01	Токсикол.
Медь	1,0	Органолепт.	0,001	Токсикол.
Никель	0,02	Сан.-токсикол.	0,01	Токсикол.
Нефтепродукты	0,3	Органолепт.	0,05	Рыбохоз.
Ртуть	0,0005	Сан.-токсикол.	Отсутствие (0,00001)	Токсикол.
Свинец	0,01	Сан.-токсикол.	0,006	Токсикол.
Сульфаты	500	Органолепт.	100	Сан.-токсик.
Фенол	0,001	Органолепт.	0,001	Рыбохоз.
Хлориды	350	Органолепт.	300	Сан.-токсик.
Хром (Cr <sup>6+</sup> )	0,05	Сан.-токсикол.	0,02	Токсикол.
Хром (Cr <sup>3+</sup> )	0,5	Сан.-токсикол.	0,07	Токсикол.
Цинк	1,0	Общесан.	0,01	Токсикол.
БПК <sub>полн</sub>	6,0		3,0	
ХПК	15 (хоз.-питьев.) 30 (комм.-быт)		Не установл.	

Таблица 5.7

Минерализация общая	1000		1000	
------------------------	------	--	------	--

\* ПДК<sub>рх</sub> установлены приказом Комитета Российской Федерации по рыболовству от 28.04.1999 № 96.

Как видно из приведенной таблицы, соотношения между ПДК для водоемов разного назначения не одинаковы. Если при нормировании воздуха ПДК<sub>рз</sub> во всех случаях выше ПДК<sub>мр</sub>, а ПДК<sub>мр</sub> выше или равна ПДК<sub>сс</sub>, то при нормировании воды ПДК для рыбохозяйственных водоемов могут быть как выше, так и ниже, чем ПДК для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Поскольку использование водоемов, как правило, является многоцелевым, природоохранные органы обычно руководствуются теми ПДК, которые являются более жесткими. При этом возникают некоторые коллизии, связанные с недостаточным учетом в экологическом нормировании разнообразия форм нахождения веществ. Так, ПДК тяжелых металлов установлены для валовых содержаний, тогда как токсичными являются лишь свободные ионы. В результате по ряду веществ ПДК фактически установлены на уровне природного фона или даже ниже его [17]. Вследствие этого природоохранные органы на местах достаточно часто фиксируют многократные превышения ПДК, в частности по железу и меди, в водах рек, в бассейнах которых отсутствуют промышленные источники загрязнения. Это подрывает доверие к самому принципу экологического нормирования. Использование столь жестких (ниже природного фона) ПДК при расчетах НДС и допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах предприятий приводит на практике к ситуации, когда требования к сточной воде предприятий оказываются более строгими, чем к требованиям к воде водоемов и даже питьевой [95]. Такая ситуация, трудно объяснимая логически, в то же время создает стимулы для перехода предприятий к обратному водоснабжению.

**Экономический механизм охраны водных объектов** в целом аналогичен экономическому механизму охраны атмосферного воздуха. Объемы сброса загрязняющих веществ со сточными водами, в тоннах за год, определяются на основе использования ряда расчетных и инструментально-лабораторных методов. Нормативы допустимых сбросов (НДС) определяются расчетным путем, исходя из гидрологических характеристик водного объекта, состава сбрасываемых сточных вод и условий их отведения. НДС устанавливаются для каждого выпуска сточных вод, исходя из условий недопустимости превышения предельно допустимых концентраций вредных веществ (ПДК) в контрольном створе при расходе воды 95% обеспеченности, с учетом его целевого использования, а при превышении ПДК в контрольном створе — исходя из условия сохранения (неухудшения) состава и свойств воды в водных объектах, сформировавшихся под влиянием природных факторов.

Плата за отведение сточных вод взимается в однократном размере за сбросы в пределах НДС и в 25-кратном за сбросы сверх НДС или при отсутствии установленных НДС. При аварийных сбросах, вызвавших экстремально высокое загрязнение, вследствие чего был нанесен ущерб здоровью населения, флоре и фауне, экономике, виновные выплачивают штрафы и компенсации за нанесенный ущерб в административном или судебном порядке. Формирование поверхностного стока на территории предприятия (организации) в настоящее время приравнивается к отведению сточных вод в водоемы.

**Основные направления практической охраны вод**, подобно основным направлениям охраны атмосферного воздуха, включают предотвращение образования

Таблица 5.7

загрязняющих веществ, очистку сточных вод, и организационно-правовые и планировочные мероприятия, направленные на минимизацию воздействия загрязняющих веществ.

**Предотвращение образования загрязняющих веществ** достигается за счет сокращения объемов водопотребления и водоотведения, путем совершенствования технологий и экономии воды, что является наиболее перспективным направлением охраны водных ресурсов. В разных отраслях экономики существует большое количество конкретных методов, позволяющих снижать водопотребление, изолировать водные объекты от потенциально опасных производственных процессов. Значительные ресурсы экономии воды имеются в быту, для их использования требуется как создание экономических стимулов, так и работа по поддержанию в технически исправном состоянии систем водоснабжения и канализации.

Однако техническое перевооружение промышленности и коммунально-бытовой сферы, с внедрением принципиально новых, прогрессивных технологий, невозможно без значительных инвестиций в производство. При отсутствии у предприятий средств на замену устаревших технологий, снижение потребления воды в промышленности в значительной степени может быть достигнуто также за счет более широкого использования систем оборотного и последовательного водоснабжения. При оборотном водоснабжении вода, прошедшая очистку и/или охлаждение, вновь используется на этом же предприятии. При оборотном водоснабжении свежая вода потребляется в сравнительно небольшом количестве (до 5%) для компенсации потерь. В настоящее время промышленность на 70% удовлетворяет свои потребности в воде за счет оборотного водоснабжения [69]. При системе последовательного водоснабжения вода, использованная на одном производстве далее подается на другое производство, менее требовательное к качеству воды, подобно тому как коммунально-бытовые сточные воды могут использоваться как оросительные в сельском хозяйстве.

**Очистка сточных вод.** Сточные воды по происхождению подразделяются на следующие группы, сильно различающиеся и по составу: производственные, бытовые, дождевые и талые. Очистка производственных и бытовых сточных вод производится в естественных условиях (на полях орошения, полях фильтрации, в биологических прудах) и в искусственных условиях (на специально созданных сооружениях и установках) [16]. Существует ряд методов очистки сточных вод: механические, электролитические, биохимические [10].

Методы очистки сточных вод обычно комбинируют: вначале используют механические и химические, далее может производиться биохимическая очистка, т.к. сточная вода с высоким содержанием токсических веществ способна вывести из строя биологические очистительные сооружения (уничтожить бактерии активного ила). Такую сточную воду (гальванические стоки, рассолы, радиоактивные отходы и др.) направляют на **захоронение в глубокие горизонты** в зону весьма замедленного водообмена, где циркулируют естественные рассолы.

**Организационно-правовые и планировочные мероприятия**, направленные на минимизацию воздействия загрязняющих веществ, включают систему ограничений на определенные виды хозяйственной деятельности в тех местах, где она способна оказать наиболее негативное воздействие на водоемы. На предотвращение загрязнения водных объектов направлено создание и поддержание режима водоохраных зон и прибрежных полос. Размеры водоохраных зон составляют: 50 м от меженного уреза для рек длиной до 10 км, 100 м для рек длиной от 10 до 50 км, 200 м для рек длиной более 50 км, 500 м для морей. Согласно Водному кодексу РФ, в водоохраных зонах запрещается: использование сточных вод для удобрения почв, размещение кладбищ, скотомогильников, мест захоронения отходов производства и потребления, радиоактивных, химических, взрывчатых, токсичных, отравляющих и ядовитых веществ, осуществление авиационных

Таблица 5.7

мер по борьбе с вредителями и болезнями растений, движение и стоянка транспортных средств (кроме специальных транспортных средств), за исключением их движения по дорогам и стоянки на дорогах и в специально оборудованных местах, имеющих твердое покрытие.

**Мероприятия по охране подземных вод** подразделяются на профилактические и специальные.

*Профилактические мероприятия* включают:

– рациональное размещение потенциально опасных объектов, для предотвращения возможных загрязнений подземных вод (т.е. исключительно на территориях, сложенных слабопроницаемыми грунтами достаточной мощности);

– соблюдение правил ведения буровых и горных работ, соблюдение правил оборудования скважин, тампонаж неиспользуемых выработок;

– создание и поддержание режима зон санитарной охраны в пределах территорий, на которых происходит питание месторождений подземных вод, что предусматривает: первоочередное оснащение населенных пунктов канализацией, а предприятий – оборотным водоснабжением, недопущение размещения потенциально опасных объектов, ограничения на использование удобрений и пестицидов.

