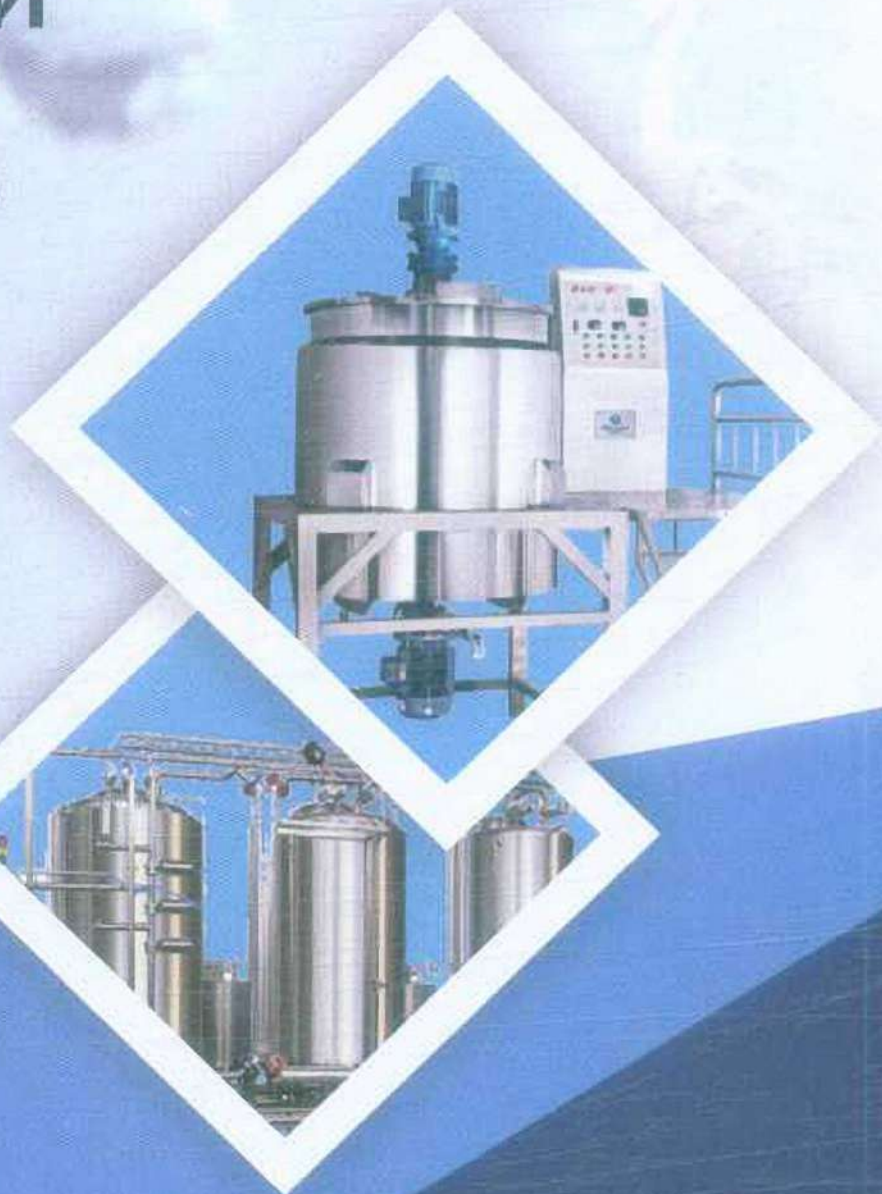


ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие



ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие

*Допущено редакционно-издательским советом
Астраханского государственного технического университета
в качестве учебного пособия для обучающихся
по программам высшего образования по направлениям подготовки:
18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,
нефтехимии и биотехнологии» (направленность «Машины и аппараты
химических производств»); 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнологии»
(направленность «Процессы и аппараты пищевых производств»)*

АСТРАХАНЬ
ИЗДАТЕЛЬСТВО АГТУ
2020



УДК [66.02:664.02]:532(075.8)
ББК [35.11-5:36.812-5]:30.123я73
Г46

Р е ц е н з е н т ы : кафедра «Системы автоматизированной поддержки принятия решений» Тамбовского государственного технического университета;

доктор технических наук, профессор Г. В. Алексеев (Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики)

А в т о р ы :

Ю. А. Максименко, И. Ю. Алексанян,
А. Х.-Х. Нугманов, В. Н. Лысова

Г46 Гидромеханическое оборудование химических и пищевых технологий : учебное пособие / Ю. А. Максименко, И. Ю. Алексанян, А. Х.-Х. Нугманов, В. Н. Лысова ; Астрахан. гос. техн. ун-т. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2020. – 116 с.
ISBN 978-5-89154-686-8.

Представлены систематизированные сведения о гидромеханическом оборудовании: основные понятия, типы оборудования, особенности расчёта аппаратов и процессов, конструктивные особенности традиционных и перспективных видов технологического оборудования и др. Главы содержат практические материалы, тестовые задания для контроля усвоения знаний.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки: 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», 19.06.01 «Промышленная экология и биотехнологии».

УДК [66.02:664.02]:532(075.8)
ББК [35.11-5:36.812-5]:30.123я73

ISBN 978-5-89154-686-8

© Максименко Ю. А., Алексанян И. Ю.,
Нугманов А. Х.-Х., Лысова В. Н., 2020

© ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет», 2020



ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. АППАРАТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВ	6
1.1. Общие сведения.....	6
1.2. Типовые конструкции	7
1.2.1. Пылеосадительные камеры.....	7
1.2.2. Инерционные пылеуловители	9
1.2.3. Центробежные пылеосадители.....	13
1.2.4. Гидравлические пылеуловители	19
1.2.5. Электрофильтры	26
1.2.6. Газовые фильтры	32
Тесты для контроля знаний.....	34
2. ОТСТОЙНИКИ	40
2.1. Общие сведения.....	40
2.2. Типовые конструкции	42
2.2.1. Отстойники периодического действия	42
2.2.2. Отстойники полунепрерывного действия	42
2.2.3. Отстойники непрерывного действия	43
Тесты для контроля знаний.....	49
3. ФИЛЬТРЫ	53
3.1. Общие сведения.....	53
3.2. Типовые конструкции	54
3.2.1. Фильтры периодического действия	54
3.2.2. Фильтры непрерывного действия	60
Тесты для контроля знаний.....	70
4. ЦЕНТРИФУГИ	77
4.1. Общие сведения.....	77
4.2. Типовые конструкции	78
4.2.1. Центрифуги периодического действия	79
4.2.2. Автоматические центрифуги	81
4.2.3. Центрифуги непрерывного действия.....	83
4.2.4. Сверхцентрифуги.....	86
Тесты для контроля знаний.....	90
5. МЕШАЛКИ ДЛЯ ЖИДКОСТИ	97
5.1. Общие сведения.....	97
5.2. Типовые конструкции	97
5.2.1. Механическое перемешивание.....	97
5.2.2. Барботажное перемешивание	104
5.2.3. Гидравлические способы перемешивания	105
Тесты для контроля знаний.....	108
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	114
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	115



ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие предназначено для самостоятельной подготовки и дистанционного обучения будущих специалистов химической и пищевой промышленности, охватывает основные вопросы, отражённые в государственных стандартах соответствующих направлений и специальностей. Основное внимание уделено выбору рационального технологического оборудования, вопросам физической сущности гидромеханических процессов, логике их аналитического описания и подходам к инженерным расчётам. Цель пособия состоит в том, чтобы дать первичный материал и методику подготовки к изучению и выбору гидромеханических аппаратов.

В решении инженерных задач преобразования исходного сырья в готовые пищевые продукты необходимо осуществлять разнообразные процессы. К таким процессам, присутствующим практически во всех промышленных технологиях, относятся: перемещение газовых, жидких и твёрдых систем, измельчение и разделение их на фракции, перемешивание, псевдоожижение и др.

Технология различных производств включает ряд однотипных физических и физико-химических процессов, имеющих общие закономерности. В данном пособии приведены основы теории гидромеханических процессов, принципы устройства аппаратов и машин, в которых эти процессы протекают.

Основоположниками отечественной науки о процессах и аппаратах являются Д. И. Менделеев, А. К. Крупский, И. А. Тищенко, А. А. Киров, Д. П. Коновалов, Л. Ф. Фокин, К. Ф. Павлов. Позже теоретические основы были разработаны в трудах Л. Д. Ландау, П. А. Ребиндера, В. В. Кафарова, А. А. Гухмана, М. В. Кирпичева и др. В настоящее время имеются классические учебники по процессам и аппаратам химической технологии А. Г. Касаткина, А. Н. Плановского и др. Из иностранных учёных, внёсших заметный вклад в создание и развитие науки о процессах и аппаратах, можно отметить W. H. Walker, W. K. Lewis, W. H. McAdams и W. L. McCabe.

При исследовании процессов было отмечено, что их кинетика (скорость протекания) зависят от состава и свойств исходных материалов и движущих сил. Состав и свойства исходных материалов изучаются в фундаментальных курсах физики, физической химии, биохимии, молекулярной биологии и др. Движущие силы процесса изучаются при их анализе в курсах теоретической физики, молекулярной кинетики, термодинамики в зависимости от постановки физической задачи. В комплексе конкретные процессы рассматриваются в настоящем пособии, которое является общеинженерным и в то же время специальным материалом, направленным на решение инженерных задач отрасли.



В настоящее время целью научных исследований является создание не только высокоэффективного, но и рационального оборудования с различными целевыми функциями (высокая скорость и выход процесса, минимальные стоимость оборудования и себестоимость обработанной продукции и т. п.).

Знания о гидромеханическом оборудовании – неотъемлемая часть общеинженерной подготовки студентов, что играет важную роль в освоении ими специальных дисциплин. Непрерывное системное развитие техники, базируясь на теоретических и экспериментальных методах исследования основных процессов, реализуемых современным оборудованием, является генератором новых идей, ускоряющих научно-технический прогресс в отрасли химической и пищевой промышленности. При освоении учебных дисциплин «Процессы и аппараты химической технологии» и «Процессы и аппараты пищевых производств», в которые входит рассматриваемый раздел, студенты получают компетенции, фундаментальные для химико-технологической и пищевой специализации, где существенное значение имеют практические и лабораторные занятия по расчётной части курса.