*Специальные мероприятия* по борьбе с загрязнением подземных вод включают:

– откачки загрязненных вод из специальных скважин, пробуренных для ликвидации очагов загрязнения подземных вод или предотвращения их распространения;

– устройство защитных водозаборов для перехвата загрязненных подземных вод;

– создание непроницаемых завес вокруг очага загрязнения;

– использование бактериальных препаратов для разрушения углеводов и других органических загрязнений.

Новым направлением защиты подземных вод является создание на путях распространения загрязнений искусственных геохимических барьеров из резко отличающихся по геохимическим свойствам природных материалов [58] (сорбционный барьер из глинистых пород, кислый барьер из торфа, щелочной барьер из известняка и др.).

## **ОЧИСТКА И ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЫ И ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ**

В процессах эксплуатации промышленного оборудования образуются сточные воды, которые требуют специальной очистки перед сбросом в канализационные системы. Наиболее распространенными загрязняющими веществами в поверхностных водах являются нефтепродукты, фенолы, легкоокисляемые органические вещества, соединения меди, цинка, аммонийный и нитратный азот, лигнин, ксантогенаты, анилин, метилмеркаптан, формальдегид и др. Например, сточные воды заводов черной и цветной металлургии загрязнены большим количеством взвешенных минеральных веществ, содержат цветные металлы и железо, сульфаты, хлориды, смолы и масла, серную кислоту, железный купорос. Нефтеперерабатывающие заводы и нефтепромыслы сбрасывают нефть и нефтепродукты, хлориды, взвешенные вещества, возможно присутствие железа и сероводорода. Большую опасность представляют сточные воды коксохимических предприятий: смолы, масла, фенолы, аммиак, цианиды, роданиды, большое количество солей неорганических кислот и взвешенных веществ. К сильно загрязненным сточным водам, трудно поддающимся очистке, относятся жидкие стоки целлюлозно-бумажных комбинатов: растворенные органические вещества, волокно, каолин и др. Машиностроительные и автомобильные заводы сбрасывают цианиды, хром, масла и окалину. Основные загрязнители текстильных предприятий - красители и СПАВ [1, 2].

### Условия приема промышленных сточных вод в канализацию населенных мест

Сточные воды любого промышленного предприятия содержат специфические загрязнения, которые должны удаляться (нейтрализоваться) до смешения со стоками другого производства или населенного пункта [2].

Имеющийся отечественный и зарубежный опыт свидетельствуют о возможной реализации бессточных систем путем повторного использования очищенных сточных вод [3-9]. Значение повторного использования очищенных сточных вод в системах промышленного водоснабжения в полной мере зависит от конкретных местных условий, применяемых технологий и определяется главным образом возможностью и целесообразностью использования:

а) сточных вод в системах оборотного и повторного водоснабжения предприятия или цехов;

б) очистных и обеззараженных хозяйственно-бытовых сточных вод в техническом водоснабжении предприятий или цехов;

в) очищенных сточных вод одних предприятий для технического водоснабжения других предприятий или цехов.

В связи с этим разработаны «Правила приема производственных сточных вод в системы канализации населенных мест» (1991 г.), направленные на предотвращение нарушений в работе очистных сооружений и безопасности их эксплуатации за счет правильной организации приема промышленных сточных вод в канализационную сеть населенных пунктов. Эти «Правила...» разработаны на основе «Правил охраны поверхностных вод» (1991 г.) для расчета допустимых концентраций загрязняющих веществ в производственных сточных водах с учетом требований к качеству очищенных вод в конкретных местных условиях.

Существуют три основных вида очистных сооружений для сточных вод - *локальные, заводские, районные или городские.*

Назначение *локальных*, или *цеховых* очистных сооружений заключается, прежде всего, в обезвреживании сточных вод или извлечении ценных компонентов непосредственно после технологических установок или цехов. На локальных установках механической очистки, коагуляции, электроосаждения, фильтрования, ультрафильтрации и др. очищают сточные воды, которые нельзя направлять без предварительной очистки в систему повторного и оборотного водоснабжения, на общие *заводские* либо *районные* очистные сооружения.

Многие крупные предприятия располагают *общезаводскими* очистными сооружениями, которые имеют установки для механической, физико-химической и биологической очистки.

*Районные* или *городские* очистные сооружения предназначены для очистки хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод района. При совместной очистке сточных вод в последних регламентируется содержание растворимых, взвешенных и всплывающих веществ, продуктов, способных разрушать или засорять коммуникации, взрывоопасных и горючих веществ, а также температура.

Выбор метода очистки зависит от концентрации загрязнений в сточных водах и количества твердых отходов, образующихся в основном производстве и на стадии очистки, а также от эколого-экономических показателей процесса.

По этим причинам сточные воды промышленных предприятий должны подвергаться *обязательной локальной очистке*, основной целью которой является :

- максимальное снижение потерь сырья со сточными водами;
- снижение потребления чистой воды;

Таблица 5.7

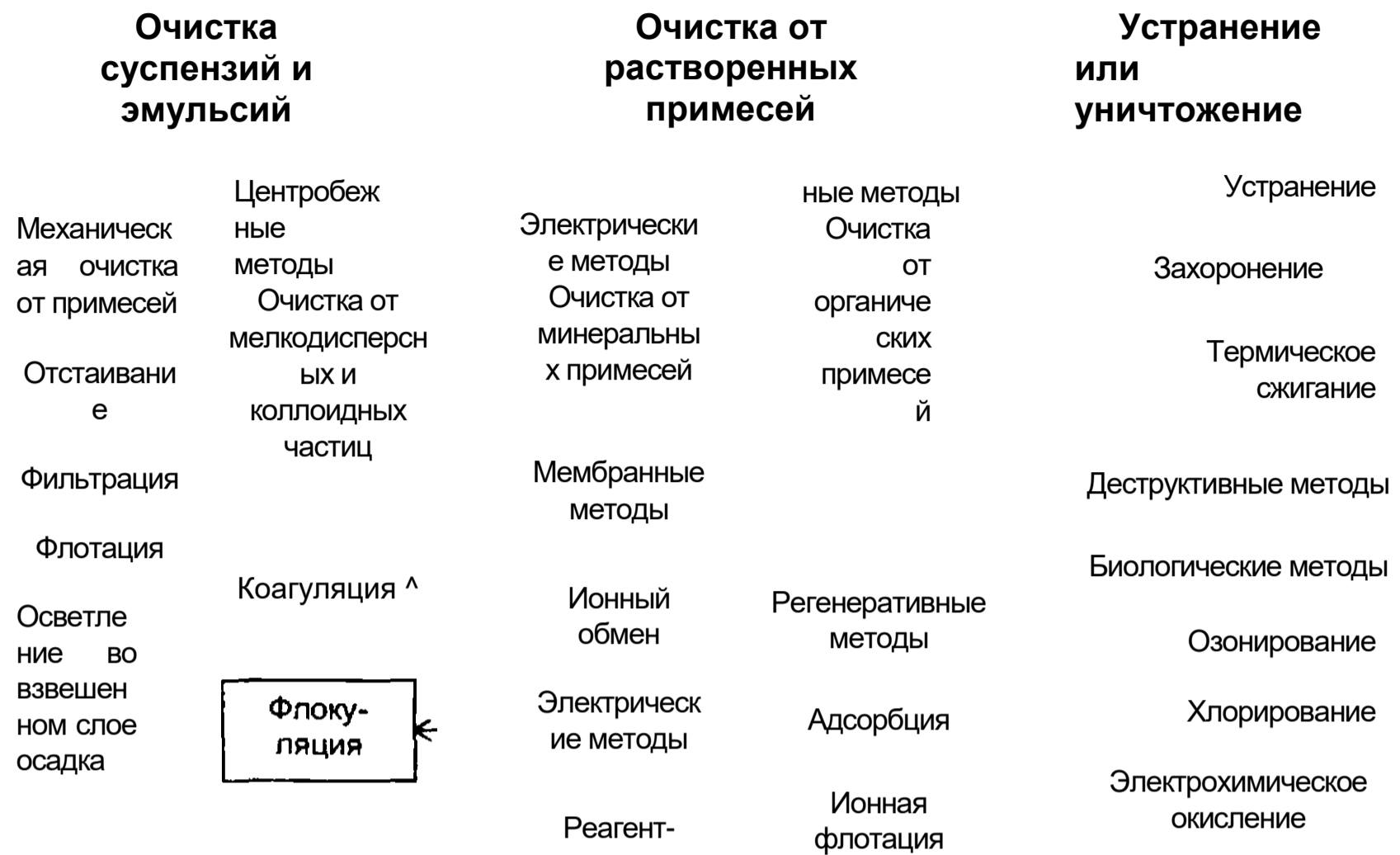
- сокращение сброса сточных вод по объему и количеству загрязняющих веществ в водоемы;
- снижение объема внезаводских очистных сооружений и капитальных вложений в их строительство.