Как теория базируется на общих физических и физико-химических законах технологических процессов, в которых явления переноса тепловой энергии и вещества играют решающую роль, так и методы исследования и расчёта считаются общими для аппаратов разного назначения. Наряду с этим отмечаются специфические требования, предъявляемые к аппаратам химической и пищевой промышленности, и при необходимости учитываются характерные свойства материалов и продуктов как объектов исследования. В частности, данные свойства имеют важное значение при выборе и расчёте оптимальных режимов. Оптимальный режим обеспечивает получение продукта требуемого качества при высоких технико-экономических показателях работы установок: чем ближе к оптимальному режиму, создаваемому в установке, тем рациональнее её конструкция.

Создание современных аппаратов базируется на основных принципах технологии: от изучения свойств продукта как объекта обработки к выбору метода и обоснованию режима процесса, и только на этой основе – к созданию рациональных конструкций установок. Оборудование, как правило, оснащено измерительными устройствами или приборами, использование которых для измерения того или иного параметра процесса сопряжено с погрешностями. Погрешности могут быть систематическими и случайными. Кроме того, при несоблюдении условий работы или недостаточном внимании исполнителя работы могут иметь грубые погрешности (промахи). Для оценки точности измерений применяют статистическую теорию ошибок.

В пособии освещены лишь основные элементы процессов и их аппаратного оформления. Необходимо серьёзное изучение дополнительной литературы, содержащей методики расчёта и проектирования конструкций аппаратов.



1. АППАРАТЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

1.1. Общие сведения

В химических технологиях часто возникает необходимость разделения неоднородных газовых сред, в частности пыли, аэрозоля и тумана, в целях:

1) очистки газовой смеси от вредных примесей для последующей её переработки;

2) улавливания ценной пыли или тумана из отходящих (отбросных) газов.

На очистку могут поступать: пыль (смесь газовой фазы и дисперсных твёрдых частичек размерами в пределах 5–70 мкм); дым (среда, состоящая из газовой фазы и взвешенных дисперсных частичек размерами в диапазоне 0,3–0,5 мкм); туман (среда, являющаяся смесью газовой фазы и жидких капель размером в интервале 0,3–3 мкм).

Очистку газовых смесей можно осуществлять различными методами:

- гравитационным осаждением под действием силы тяжести;
- инерционным осаждением;
- центробежным осаждением;
- электроосаждением;
- фильтрацией;
- мокрой очисткой.

Промышленную реализацию каждого из вышеприведённых методов очистки обуславливает соответствующее аппаратное обеспечение:

- газоотстойники;
- пылеосадители инерционные или центробежные;
- электрофильтры;
- фильтры для газовых смесей и пылеуловители, в частности, гидравлические.

Обоснованный выбор типа газоочистного агрегата обусловлен рядом параметров, преимущественно дисперсным составом отделяемых частиц и необходимой степенью очистки. Опираясь на эти факторы, можно предварительно выбрать газоочистные аппараты по характеристикам, представленным в табл. 1. По приведённым характеристикам можно провести оценку лишь интервала их варьирования в довольно широком диапазоне. Например, для грубой очистки применяют гравитационные и центробежные агрегаты. Для этих целей рекомендуется использовать циклоны, как более компактные при сравнительно большой степени очищения, которую увеличивают путём установки гидравлических уловителей или газовых и электрических фильтров.



Характеристики газоочистных агрегатов

Тип агрегата	Размеры дисперсных частиц, мкм	Степень очистки, %
Пылеосадительные камеры	5–20 000	40–70
Центробежные пылеосадители	3–100	45–85
Электрические фильтры	0,005–10	85–99
Гидравлические пылеуловители	0,01–10	85–99
Газовые фильтры	2–10	85–99

Гидравлические агрегаты для так называемой мокрой очистки газовых смесей (насадочные, центробежные и струйные скрубберы), а также механические газопромывные аппараты дают возможность обеспечить сравнительно высокую степень очистки газовых смесей (98–99 %). Однако такой подход имеет ряд недостатков, ограничивающих их применение в химической промышленности: в частности, при мокрой очистке необходимо охлаждение, увлажнение и окисление газовой смеси; к тому же дисперсные частицы в данном случае сложно отделить и утилизировать в производственных целях, поэтому на химических предприятиях нашли широкое применение пенные агрегаты с большой степенью очистки газовых смесей от взвешенных частиц (до 90 %), хотя и им присущ ряд недостатков гидроочистки.

Электрические фильтры – сравнительно эффективные аппараты для очистки пыли при условии разделения больших объёмов газовой смеси и её температуры в пределах 80–90 °С.

1.2. Типовые конструкции

1.2.1. Пылеосадительные камеры

Взвешенные частицы отделяются в пылеосадительных устройствах под действием гравитационных сил (рис. 1).

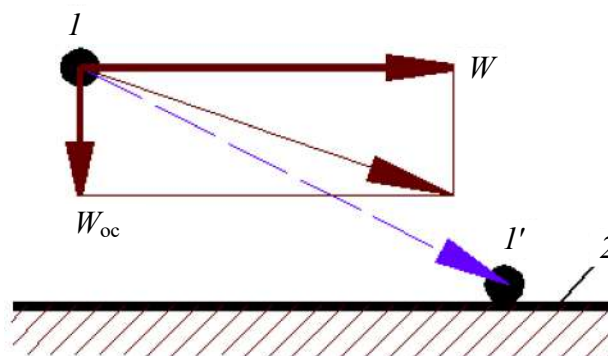


Рис 1. Осаждение под действием гравитационных сил:

I – частица до осаждения; I' – частица после осаждения; 2 – осадительная поверхность



Для разделения нагретых дымовых газов в основном применяют полочные камеры, так называемые камеры Говарда (рис. 2). Количество газовой смеси при заданном размере дисперсных частиц зависит от площади полок камер и скорости падения частицы.

Камера представляет собой последовательность горизонтально расположенных полок 1 на расстоянии 40–80 мм между ними. Поток газовой среды по трубопроводу 2 через шибер 3 направляется в канал 4, после чего распределяется на отдельные потоки в межполочном пространстве. При продвижении газообразной смеси по рабочему пространству дисперсные частички оседают на полках. Очищенная газовая фаза по сборному каналу 5 через вертикальный канал 6 и шибер 7 выбрасывается наружу.

Съём пыли с полок камеры производится периодически скребками. Для этого в торцевой стенке камеры имеются особые дверцы 8. Так как на время удаления пыли подача газа в камеры прекращается, а поступление газа из технологического аппарата продолжается непрерывно, обычно устанавливают не менее двух камер с тем, чтобы во время очистки одной из них весь газ, хотя бы с ухудшенными результатами очистки, проходил через другую камеру.

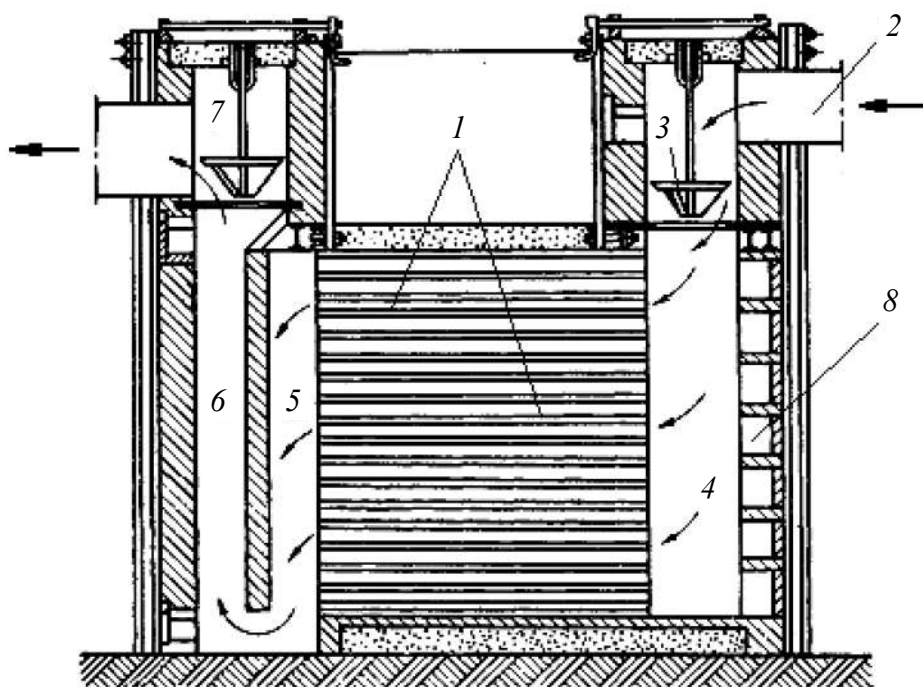


Рис. 2. Схема многополочной пылеосадительной камеры:

- 1 – полки; 2 – трубопровод запылённого газа; 3, 7 – шиберы;
4 – распределительный канал; 5 – сборный канал; 6 – вертикальный канал;
8 – дверцы для удаления осадка

Достоинствами полочных камер являются простота их конструкции и небольшое гидравлическое сопротивление прохождению газа, а также значительное превышение общей площади всех полок площади пола простой отстойной камеры, в связи с чем их производительность, соответственно, больше. Так как расстояние между полками 40–80 мм, длительность осаждения невелика.



Основным недостатком данных камер является громоздкость, обусловленная малой скоростью осаждения частиц под действием небольших сил – сил тяжести.

В целях интенсификации полочных пылеосадительных камер необходимо уменьшить расстояние между полками, что невозможно при ручной выгрузке пыли скребками, но возможно при разгрузке её поворотом полок, постановкой наклонных полок и вибрационным удалением пыли, смывом пыли водой и т. д.