-

#### **Методы и оборудование для очистки технической воды и промышленных стоков**

При очистке сточных вод промышленных технологий применяют методы фильтрации, осаждения, флотации, коагуляции, нейтрализации и др. (рис. 6.1). Перспективными являются методы, использующие процессы мембранной технологии, электрокоагуляцию, озонирование, биологическую очистку.





Р и с . 6.1. Классификация методов очистки промышленных стоков

Таблица 5.7

### Механические методы очистки сточных вод

*Механические методы* очистки промышленных стоков от грубодисперсных примесей включают отстаивание в гравитационном или центробежном поле, фильтрацию, флотацию, осветление во взвешенном слое осадка.

Для очистки от мелкодисперсных (от 0,1-10 мкм) и коллоидных (0,001— 0,1 мкм) частиц, оседающих с малой скоростью, а также ПАВ используют коагуляцию и флокуляцию, обеспечивающие слипание частиц до крупных конгломератов, удаляемых затем механическим методом.

Для очистки от растворенных неорганических веществ применяют методы выпаривания, обратного осмоса, химического осаждения, электролиза, нейтрализации.

Для очистки от растворенных органических веществ применяют биологическую очистку, адсорбцию, ионный обмен, отдувку газами, химическое осаждение, озонирование и хлорирование, обратный осмос, электрохимические методы и др.

Сильно концентрированные стоки в ряде случаев целесообразно уничтожать сжиганием, санитарным захоронением.

Из существующих механических методов очистки промышленных стоков с целью осветления воды наиболее простым является ее *отстаивание*.

При расчете отстойной аппаратуры определяющим параметром является скорость осаждения твердых или жидких частиц  $W_0$ , зависящая от размеров частиц  $d$ , плотности  $\rho_T$  твердых частиц, их формы, плотности  $\rho_{св}$  и вязкости  $\mu_{св}$  сточной воды, скорости движения воды и, условий обтекания и сопротивления среды.

Коллоидные вещества, гидратированные взвеси, мелкодисперсные вещества вследствие их малой плотности (соизмеримой с водой) осаждаются медленно. Даже ввод коагулянтов не обеспечивает заданной степени очистки промышленных стоков.

С целью более глубокой очистки воды от таких примесей и ее осветления используют *флотацию*.

Флотацию растворенным в воде воздухом обычно ведут совместно с коагуляцией и флокуляцией взвеси для удаления коллоидных малоконцентрированных (меньше 1%) примесей.

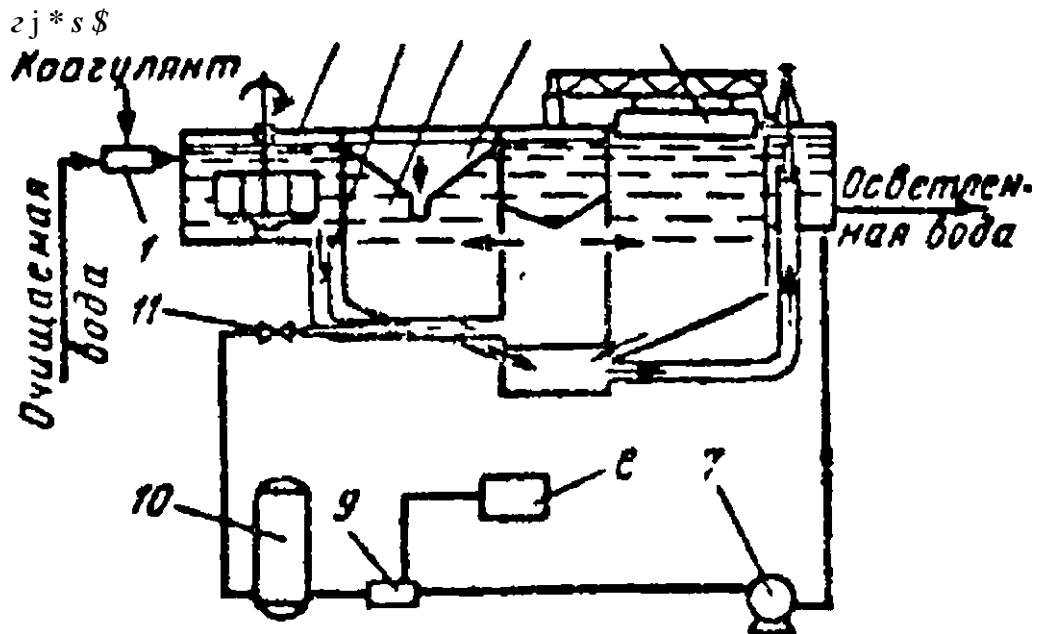
Пузырьки воздуха размером 10-100 мкм, выделяющиеся из воды, пересыщенной растворенным в ней воздухом, захватывают взвесь частиц. Воздух диспергируется турбиной - импеллером флот-машины. Иногда воздух вводят под избыточным давлением 0,03-0,2 МПа через сопла или фильтры. Флотация осуществляется крупными (>1000 мкм) быстро всплывающими пузырьками (при расходе воздуха 0,3-5 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup> воды).

При *электрофлотации* очистку промышленных стоков осуществляют кислородом и водородом, которые выделяются на электродах, размещаемых в осветленной воде. Выделяющийся в ламинарном режиме газ с размером пузырьков 50 мкм обеспечивает высокий эффект очистки.

*Биологическая и химическая флотация (автофлотация)* происходит в результате взаимодействия пузырьков газа размером 5-50 мкм с поверхностью взвешенных в воде частиц, которые освобождаются от воды.

На практике в сочетании с химической коагуляцией широко применяют *напорную флотацию*, позволяющую обеспечивать осветление воды за 15- 40 мин со скоростью, в 4-5 раз превышающей скорость осаждения и при расходе энергии 0,1-0,2 кВт ч/м<sup>3</sup>.

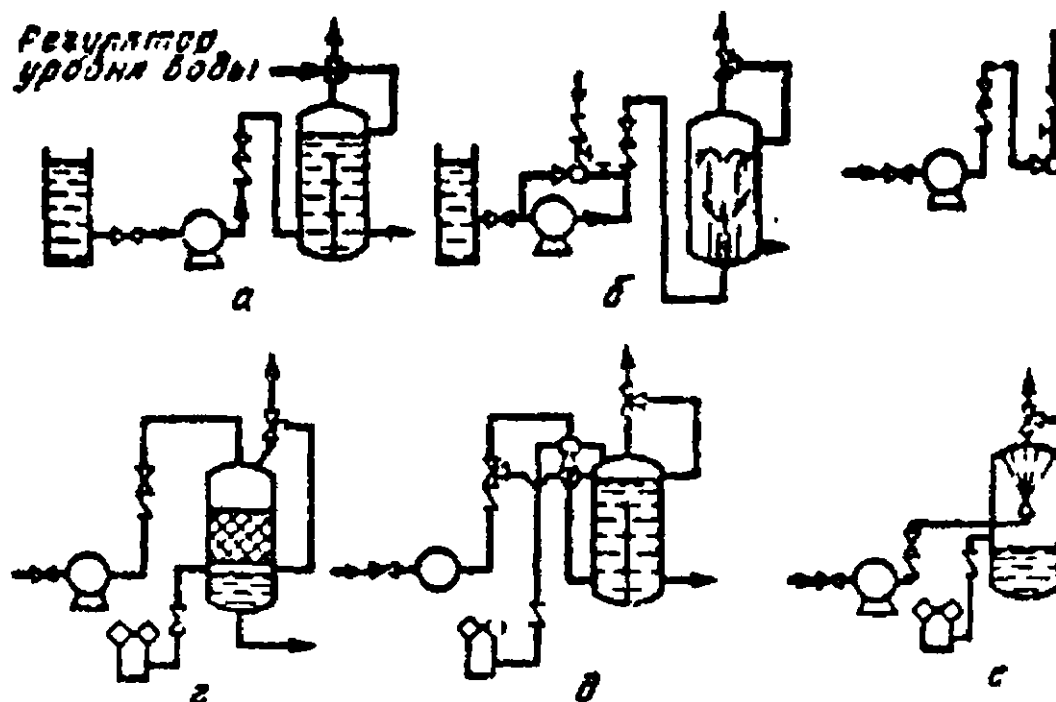
Таблица 5.7



Р и с . 6.2. Схема установки для напорной флотационной очистки воды с рециркуляцией

Установка с рециркуляцией (рис. 6.2) работает следующим образом. Вода, смешанная с коагулятором в смесителе 1, поступает в камеру 2 хлопьеобразования с лопастной мешалкой, где образуются крупные хлопья коагулянта, сорбирующие коллоидные взвеси. Из камеры 2 коагулированная вода со скоростью 0,2-0,5 м/с перетекает по трубе 3 в центральную камеру 4. В трубу 3 врезан трубопровод, по которому со скоростью 1-2 м/с вводится вода, пересыщенная воздухом. Часть воды, очищенная во флотаторе насосом 7, подается под давлением в смеситель 9, куда компрессором 8 вводится сжатый воздух, и затем в сатуратор 10. В сатураторе за 1-3 мин происходит насыщение воды воздухом и отделение нерастворившегося воздуха. Насыщенная вода после снижения давления в дросселирующем устройстве 11 становится пересыщенной и поступает во флотатор. Тонкий слой пены (10-15 см) со взвесью собирается скребком 6 в приемный бункер 5.