Эти аппараты имеют малую эффективность и их применяют в основном для начальной грубой очистки газовых смесей, а в дальнейшем используют более совершенные агрегаты для газоочистки.

1.2.2. Инерционные пылеуловители

Очистка газов инерционными пыле-, тумано- и брызгоуловителями происходит под действием инерционных сил, появляющихся при резкой перемене направленности перемещения газового потока (рис. 3).

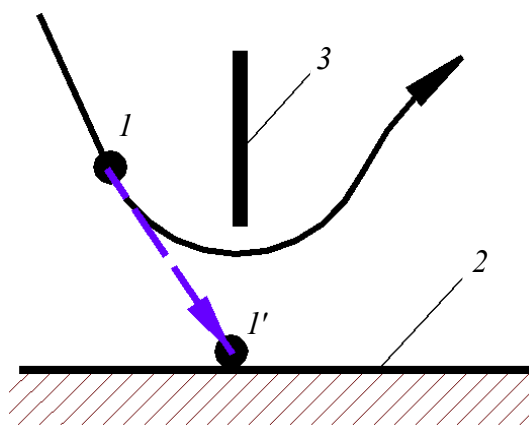


Рис. 3. Инерционное осаждение:
1 – частица до осаждения; 1' – частица после осаждения;
2 – поверхность осаждения; 3 – перегородка

Движущаяся частица и газ обладают инерцией. Однако вследствие того, что масса частицы в тысячи раз больше массы равновеликого объёма газа, частица при резком изменении скорости газа или при завороте его, преодолевая сопротивление среды, продолжает двигаться в прежнем направлении и выпадает из газового потока.

Для эффективного действия подобных аппаратов должны быть использованы значительные скорости пылегазового потока – 15–20 м/с и более.

Конструкций инерционных пылеуловителей и брызгоуловителей очень много. Отметим, что в данных аппаратах поток газа сильно турбулизован, что приводит к явлениям отскока уже осевшей пыли. В этих условиях брызги, прилипая к поверхности осаждения, улавливаются значительно эффективнее,



чем пыль. С другой стороны, в некоторых инерционных пылеуловителях, в частности жалюзийных, явление отскока эффективно используется.

Простейшими инерционными пылеуловителями являются отстойные газоходы, в которых для развития инерционных сил устанавливаются, например, вертикальные перегородки (рис. 4).

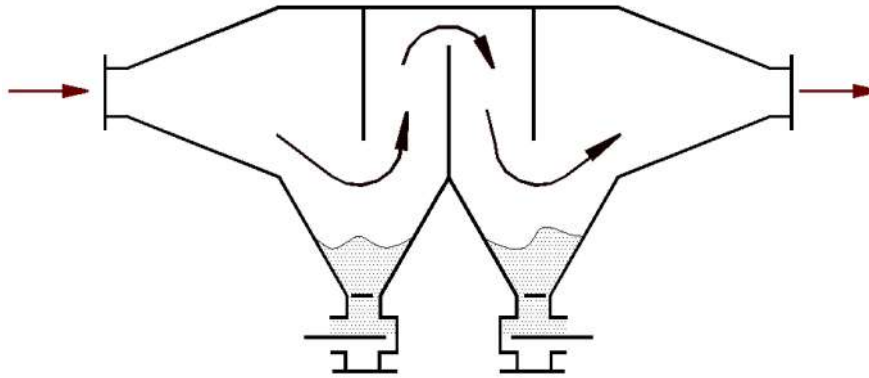


Рис. 4. Отстойный газоход с вертикально расположенными перегородками

В более эффективных пылеуловителях (рис. 5) газ поступает со значительной скоростью (15–20 м/с), а после резкого поворота его скорость падает (до 2–3 м/с) за счёт уширения аппарата, способствуя лучшему выпадению пыли.

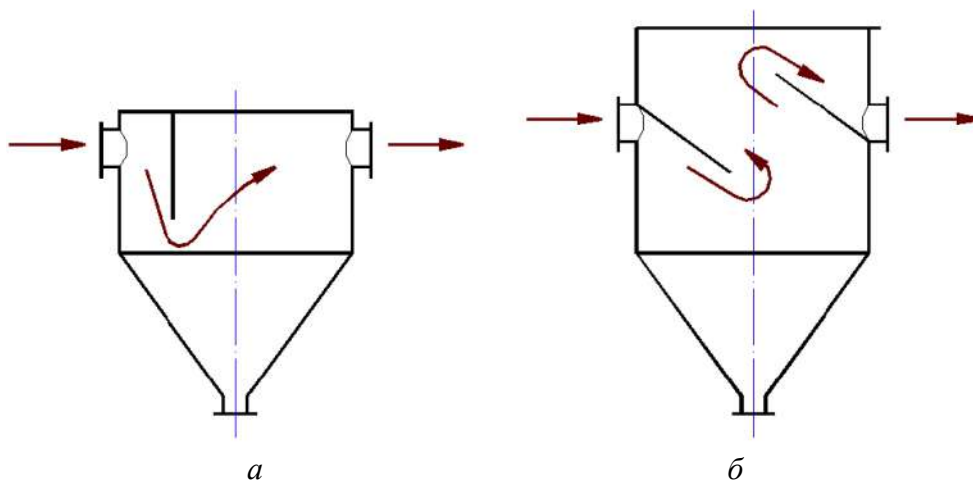


Рис. 5. Пылеуловители с перегородками:
а – перпендикулярно расположенные к потолку;
б – расположенные к потолку под определённым углом

При увеличении изменений направления движения газа растёт эффективность газоочистки, однако при этом возрастают гидравлическое сопротивление и энергоёмкость продвижения газовой смеси.

Жалюзийный пылеуловитель (рис. 6) скомпонован из вмонтированной в газоход наклонной решётки 1. При резком повороте газа в щель, образо-



ванную в решётке пластинами, частички пыли, перемещаясь в том же направлении, отскакивают при столкновении с пластиной и снова увлекаются газовым потоком, где конденсируется всё большее количество пыли. Таким образом, жалюзийная решётка является конденсатором пыли.

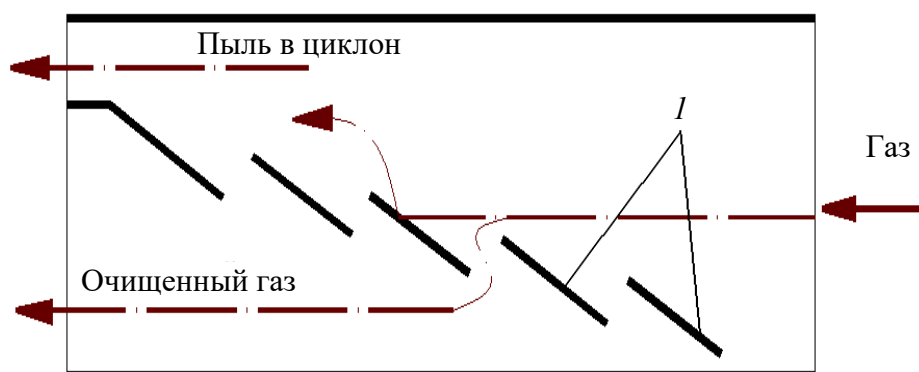


Рис. 6. Жалюзийный пылеуловитель

Газ в объёме 90–95 % проходит через решётку, очищаясь при этом от пыли, и только 5–10 % газа, в котором сосредоточена основная масса пыли, поступает на дальнейшую очистку в последующий специальный аппарат (обычно циклон).

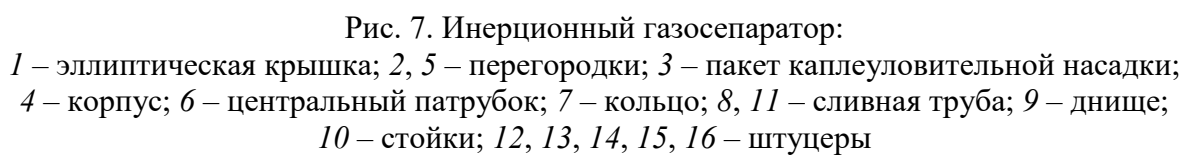
Известны различные варианты конструкций брызго- и пылеуловителей инерционного типа с разными исполнением и компоновкой насадки для каплеулавливания, а также размещением входных и выходных газовых патрубков.

На рис. 7 показана одна из многих конструкций аппаратов, предназначенных для очистки газа от жидкости (конденсата). Агрегат смонтирован из вертикального металлического корпуса 4 в виде цилиндра, стоек 10, крышки 1 эллиптической формы и днища 9.

В средней части аппарата установлен отбойник первичной сепарации, состоящий из горизонтального кольца 7 с приварным центральным патрубком 6. В кольцо вварена сливная труба 8. В верхней части расположен отбойник вторичной сепарации, состоящий из двух горизонтальных перегородок 2 и 5 с удалёнными сегментами. Между перегородками закреплён пакет 3 жалюзийных пластин или сеток. Перегородка 5 снабжена сливной трубой 11.

Газ, подлежащий очистке, вводится в сепаратор через тангенциальный штуцер 12 и после завихрения проходит через патрубок 6, где за счёт изменения направления движения и увеличения скорости происходит первичная сепарация газа, т. е. отделение находящихся в нём капелек конденсата. Проходя через верхний отбойник, газ дополнительно сепарируется и выводится через штуцер 16. Жидкость вторичной сепарации стекает по трубам 8 и 11 в нижнюю часть аппарата, откуда выводится через коленообразный штуцер 14. Штуцер 13 служит для установки люка – лаза с плоской крышкой. Штуцер 15 предназначен для установки регулятора и указателя уровня жидкости.





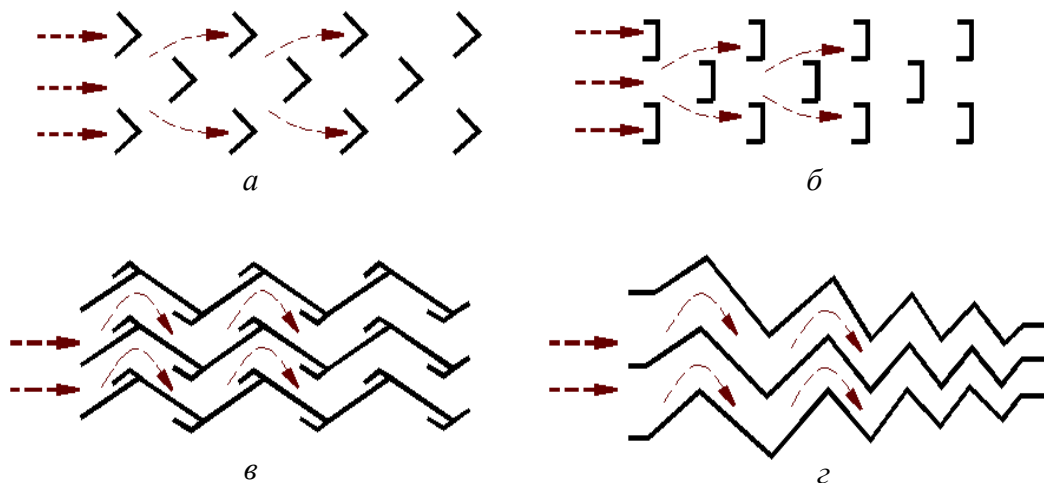


Рис. 8. Типы насадки каплеулавливания:

a – уголковая; *б* – желобковая; *в* – жалюзийная, имеющая карманы для сбора частичек;
г – жалюзийная с меняющимися геометрией и сечением каналов

В современных условиях широко распространены струйные насадки, являющиеся набором рамок с намотанной проволокой диаметром от 0,3 до 0,5 мм. Здесь капли оседают на нитях, коалесцируя в плёнку, стекающую под действием гравитационной силы вниз.

Инерционные газовые сепараторы применяют при низкотемпературном сепарировании в качестве его входных, промежуточных и завершающих ступеней, преимущественно для предварительного разделения газожидкостной смеси.

1.2.3. Центробежные пылеосадители

В циклонах отделение взвешенных частичек в потоке газа проводят под действием центробежных сил (рис. 9).

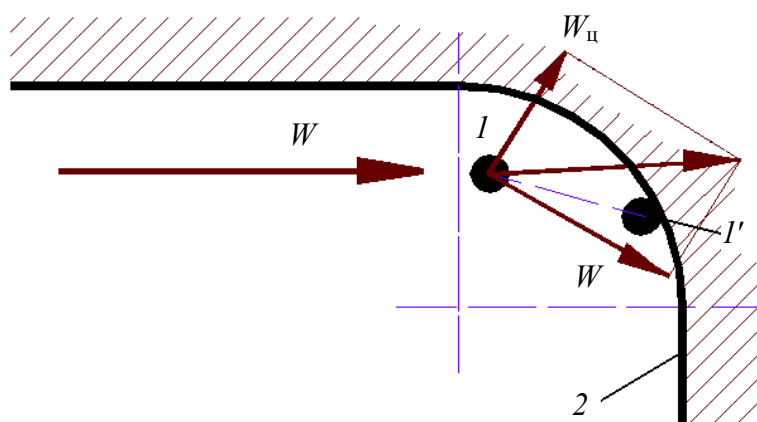


Рис. 9. Центробежное разделение:

I – частичка до отделения; *I'* – частичка после отделения; *2* – поверхность осаждения

Принцип действия циклона с цилиндрическим участком *1* корпуса, наклонной винтовой крышкой *2* и конусной частью *5* показан на рис. 10. Из крышки с заданной глубины цилиндра выведена для отведения газа после



очистки труба 4. Газовая запылённая среда через патрубок прямоугольного сечения 3, расположенный по касательной к корпусу, получая вращательное движение между обечайкой и центральной трубой, продвигается по спирали вниз. Под действием центробежной силы частички пыли отбрасываются к внутренней стенке и стекают по ней в отверстие для разгрузки 6. Благодаря центробежной силе газ образует воронку с пониженным давлением и за счёт разности давлений в цилиндрической и конической частях перемещается вверх по внутренней спиральной траектории в центральную выпускную трубу 4 и выводится из аппарата. Пыль из аппарата удаляется герметизированными затворами, например «мигалками», как показано на рис. 10. При накоплении пыли «мигалки» сами откидываются, высыпают пыль и вновь закрываются.

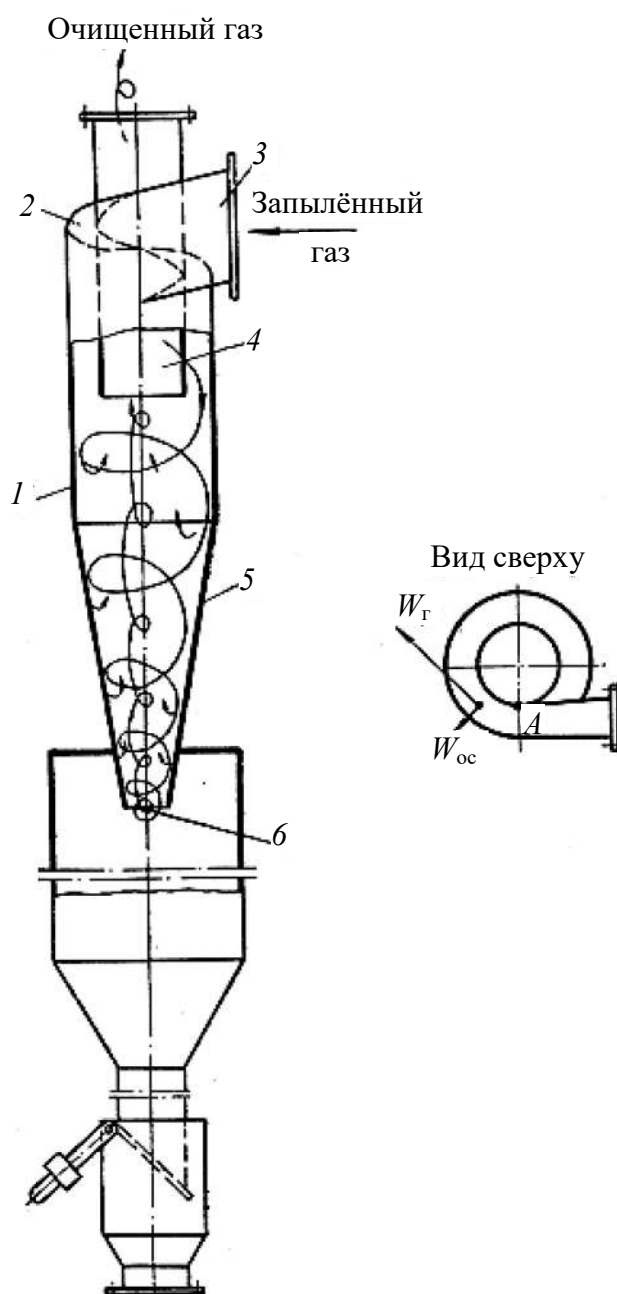


Рис. 10. Схема центробежного устройства для осаждения:
 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – патрубок; 4 – центральная труба;
 5 – конус; 6 – отверстие для разгрузки



Широко применяются циклонные агрегаты Научно-исследовательского института очистки газа (НИИОГАЗа) (рис. 11) со сравнительно малым гидросопротивлением и большой степенью очищения, при содержании пыли в газе до сотен граммов на 1 м^3 . Такие агрегаты выполняют при ряде типоразмеров с диаметром от 40 до 800 мм. Для увеличения производительности их можно расположить в виде параллельных групп по две (рис. 11), три и более с общими сборниками пыли, входными и выходными коллекторами.

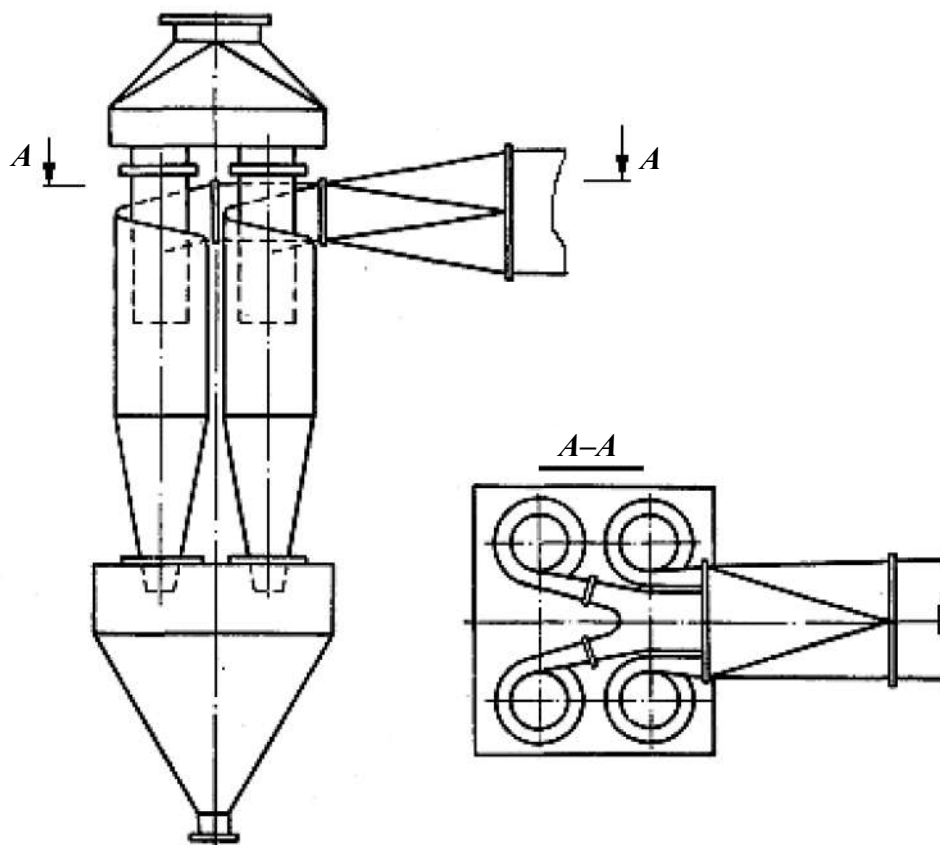


Рис. 11. Схема группового циклонного аппарата

В одном аппаратном блоке обычно устанавливают не более шести параллельно функционирующих агрегатов.