Применяемые в отечественной и зарубежной практике сатураторы представлены на рис. 6.3. Недостатком сатураторов (рис. 6.3 а, б) является введение воздуха в насос, что снижает его производительность и КПД при увеличенном кавитационном износе. Более эффективны сатураторы (рис. 6.3 в-ж), в которых воздух вводится после насоса. Для повышения эффективности используется насадочный сатуратор с кольцами Рашига, а также распылительный и струйный сатураторы (рис. 6.3 г, е, ж).



Р и с . 6.3. Схемы сатураторов: а - барботажный, б - эрлифтный, в - механического перемешивания, г - с кольцами Рашига, <3 - с эжекторной рециркуляцией воздуха, е - распылительный; ж - струйный.

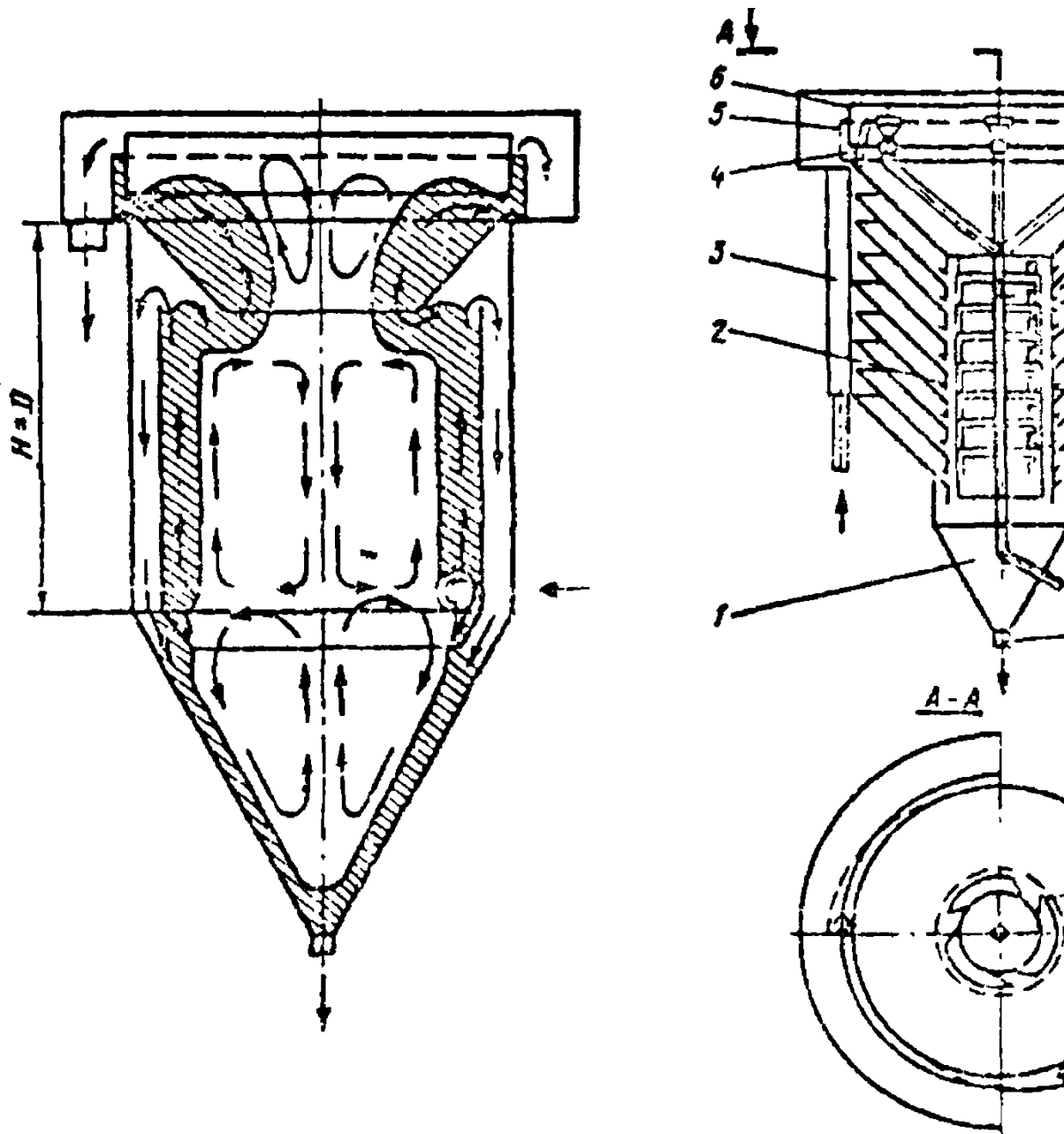
Выделение примесей из сточных вод эффективно осуществляется под действием центробежных и центростремительных сил в *открытых* и *напорных гидроциклонах*.

Открытые гидроциклоны применяют для выделения из суспензий частиц диаметром более  $1 \times 10^{-5}$  см при очистке грубодиспергированных примесей.

Применяют конструкции гидроциклонов без внутренних устройств, с диафрагмой (рис. 6.4) и многоярусные (рис. 6.5).

Модифицированный гидроциклон с конической диафрагмой и внутренним цилиндром (см. рис. 6.4) устраняет накопление взвешенных частиц под диафрагмой и их периодический вынос с осветленной водой.

Исходную суспензию подают тангенциально в нижнюю часть зоны, ограниченную внутренним цилиндром. Восходящий поток у верхней кромки цилиндра разделяется на основной поток, движущийся по спирали к центральному отверстию в диафрагме, и дополнительный, поступающий в зазор между стенками гидроциклона и цилиндра. В дополнительном потоке транспортируются выделившиеся в восходящем потоке взвешенные частицы.



**Р и с . 6.4. Открытый гидроциклон с внутренним цилиндром и диафрагмой**

Таблица 5.7

В многоярусном гидроциклоне (см. рис. 6.5), состоящем из конической 1 и цилиндрической 9 частей, рабочий объем разделен коническими диафрагмами 10 на отдельные ярусы (зоны), работающие независимо друг от друга. В основе работы такого аппарата лежит принцип тонкослойного отстаивания. Исходная смесь поступает в аванкамеры 3 с распределительными лопатками 16 и равномерно распределяется между ярусами 12. Вывод воды из аванкамер 3 осуществляется через три щели 11, расположенные по окружности циклона через три щели 11, расположенные по окружности циклона через  $120^\circ$  и равномерно по его высоте.

Поступающая сточная вода движется по нисходящей спирали к центру. Частицы тяжелее воды оседают на нижних диафрагмах ярусов, сползают к центру и, попав под шламозадерживающие козырьки 13, через кольцевую щель 2 опускаются в коническую часть. Масло с примесями, выделившееся в ярусах, всплывает к верхним диафрагмам 10, задерживается перегородкой 6 и попадает в водосборник, откуда маслосборными воронками 7 через трубы 4 удаляется из гидроциклона. Осветленная вода выводится через три тангенциальных выпуска 14. В центральной части циклона жидкость поднимается вверх, через водослив 5 переливается в лоток 8 и удаляется из циклона. Осадок из конической части 1 удаляется через разгрузочное отверстие 15 под действием гидростатического напора.

Химические и физико-химические методы очистки сточных вод

Сточные воды, содержащие минеральные кислоты или щелочи, подвергают нейтрализации. Нейтрализацию проводят для предупреждения коррозии материалов очистных сооружений, выделения солей металлов из сточных вод и предупреждения нарушения биохимических процессов в них.