Эффективное и стабильное функционирование циклона в значительной степени зависит от его формы и размерного соотношения. Все модификации циклонов НИИОГАЗа геометрически подобны при зависимости всех размеров от диаметра обечайки D , которую и надо задать для расчёта циклона.

Несмотря на широкое применение циклонов в промышленности, идущий в них процесс разделения неоднородных систем недостаточно исследован из-за сложности гидродинамической обстановки. Поэтому выбор циклонов до сих пор опирается в основном только на эмпирические данные, в связи с чем применяется большое число различных конструкций этих аппаратов (рис. 12).

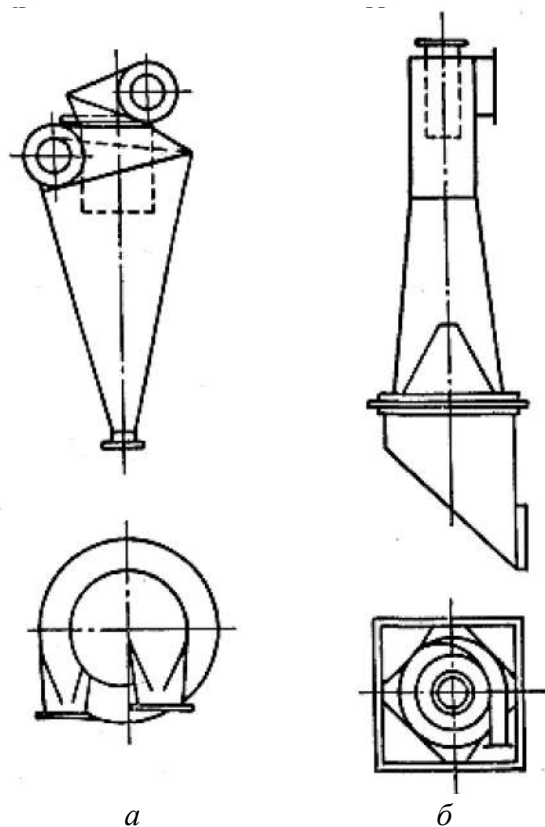


Рис. 12. Типы циклонов:

a – Саратовского института охраны труда;

б – Всероссийского центрального научно-исследовательского института охраны труда

В промышленности используют также циклоны Всесоюзного теплотехнического института им. Дзержинского (ВТИ) и Центрального котельного конструкторского бюро (ЦККБ) (рис. 13).

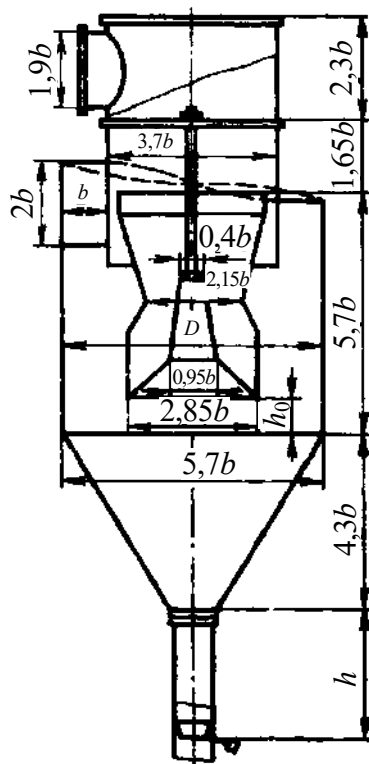


Рис. 13. Схема циклона ЦККБ (b , h , h_0 , D – конструктивные параметры)



С уменьшением диаметра циклона существенно растёт центробежная сила и, как следствие, скорость осаждения. Для отделения тонкодисперсных частиц с размерами до 5–10 мкм используется батарейный циклон (рис. 14), скомпонованный из параллельно установленных аппаратов (элементов) сравнительно малого диаметра от 100 до 250 мм. Их используют в большом температурном интервале (до 400 °С) при сравнительно незначительной концентрации частичек в газовой смеси. Батарейные агрегаты включают ряд секций, расположенных в корпусе с прямоугольным сечением.

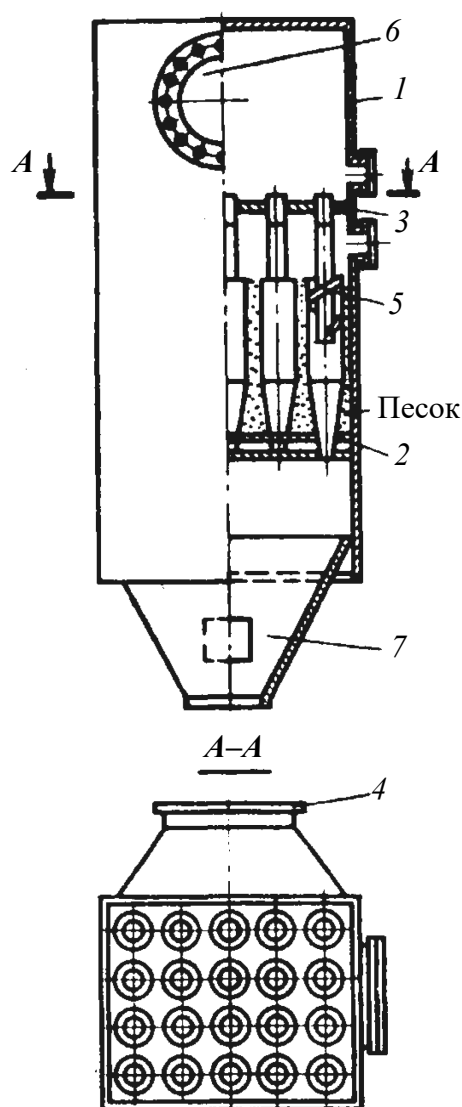


Рис. 14. Батарейный циклон:
 1 – корпус; 2, 3 – решётки; 4 – входной патрубок; 5 – элементы;
 6 – выходной патрубок; 7 – днище

Элементы батарейного циклона снабжены специальными устройствами для закручивания запылённого газового потока, которые выполняют в виде винтовой ленты или лопастной розетки (рис. 15).



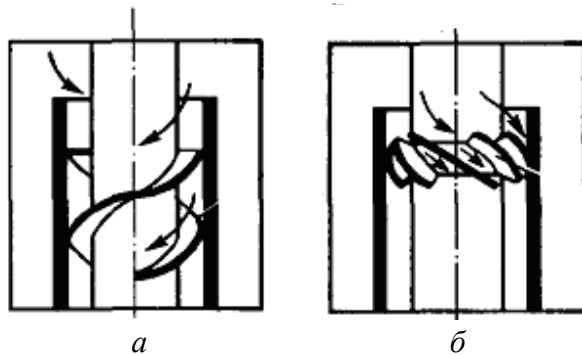


Рис. 15. Завихряющие устройства:
а – винтовая лента; *б* – лопастная розетка

На рис. 16 представлены батарейные циклоны различных типов.

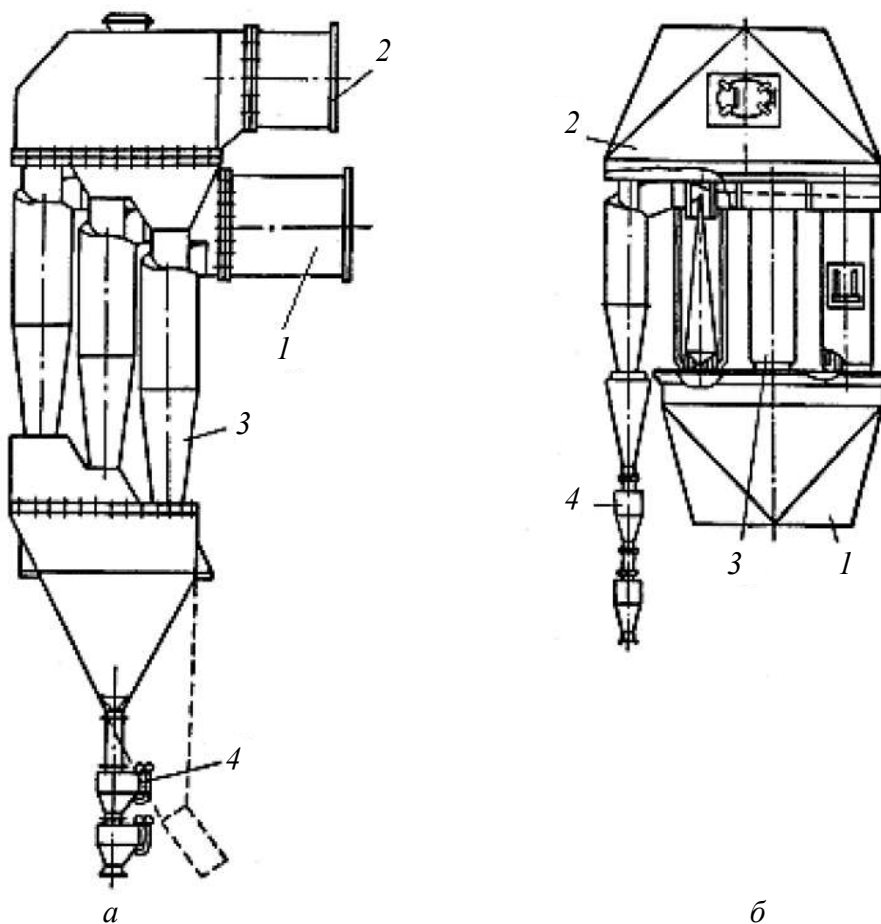


Рис. 16. Типы батарейных циклонов:
а – БП-75; *б* – ЦБК-75;

1 – входной патрубок; *2* – патрубок для отвода очищенного газа;
3 – элементы центробежного отделения пыли; *4* – патрубок для отвода пыли

На рис. 17 показан батарейный циклон с наклонным расположением элементов.

Степень очистки рассчитывается как отношение масс отделённых частиц и частиц в исходном газовом потоке для определённого размера частиц или их фракции. Величина степени очистки зависит от величины центробежного ускорения.



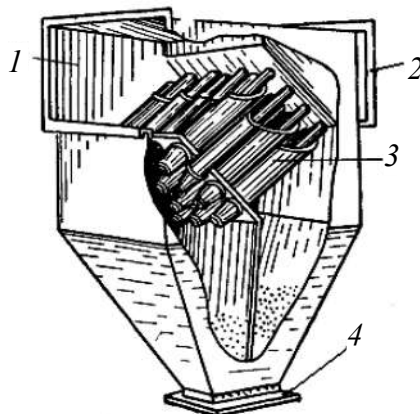


Рис. 17. Батарейный циклон с наклонным расположением элементов:
 1 – входной патрубок; 2 – патрубок для отвода очищенного газа;
 3 – элементы центробежного разделения пылегазовой смеси;
 4 – патрубок для отвода отделённой пыли

К недостаткам центробежных аппаратов можно отнести низкую степень очистки газовой фазы от тонкодисперсных частиц, сильное гидросопротивление и, как следствие, большие энергозатраты, истирание внутренней поверхности частицами пыли, а также чувствительность к изменениям нагрузки.

Циклонные аппараты широко используются в разных промышленных отраслях, к примеру, при нефтепереработке в устройствах для каталитического крекинга и термкрекинга, выработке технического углерода (сажи), удалении влаги из материалов горячими газами, измельчении, пневмотранспортировке и др.

1.2.4. Гидравлические пылеуловители

Мокрое разделение неоднородных газовых сред производят в гидравлических скрубберах (центробежных, насадочных, струйных) и механических уловителях со смачиваемыми поверхностями. Промывка газа основана на прилипании частиц к поверхности жидкости на пути движения загрязнённого газа через аппарат (рис. 18). Поэтому аппараты должны иметь как можно большую поверхность соприкосновения газа с жидкостью.

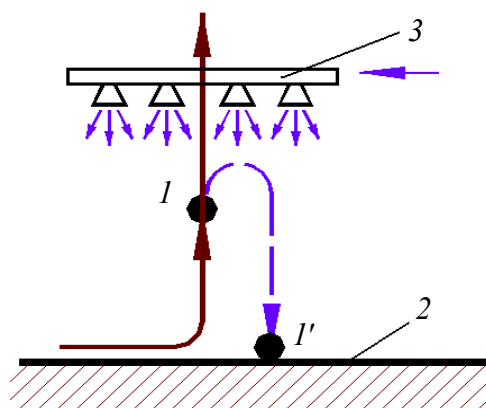


Рис. 18. Мокрая очистка запылённого газового потока:
 I – частица до отделения; I' – частица после отделения;
 2 – поверхность осаждения; 3 – оросительное устройство



Агрегаты мокрой очистки газовых смесей (скрубберов) имеют различные конструктивные особенности. По способу осуществления контакта можно выделить их следующие типы: полые, насадочные, тарельчатые, центробежные, скоростные (скрубберы Вентури), механические и др. Рассмотрим некоторые из них.

Насадочный скруббер (рис. 19) представляет собой цилиндрическую башню 3 с дном 9 и крышкой 4. Над входным патрубком 2 для загрязнённого газа устанавливается колосниковая решётка 8, на которой расположена насадка 7: реечная (деревянные или металлические рейки), кусковая, чаще кольцевая (обрезки труб, керамические кольца и т. п.). Загрязнённый газ перемещается по прозорам (каналам) между телами насадки. Взвешенные частички стремятся и налипают на поверхность стекающей по насадке жидкости. Промывная жидкость равномерно распределяется по насадке оросительным устройством 5. Очищенный газ выходит через патрубок 6, а уловленная пыль стекает в виде пульпы через патрубок 1.

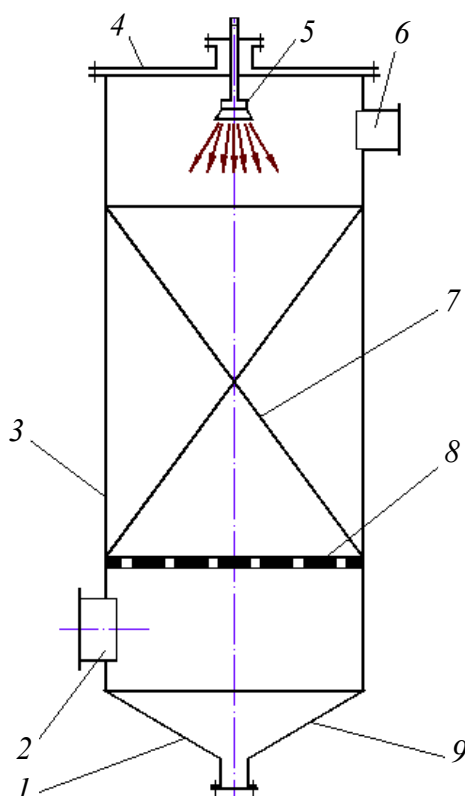


Рис. 19. Насадочный скруббер:
1, 2, 6 – патрубки; 3 – корпус; 4 – крышка; 5 – оросительное устройство;
7 – насадка; 8 – решётка; 9 – днище

Поверхность осаждения в насадочных скрубберах создаётся насадкой. В аппаратах такого типа применяют неподвижную (насыпную или регулярную) и подвижную насадки. Неподвижная насадка работает в плёночном режиме и склонна к забиванию.



Наряду с насадочными аппаратами мокрой очистки газа, в промышленности применяются полые безнасадочные скрубберы (рис. 20). Поверхностью осаждения в полых скрубберах является поверхность брызг и капель промывной жидкости. В полых, менее эффективных башнях труднее обеспечить равномерный по сечению ход газа.

Полые распылительные скрубберы подразделяют на противо- и прямоточные, а также скрубберы с поперечным подведением жидкой фазы. В распыливающем скруббере в зависимости от его размеров устанавливаются форсунки в одном или нескольких сечениях.

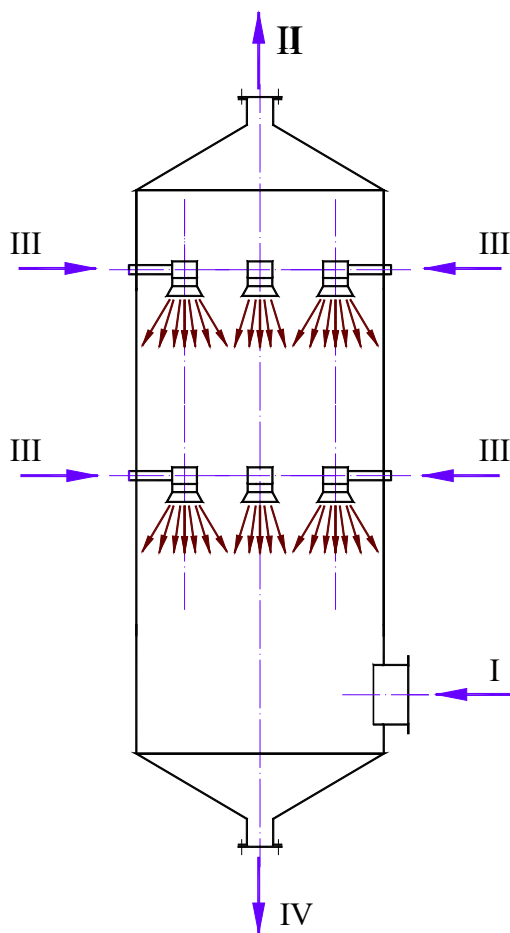


Рис. 20. Полый безнасадочный скруббер:

I – запылённый газ; II – очищенный газ; III – жидкость; IV – слив

На рис. 21 показан полочный каскадный скруббер. Скруббер данной конструкции применяют при очень большой концентрации пыли, т. к. он меньше по сравнению с насадочным забивается пылью, но при этом обладает меньшей поверхностью осаждения, что никак нельзя отнести к преимуществам этого аппарата.



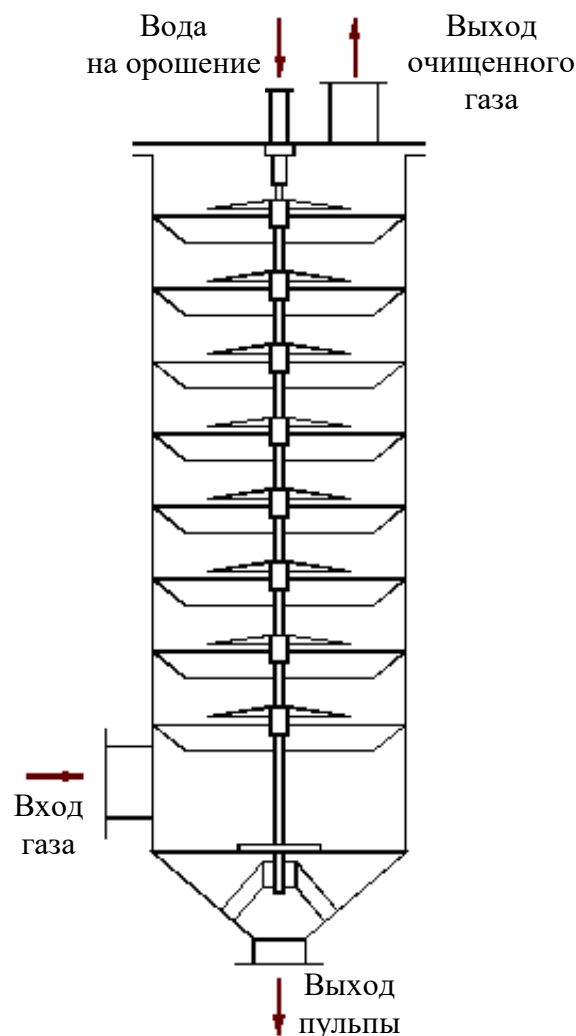


Рис. 21. Полочный каскадный скруббер

Промывные башни (скрубберы) громоздки. Компактным аппаратом для промывки газа от пыли и тумана является механический газопромыватель-дезинтегратор (рис. 22). Промывная жидкость подаётся в быстро вращающиеся (до 3 000 об/мин), прикреплённые к диску дырчатые конусы 2, которые тонко распыливают жидкость за счёт центробежной силы. Запылённый газ поступает через патрубки 7. Газ и жидкость протягиваются лопастным колесом (ротором) через дезинтеграторную часть аппарата, состоящую из 3–4 концентрических рядов стержней 5 на роторе и статоре аппарата.