Нейтрализацию осуществляют: смешением кислых и щелочных сточных вод, добавлением реагентов, фильтрованием кислых вод через нейтрализующие материалы и абсорбцией кислых газов щелочными водами или абсорбцией аммиака кислыми водами.

Для очистки кислых и щелочных сточных вод используют процесс нейтрализации с применением таких реагентов, как оксиды кальция, гидроксиды натрия, калия и кальция, а также карбонаты кальция, магния и натрия.

**Очистка сточных вод окислителями.** Наряду с традиционными окислителями, такими, как хлор и хлорсодержащие вещества (гипохлорит натрия, диоксид хлора и др.), пиролизит, кислород воздуха в последние годы применяют озон.

При проведении глубокой очистки воды с успехом применяют озонирование. Озонирование в ряде процессов может заменить коагуляцию с быстрым фильтрованием, адсорбцию на некоторых стадиях очистки сточных вод и в сочетании с другими методами - биохимическую очистку.

Наиболее перспективным является применение озона для очистки воды от синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), от нефтепродуктов и очистки сливных вод на стадиях выработки стеклоизделий.

Озонолиз представляет собой процесс фиксации озона на двойной или тройной углеродной связи с последующим ее разрывом и образованием озонидов, которые неустойчивы и быстро разлагаются.

Каталитическое воздействие озонирования состоит в росте окисляющей способности кислорода, присутствующего в озонированном воздухе.

Совокупность всех форм окисляющего и дезинфицирующего действия озона обеспечивает его применение на всех стадиях очистки сточных вод и подготовки воды к использованию в процессе производства. При совместном действии озонолиза и

Таблица 5.7

окисления радикалами удаляются коллоидные вещества, токсичные микрозагрязнители, растворенные органические вещества.

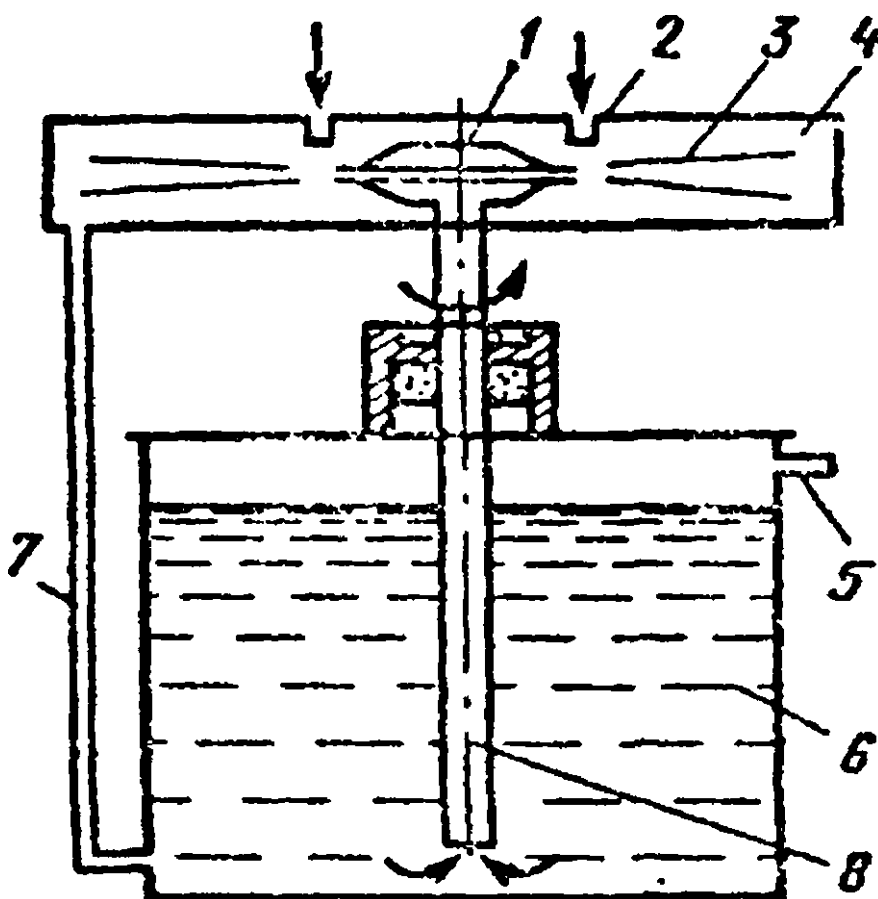
В настоящее время наиболее эффективно используют инжекторные (ИМТ-600) и роторные аппараты, напорные трубопроводы, змеевики.

Инжекторные и роторные аппараты дают равномерное смешение фаз, высокие скорость реакции, степень очистки и более полное использование озона.

При введении озона непосредственно в напорный трубопровод обеспечивается простота и компактность смесителя, уменьшение потерь озона и высокий эффект очистки при отсутствии контактных камер. При озонировании можно использовать змеевик, работающий следующим образом. Сточную воду подают насосом через змеевик, в который с помощью инжектора также вводят озонозодушную смесь. После змеевика вода с большой скоростью проходит трубу воздухоотделения и переливается через его верхнюю кромку, освобождаясь от пузырьков воздуха. Эффективность использования озона в змеевике возрастает до 80-90%, а скорость окисления вдвое больше по сравнению с барботажными аппаратами. Эффективность барботажных реакторов с насадочными колонками повышают в результате использования элементов из керамических и металлокерамических труб с размером пор 100 мкм.

Для интенсификации окисления применяют *кавитирующий эффект*, который достигается в кавитационном аэраторе или в центробежной распылительной машине, а также при использовании ультразвуковой энергии. Наибольшее окисление достигается в центробежной распылительной машине (рис. 6.7), где интенсивность механических колебаний в зоне смешения достигает  $57 \text{ Вт/см}^2$ . Особенностью конструкции являются диски-распылители 1, установленные в камере смешения 4. При заданной частоте вращения дисков-распылителей 42 м/с возникает кавитация. Обработанная вода, подаваемая через патрубки 2, всасывается через полый вал 8, диспергируется дисками, образуя на выходе из зазора между дисками тонкую пленку. Обработанная вода выводится через патрубок 5. Пленка проходит между стационарными направляющими 3, распыляется на капли и пузырьки, которые смешиваются с озонированным воздухом, вводимым через боковые патрубки. Озонированная вода 6 по трубопроводу 7 возвращается в цикл.

Таблица 5.7



Р и с . 6.7. Центробежная распылительная машина

Озонирование используют в основном для доочистки стоков после флотации, дезинфекции, флокуляции, фильтрации на песчаных фильтрах и фильтров с активированным углем.

**Мембранная очистка сточных вод.** К основным мембранным методам разделения жидких систем относятся обратный осмос, ультрафильтрация, микрофильтрация, электродиализ. Преимущества этих методов заключаются в возможности ведения процесса при нормальной температуре (кроме процесса испарения через мембрану) без фазовых превращений и при меньших энергетических затратах, чем в других методах очистки, простоте оформления аппаратуры, высокой степени разделения, позволяющей увеличить выход готового продукта.

Процессы обратного осмоса, ультрафильтрации и микрофильтрации ведут под избыточным давлением и относят их к группе баромембранных процессов, в которых перенос молекул или ионов растворенных веществ происходит через полупроницаемую перегородку (мембрану) под давлением, превышающим осмотическое. Под осмосом понимается самопроизвольный перенос (молекулярная диффузия) растворителя через мембрану.

Различие между обратным осмосом и ультрафильтрацией состоит в том, что при ультрафильтрации разделяются низкоосмотические растворы молекулярной массой больше 500, а при обратном осмосе разделяются растворы низкомолекулярных веществ с высоким осмотическим давлением.

Движущая сила ультрафильтрации и обратного осмоса определяется разностью рабочего давления  $P$  и осмотического давлений разделяемого раствора у поверхности мембраны.

Ультрафильтрацию применяют для разделения систем, где молекулярная масса компонентов больше молекулярной массы растворителя, например, для водных систем, в



Таблица 5.7

которых один из компонентов имеет молекулярную массу выше 500. Осмотическое давление высокомолекулярных соединений мало, что позволяет проводить ультрафильтрацию при невысоком давлении (0,2-1 МПа). С помощью ультрафильтрации разделяют растворы высокомолекулярных и низкомолекулярных соединений.

Процесс выделения из раствора коллоидных частиц размером 0,1-10 мкм при давлении порядка десятых и сотых долей мегапаскалей относится к микрофильтрации и занимает промежуточное положение.