Далее они попадают на лопасти 3, отбрасывающие основную массу капель с прилипшими к ним частицами на скошенные стенки кожуха 6 (по которым стекают и удаляются из нижней части кожуха) и лопасти 4 вентиляторной части аппарата, создающие напор до 500 мм вод. ст. За счёт развиваемой вращением центробежной силы оставшиеся капельки жидкости с прилипшими к ним частицами осаждаются на поверхности кожуха, по которому они стекают и удаляются. Таким образом, в дезинтеграторе совмещаются высокоинтенсивная промывка и центробежное улавливание капель с прилипшими к ним частицами.



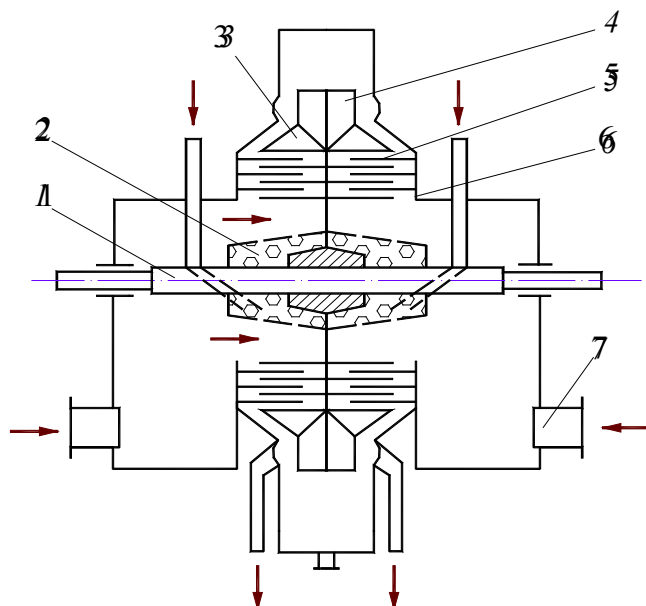


Рис. 22. Механический газопромыватель:

1 – вал; 2 – дырчатый конус; 3, 4 – лопасти; 5 – стержень; 6 – кожух; 7 – патрубок

В скрубберах Вентури жидкая фаза дробится высокоскоростным потоком газа.

На рис. 23 приведена конструкция агрегата мокрого разделения, включающая скруббер Вентури и барботёр-уловитель с тремя клапанными контактными тарелками.

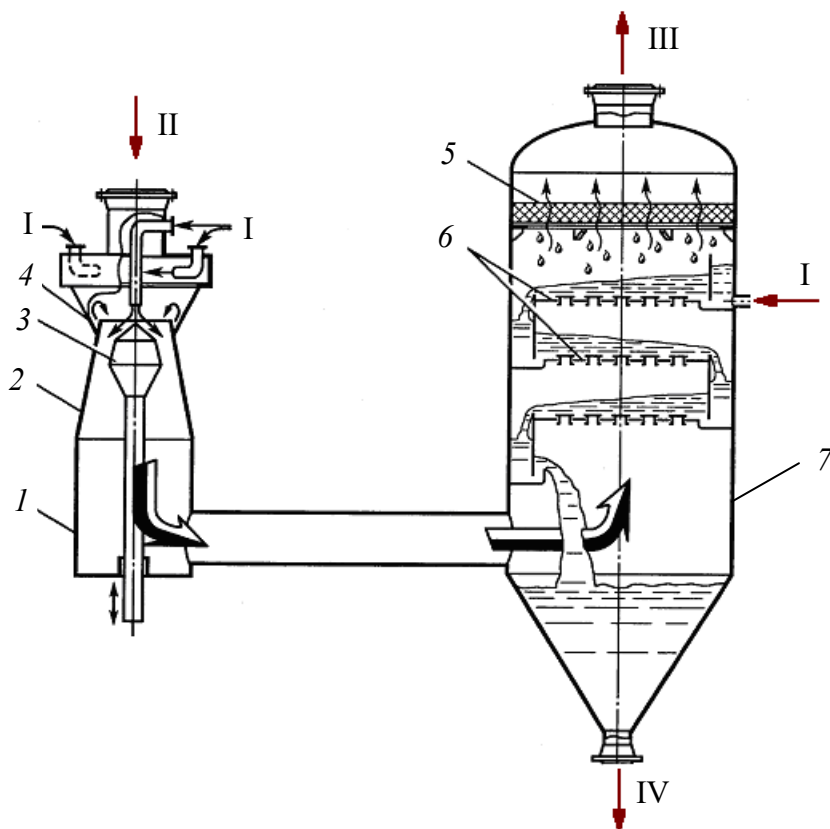


Рис. 23. Агрегат для разделения газовых смесей фирмы «Кох»:

1 – труба Вентури; 2 – диффузор; 3 – регулировочный конус; 4 – конфузор;
5 – сетчатый отбойник (демистер); 6 – клапанные тарелки; 7 – барботёр-уловитель;
I – жидкая фаза; II – газовая смесь; III – газ после очистки; IV – шлам



Неоднородная среда поступает в трубу Вентури 1 и в её горловине подвергается смешению с жидкостью, часть которой подводится по двум входам по касательной в верхней части конфузора 4, а оставшаяся её часть попадает напрямую в горловину. Смеси жидкости и газа направляются в промывочную секцию, где на входе они проходят сквозь поток жидкости, который сливается по переливному узлу нижнего контактного устройства. Далее смесь продвигается последовательно через барботажные слои трёх тарелок 6. Каплеотделение проводят в сетчатом отбойнике 5, размещённом над верхним контактным устройством.

При варьировании расхода исходной газовой среды надо стабилизировать её скорость в горловине трубы Вентури вследствие того, что в таком варианте степень очищения практически не меняется благодаря регулировочному конусу 3.

В пенном промывателе (рис. 24) газовая смесь проходит сквозь перфорированную решётку, по которой перетекает жидкая фаза. При достижении определённой скорости смеси она образует подвижную пену, улавливающую пыль. Здесь достигается большая полнота очистки при меньшем гидравлическом сопротивлении, чем в скруббере Вентури.

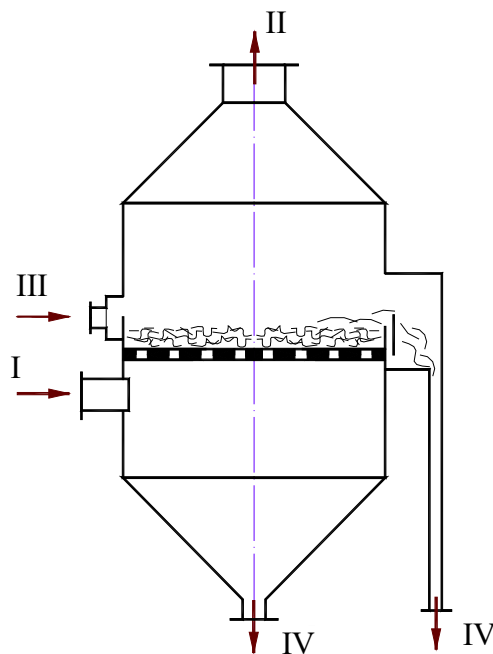


Рис. 24. Пенный газопромыватель:
I – запылённый газ; II – очищенный газ; III – жидкость; IV – слив

Среди новых аппаратов интересны пылеуловители шарового типа (рис. 25) с рядом преимуществ по сравнению с промывателями, имеющими смоченные поверхности. Агрегаты шарового типа менее металлоёмки. В них обрабатываемая среда хорошо распределяется по сечению рабочего объёма и уменьшается гидросопротивление при возможности удачной компоновки рабочих узлов.