В отличие от обычной фильтрации, при которой продукт в виде осадка откладывается на поверхности мембраны, при обратном осмосе и ультрафильтрации образуются два раствора, один из которых обогащен растворенным веществом.

Баромембранные процессы позволяют разделить частицы по размерам, мкм: обратный осмос - 0,0001-0,001, ультрафильтрация - 0,001-0,02 и микрофильтрация - 0,02-10.

При деминерализации сточных вод и различных смесей используют диализ и электродиализ,

Диализ является диффузионным процессом разделения веществ в результате их неодинаковой диффузии через мембрану. По существу диализ является разновидностью ультрафильтрации.

Более широкое применение при обработке воды и растворов находит в последние годы электродиализ. Электродиализные аппараты, использующие биполярные и ионообменные мембраны, применяют для выделения отдельных компонентов из сточных вод, регенерации и вторичного использования фтористоводородной и азотной кислот, щелочей из травильных растворов и из жидкостей после скрубберов для очистки газов, сульфата натрия, серной кислоты и т.д.

Для очистки сточных вод применяют мембранную установку, включающую наряду с мембраной и фильтр-держателем, образующими мембранный модуль, емкости, насосы, контрольно-измерительную аппаратуру и системы очистки мембран.

При выборе и разработке мембранных установок необходимо учитывать следующие факторы: характер фильтруемой среды (жидкость или газ); выбор целевого продукта: фильтрата или задержанных мембраной частиц; минимальный размер выделяемых частиц и размер пор мембраны.

Выбор оптимального размера пор производят на основе данных по селективности мембран от размера пор при максимально возможной производительности; объем перерабатываемой жидкости (малый или большой объем определяют сложность конструкции мембранного модуля); вид раствора (водный или неводный). В последнем случае агрессивность жидкой среды требует применения мембран и опорных элементов, стойких к действию растворителя.

Установки должны отвечать р я д у т р е б о в а н и й .

**1.** Материалы разделительной системы должны работать под высоким давлением и быть устойчивыми к коррозии.

**2.** Компактность установки, простота обслуживания и возможность быстрой разборки и сборки установки при ремонте и транспортировании.

**3.** Возможность периодического промывания установки для восстановления производительности мембран.

**4.** Возможность предотвращения отложения осадка на мембранах и снижения влияния концентрированной поляризации. Для этого необходимо обеспечить высокую скорость течения жидкости над мембраной и ее равномерное распределение по секциям и элементам мембранного модуля.

**5.** Возможность нагрева или охлаждения обрабатываемых жидкостей.

Таблица 5.7

При создании мембранных модулей необходимо обеспечить их механическую прочность, герметичность и другие условия.

В настоящее время мембранные модули классифицируют по способу укладки мембран, по типу корпусов (корпусные и бескорпусные), по условиям демонтажа (разборные и неразборные), по положению мембранных элементов (горизонтальные или вертикальные) и по режиму работы.

По способу укладки мембран используют разделительные элементы четырех типов: 1) аппараты с плоскими мембранными элементами; 2) аппараты с трубчатыми элементами; 3) аппараты с элементами рулонного типа; 4) аппараты с мембранами в виде полых волокон.

Пленочные мембраны входят в состав разделительного элемента и размещаются на пористой опоре-дренаже с подложкой. Иногда подложка играет роль опоры, и в этом случае мембраны размещаются с обеих сторон подложки.

Аппараты с плоскими мембранными элементами выпускают корпусными и бескорпусными, периферийными, с общим или отдельным из каждого элемента выводом пермеата. Элементы выполняют круглыми (эллиптическими) и квадратными.

Аппараты с трубчатыми мембранными элементами можно использовать для разделения систем (сред) со взвешенными частицами, где не требуется высокая степень предварительной очистки разделяемых систем.

По конструкциям и способам изготовления элементы делят на три типа: 1) с подачей разделяемых сред внутрь трубки; 2) с подачей разделяемых сред снаружи трубки; 3) с подачей разделяемых сред одновременно внутрь и снаружи трубки.

Основными достоинствами трубчатых мембранных элементов являются низкое гидравлическое сопротивление, равномерное движение потока раствора над мембраной с высокой скоростью, отсутствие застойных зон, возможность механической очистки мембранных элементов от осадка без разборки аппарата, малая металлоемкость при бескорпусном выполнении, компактность установки.

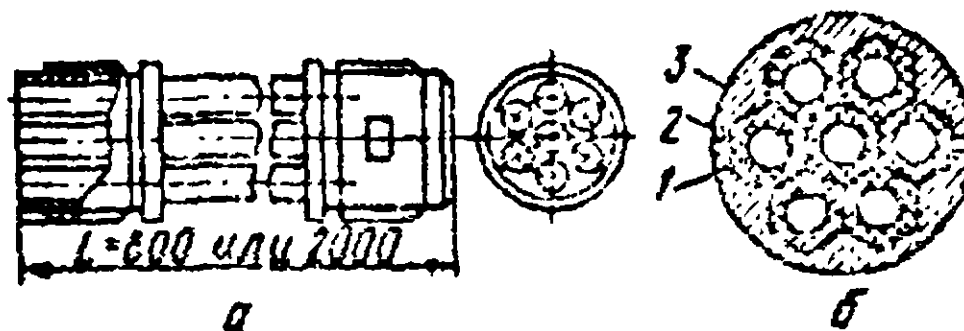
К недостаткам устройств относятся малая удельная поверхность мембран ( $60-200 \text{ м}^2/\text{м}$ ) и повышенная точность при изготовлении дренажного каркаса.

Каркасом обычно являются перфорированные металлические трубки, пористые трубки из керамических, металлокерамических, пластмассовых и графитовых композиций и стеклопластиков.

Конструкция блока стеклопластиковых каркасов из семи трубок представлена на рис. 6.9. Для уменьшения расхода материалов наружная поверхность труб может быть выполнена в виде шестигранника. Это также придает жесткость корпусу.

Аппараты с элементами рулонного типа (спиральные) имеют высокую удельную поверхность ( $300-800 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ), малую металлоемкость, удобны при монтаже и демонтаже элементов. К недостаткам элементов можно отнести высокое гидравлическое сопротивление межмембранных каналов и сложность монтажа.

Таблица 5.7



**Р и с. 6.9. Варианты блочного размещения труб в разделительных элементах:**  
**а - блок стеклопластиковых каркасов; б - блок шестигранных труб; 1 - мембрана; 2 - подложка; 3 - корпус.**

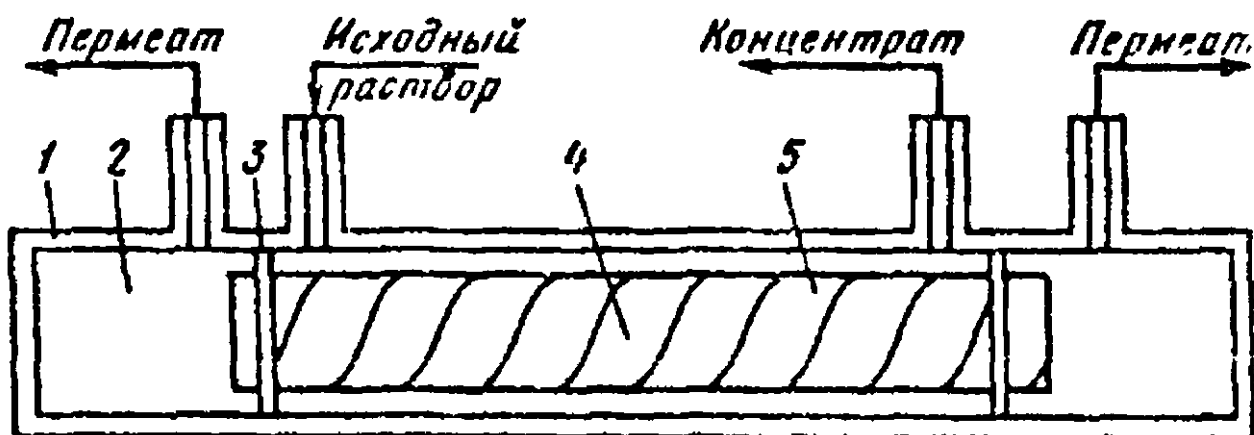
Аппараты могут содержать мембранные элементы с несколькими пакетами и одной пермеатотводящей трубкой, совместно навитые рулонные мембранные элементы и рулонные мембранные элементы с несколькими пермеатотводящими трубками или с каналами для сбора пермеата.

В этих аппаратах пермеат поступает под давлением в напорный канал элемента параллельно оси трубки.

Аппараты с мембранами в виде полых волокон благодаря развитой удельной проницаемости и удельной поверхности (20-30 тыс.  $\text{м}^2/\text{м}^3$ ) нашли широкое применение при разделении сред обратным осмосом и ультрафильтрацией [5].

Полые волокна диаметром 45-900 мкм и толщиной стенки 10-50 мкм применяют в обратном осмосе, а диаметром 200-2000 мкм и толщиной 50- 200 мкм - при ультрафильтрации.

В аппарате с параллельным расположением полых волокон (р и с. 6.10) волокна собраны в один пучок спирально навитой нитью. Она же обеспечивает зазор между отдельными волокнами. Раствор может подаваться как вдоль поверхности полых волокон, так и по капиллярным каналам этих волокон.



**Р и с. 6.10. Аппарат с одним пучком параллельно расположенных полых волокон: 1 - корпус; 2 - сборник пермеата; 3 - трубная решетка, 4 - спиральная нить; 5 - волокно.**

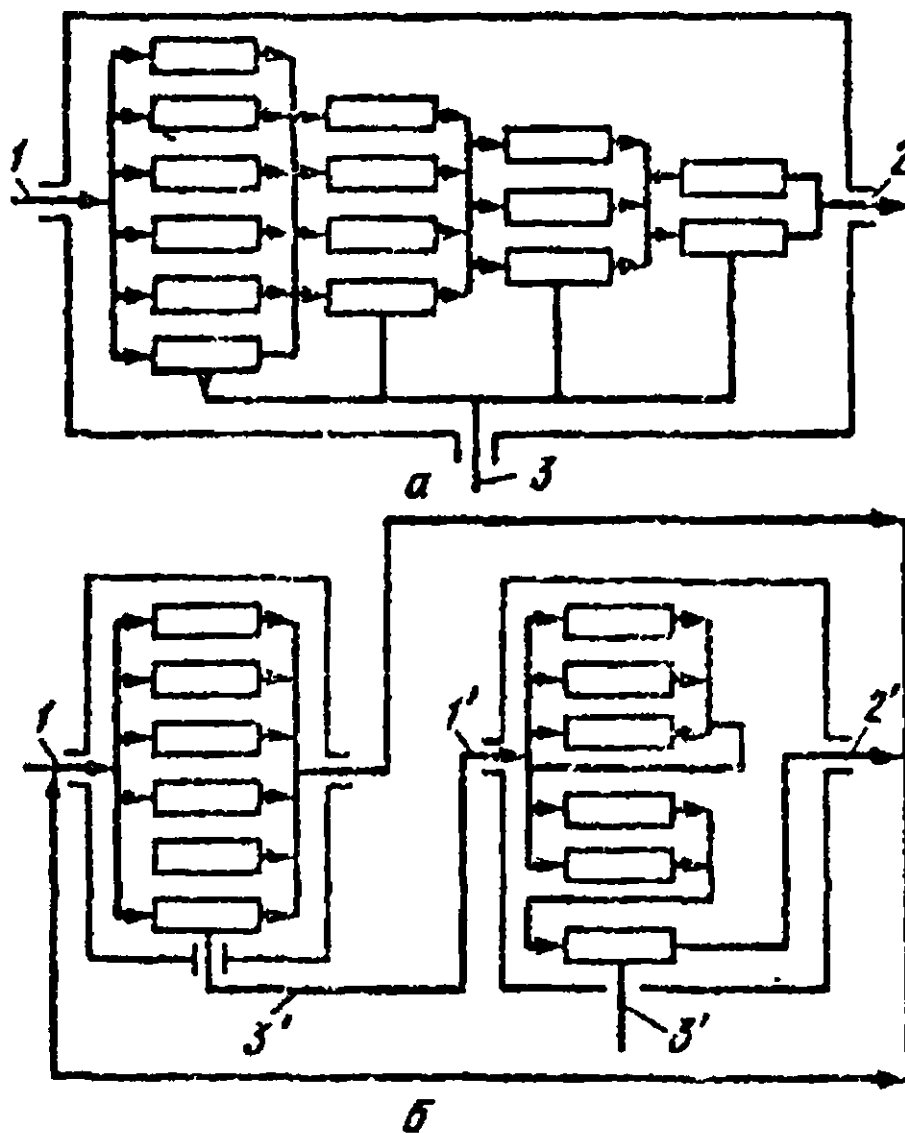
Недостатком таких аппаратов является малая интенсивность перемешивания раствора, жесткое крепление полых волокон в трубных решетках

Таблица 5.7

и, следовательно, трудность обработки растворов, содержащих взвешенные частицы.

При непрерывном процессе раствор проходит мембранный аппарат только раз и выходит из установки с заданной концентрацией. Применяют также схемы проточно-циркуляционного типа, где часть концентрата возвращается в исходный раствор, а оставшая часть с требуемой концентрацией выводится из системы потребителю.

Из схем соединения модулей одноступенчатые соединения аппаратов (рис. 6.11) используют при разделении низкоконцентрированных растворов, а многоступенчатые - при очистке более концентрированных растворов. В этом случае исходным раствором для следующей ступени служит фильтрат предыдущей ступени, которая работает при более низком давлении.



Р и с . 6.11. Схема соединения элементов аппаратов для установок обратного осмоса: а - одноступенчатое разделение с параллельными и параллельно-последовательными соединениями аппаратов: 1, V- исходный раствор, 2, 2'- концентрат; 3, 3' - фильтрат

Используемые в модулях мембраны должны обладать высокой разделяющей способностью (селективностью), высокой удельной производительностью (проницаемостью), прочностью и химической стойкостью к действию очищаемых сред.

Таблица 5.7

Из большого числа типов мембран можно выделить полимерные мембраны и мембраны с жесткой структурой.

К полимерным относятся мембраны из ароматических полиамидов «Владипор» типа МГА-90, МГА-100 для обратного осмоса с соледержанием до 20 кг/м<sup>3</sup>, предназначенные для очистки сточных вод и промышленных стоков. Мембраны типа УАМ-80, УАМ-500 используют для разделения водомасляных эмульсий, пигментных красителей и др. методом ультрафильтрации.

Этилцеллюлозные мембраны типа УЭМ-200, УЭМ-500 предназначены для концентрирования, разделения и очистки различных веществ в кислых и особенно щелочных средах. Удельная производительность по воде 33- 300 см<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>хч), средний диаметр пор (2-4,5)х10<sup>-3</sup> м.

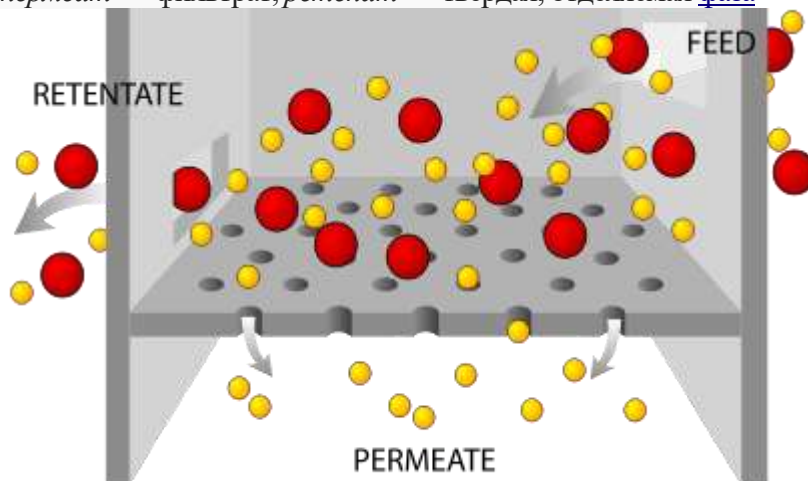
Мембраны на основе ароматических полиамидов «Владипор» типа МГМ-80, МГП-100 рекомендуются для разделения, концентрирования агрессивных сред с рН 1-12, содержащих большинство органических растворителей, и выдерживают в водных средах температуру до 150 °С.

К мембранам с жесткой структурой относятся металлические, из пористого стекла, нанесенные и напыленные. Мембраны этого типа обладают высокой химической стойкостью.

Для установок с мембранными аппаратами применяют технологический, гидравлический и механический, а при использовании горячих растворов - и тепловой расчеты. При технологическом расчете определяют необходимую поверхность мембран, жидкостные потоки и их состав. При гидравлическом расчете находят гидравлическое сопротивление аппаратов, трубопроводов и арматуры [11, 12].

Расчет аппаратов обратного осмоса и ультрафильтрации проще выполнять на основе эмпирических корреляций (Ю.И. Дытнерский). Составляют уравнения материального баланса по всему веществу и растворенному компоненту, дифференциальные уравнения изменения состава пермеата и проницаемости в произвольном сечении. Определив на лабораторных ячейках с мешалкой ряд констант и используя их при решении системы уравнений, рассчитывают выход концентрата и фильтрата, поверхность мембраны и состав фильтрата при концентрировании.

*пермеат* — фильтрат, *ретенат* — твёрдая, отделяемая фаза



Расчет обратноосмотических аппаратов с плоскими мембранными элементами предпочтительнее выполнять на основе математического моделирования. Расчет заключается в совместном решении уравнений материального баланса по раствору и растворенному веществу и уравнений энергетического баланса по раствору и пермеату с учетом концентрированной поляризации и взаимного движения потоков.

Таблица 5.7

**Термическое сжигание.** Термическое сжигание применяют для уничтожения высококонцентрированных сточных вод, содержащих минеральные или органические элементы. По этому методу сточные воды вводят в печь сжигания и испаряют при температуре 900-1000 °С. Органические примеси сгорают до продуктов полного сгорания  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $NO_2$ .

Промышленные стоки, удельная теплота сгорания которых  $Q_{cr} * 8,4$  МДж/кг, сгорают, как жидкое топливо. При  $Q_{cr} < 8,4$  МДж/кг для сжигания стоков требуется высококалорийное топливо.

#### Биологический метод очистки сточных вод

В основе биологической очистки сточных вод от органических веществ лежат три взаимосвязанных процесса: синтез протоплазмы клеток микроорганизмов, окисление органических загрязнений и окисление продуктов метаболизма клеток. Для проведения таких процессов требуется участие ферментов. Происходящее при этом *аэробное окисление* содержащегося в органических веществах углерода до  $CO_2$  и водорода до  $H_2O$  характеризуется расходом кислорода, то есть биологическим потреблением кислорода (ВПК).

Характеристикой глубины разложения примесей в водостоке является биохимический показатель (БХП), равный отношению ВПК к ХПК.

Под ХПК в отличие от ВПК понимают количество кислорода, теоретически необходимое для полного превращения органических веществ в  $CO_2$ ,  $H_2O$ , а также в соль аммония и серную кислоту, если они содержат азот и серу. Молекулярный кислород, входящий в состав молекул веществ, идет на окисление этих веществ.

При биохимическом окислении органических веществ требуется меньше кислорода, чем при химическом окислении с той же эффективностью очистки.

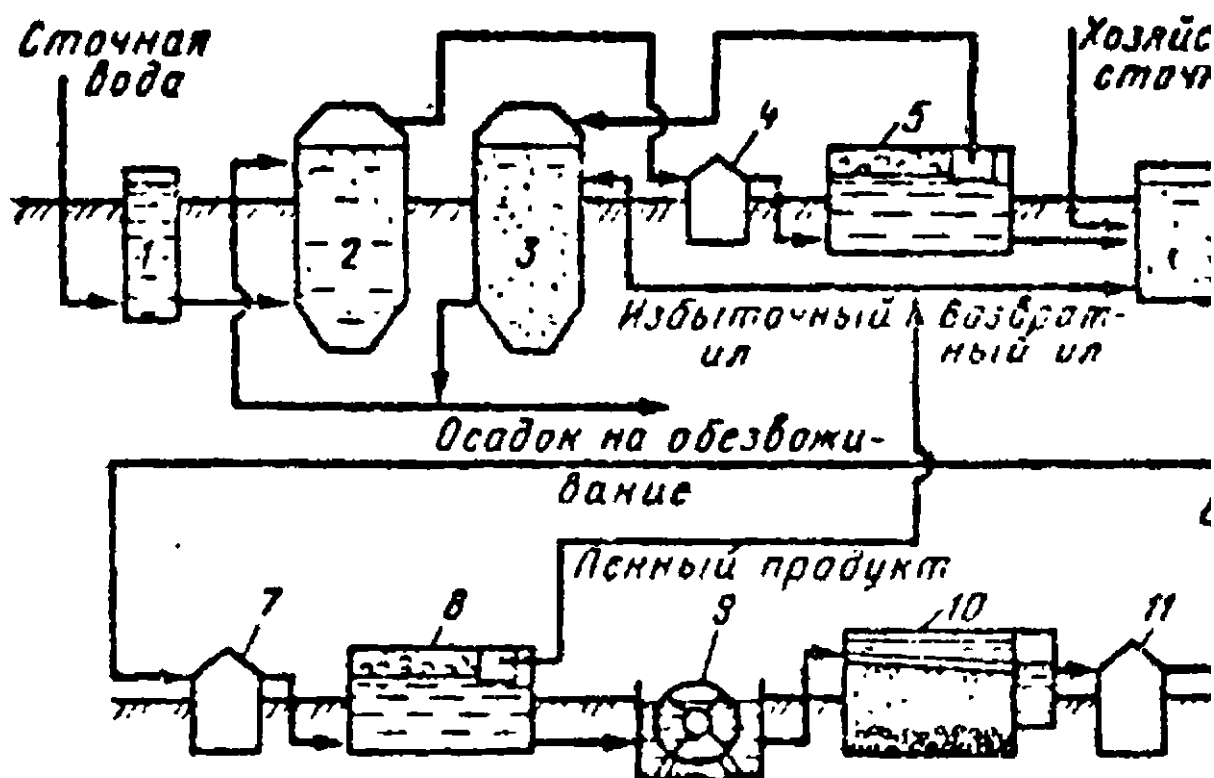
В биологических фильтрах сточные воды очищаются микроорганизмами активного ила или биопленки, образующими биологически активную массу.

Производительность установки и количество избыточного ила на единицу объема сточной воды оценивают по окислительной мощности  $\Gamma$  и приросту ила (Пр).

Очистка при *БПК* меньше 20 мг  $O_2$  /дм<sup>3</sup> является полной, а больше 20 мг  $O_2$  /дм<sup>3</sup> - неполной.

*Анаэробные схемы* применяют для очистки сточных вод концентрацией 6-20 г/дм<sup>3</sup>, для концентрирования минеральных солей 30 г/дм<sup>3</sup> и для брожения осадков и избыточного ила.

Таблица 5.7



Р и с . 6.12. Схема комбинированного метода очистки промышленных стоков

По анаэробной схеме (рис. 6.12) стоки, пройдя усреднитель 1, подаются в анаэробный восстановитель 2, где взаимодействуют с анаэробным илом. Затем смесь насосами 4 подается во флотатор 5, из которого иловая вода вместе с бытовыми водами поступает в аэротенк 6, а пенный продукт - в метантенк 3 на стабилизацию. Выходящая из аэротенка 6 смесь насосами 7 подается во флотатор 8, из которого аэробный активный ил возвращается на вход схемы. Часть ила возвращается в аэротенк 6, а избыточная часть в метантенк 3. Биологически очищенная вода доочищается на фильтрах 9 и 10, после чего сбрасывается в водоем 12 или подается насосами на повторное использование.

Стоки, очищаемые биологическими методами, должны отвечать следующим требованиям:

1. Органические вещества, входящие в стоки, должны быть способны к биохимическому окислению.
2. Их концентрация, выраженная через **БПК**, не должна превышать  $500 \text{ мг/дм}^3$  при очистке на биофильтрах и  $1000 \text{ мг/дм}^3$  - при очистке в аэротенках-смесителях.
3. Концентрация ядовитых органических и неорганических (соли меди, свинца, хрома, ртути) веществ не должна превышать пределов, исключающих жизнедеятельность бактерий.
4. Количество механических примесей не должно превышать  $150 \text{ мг/дм}^3$ .
5. Водородный потенциал среды рН должен быть 6,5-8,5.
6. Сточные воды должны содержать биогенные элементы (азот, фосфор и калий).
7. Общее количество растворенных солей должно быть не больше  $10 \text{ г/дм}^3$ .
8. Стоки не должны содержать плавающих масел и смол.

Таблица 5.7

**9.** Температура сточных вод - от 6-35 до 50-60 °С.

С учетом изложенного специалистами разработана типовая станция биологической очистки сточных вод производительностью 10 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Она размещается на площади 11000 м<sup>2</sup> вместо 75000 м<sup>2</sup> (стандартная станция очистки). Очистка ведется в аэротенках колонного типа с доочисткой на песчаных фильтрах с водовоздушной промывкой. Реагентное кондиционирование смеси сырого осадка, уплотненного избыточного ила и обезвоживание проводят на фильтр-прессах ФПАКМ-25Н производительностью по сухому продукту 15 кг/м<sup>2</sup>ч и влажностью обезвоженного осадка 60%. Резервным оборудованием для обезвоживания осадка являются винтовые центрифуги.