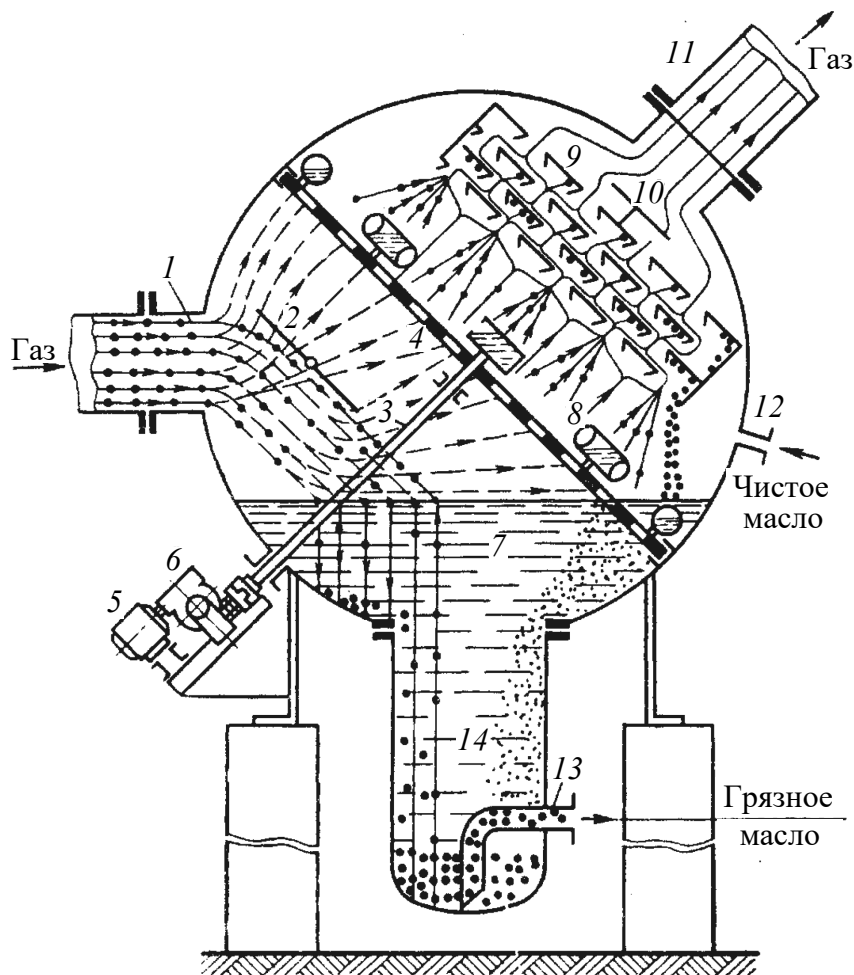


Рис. 25. Шаровой пылеуловитель Украинского государственного института по проектированию предприятий по добыче природных газов (Укргипрогаза):

1, 11, 12, 13 – штуцер; 2 – отбойный щиток; 3 – вал; 4 – ситчатый диск;
5 – электродвигатель; 6 – редуктор; 7 – ванна; 8 – ковш;
9 – каплеуловитель; 10 – отбойник; 14 – грязевик

Исходная смесь (рис. 25) через штуцер 1 направляется в агрегат и благодаря отбойному щитку 2 движется в изменённом направлении при сниженной скорости. Крупные частички опадают в масло внизу уловителя. В таком случае среда после частичного очищения равномерно распределяется по сечению объёма аппарата, передвигаясь в лабиринт из проволоки, который вращается на валу 3 ситчатого диска 4. На развитой поверхности диска 4, смоченного маслом, происходит задерживание большинства мелкодисперсных частичек, которые удаляются с контактного устройства при его вращении. Пористая поверхность диска частично проходит через ванну 7, увлекая масло. В верхней части диск из закреплённых по его периметру ковшей 8 орошается маслом. Вращающиеся ковши зачерпывают масло в ванне 7. После прохождения диска 4 газовая смесь подаётся в уловитель 9. Её распределение по сечению диска осуществляется регулированием отбойника 10.

Из газовой неоднородной среды удаляются капли масла и жидкости, а также конденсат, поступающие из газопровода и стекающие в ванну 7.

Малозначительная часть капле́ль масла формируется при разрыве масляных пузырей на выходной части диска 4. Очищенная газовая фаза выводится из агрегата через штуцер 11.

Частички из ванны 7 продвигаются в низ грязевика 14 и периодически вместе с грязным маслом выводятся через штуцер 13. Уровень в ванне 7 фиксируется подпиткой через штуцер 12 свежим или очищенным маслом.

Уловитель шарового типа собирается из сборных и взаимозаменяемых деталей, что позволяет их регулировать и заменять.

Относительная степень пылеулавливания во всех промывных аппаратах вследствие хаотического движения в них частиц не зависит от начальной концентрации пыли в газе. Поэтому целесообразно перед поступлением газа на промывку провести его предварительную очистку.

Для сокращения расхода жидкости проводят её частичную рециркуляцию, а иногда и полностью замкнутую систему водоснабжения. Пульпа, выходящая из промывателей, идёт в отстойники (реже на фильтры), и очищенная вода вновь возвращается на промывку.

Мокрое очищение применяют в случае возможности увлажнения, снижения температуры исходной среды, образования жидкообразных шламов, которые нетрудно удалять из агрегата.

1.2.5. Электрофильтры

Электроосаждение твёрдых или жидких частиц проводится в электрическом поле (рис. 26).

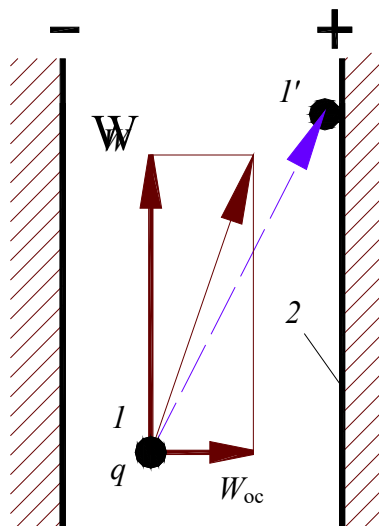


Рис. 26. Схема электроосаждения:

I – частица до отделения; I' – частица после отделения; 2 – поверхность осаждения

При наличии в газе заряжённых частиц (положительных и отрицательных ионов и свободных электронов) он становится проводником электрического тока. Так, в воздушном конденсаторе (рис. 27), состоящем из двух параллельно



установленных, разделённых слоем воздуха металлических пластин, присоединённых к источнику электрического тока, можно обнаружить чувствительным гальванометром прохождение тока.

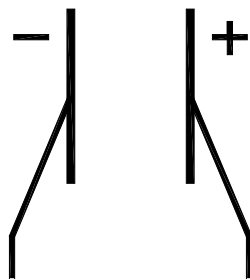


Рис. 27. Воздушный конденсатор

По мере увеличения приложенной разности потенциалов к пластинам-электродам увеличивается напряжённость электрического поля и воздействующая на ионы и электроны сила. Скорость движения ионов и электронов и их кинетическая энергия увеличиваются так, что при некоторой критической величине напряжённости они приобретают силу «удара», способную расщепить встречную молекулу газа на электрон и положительно заряженный ион. Вновь образованные электрически заряженные частицы сами способны расщеплять всё новые и новые нейтральные молекулы газа. Поэтому процесс ионизации газа при критической напряжённости поля носит лавинообразный цепной характер.

Если электрическое поле однородно, т. е. напряжённость его везде одинакова, как, например, в рассматриваемом конденсаторе (рис. 27), то лавинообразный процесс ионизации наступает сразу на всём расстоянии между электродами. При этом проводимость газа настолько увеличивается, что через него проходит мощный мгновенный ток, вызывающий искровой разряд и далее дуговой пробой газа. При выборе в качестве одного электрода проволоки, а другого – трубы или пластины (рис. 28) электрическое поле неоднородно, напряжённость его уменьшается в радиальном направлении от проволоки. В этом случае при соответствующей разности потенциалов можно иметь критическую напряжённость поля, а следовательно, и лавинообразную ионизацию у поверхности проволоки, в то время как вдали от проволоки она рассеется. Внешним проявлением такой лавинной ионизации газа только вблизи проволоки является голубовато-фиолетовое свечение («корона»), характерное шипение или потрескивание, а также запах озона и окислов азота, если коронный разряд происходит в атмосферном воздухе. Однако при дальнейшем увеличении разности потенциалов между электродами могут наступить искровой разряд и дуговой пробой через всё расстояние между электродами.



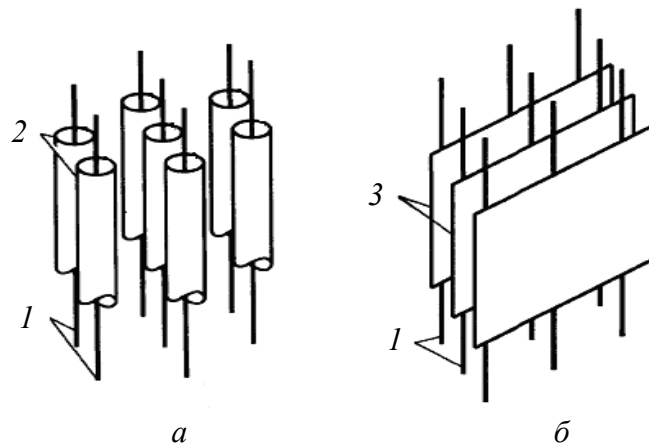


Рис. 28. Схемы трубчатых (а) и пластинчатых (б) электродов:
1 — коронирующие электроды; 2 — трубчатые осадительные электроды;
3 — пластинчатые осадительные электроды

При электрической очистке газов от пыли и тумана используют именно неоднородное электрическое поле с коронным («тихим») разрядом, не допуская образования дуговых пробоев между электродами. Питание коронирующего электрода в электроосаждении проводится током отрицательного заряда, поскольку при этом пробивная искровая напряжённость выше, а следовательно, можно держать и более высокой рабочую напряжённость.

Полученные в короне электроны и отрицательные ионы, т. е. молекулы газа с присоединёнными к ним избыточными электронами, будут передвигаться по всему газовому пространству к окружающей проволоку положительно заряжённой трубе или пластинам и разряжаться там. Если в этом ионизированном газе в поле движения электронов и отрицательных ионов находятся взвешенные частицы пыли (тумана), то они приобретают тот же заряд. Заряжённые пылинки под влиянием электростатической силы притяжения передвигаются к положительно заряжённой трубе или пластине (осадительным электродам), где и осаждаются, отдавая при этом свой заряд.

Образующиеся вблизи коронирующего электрода положительные ионы заряжают лишь незначительное количество пыли, находящееся в этом микропространстве. Эта пыль осаждается на коронирующем электроде. Понятно, что к электроосадителю должен быть подведён постоянный ток для непрерывного направления осаждаемых частиц от коронирующего электрода к осадительному.

Электрофильтры предназначены для очищения технологических газовых смесей с твёрдыми или туманообразными частицами, являющихся побочными продуктами при проведении технологических операций.

Электрические фильтровальные установки по форме осадительных электродов делят на трубчатые и пластинчатые.

Трубчатыми (рис. 29) называют устройства с электродами в форме трубок с круглым или шестигранным поперечным сечением. Коронирующие



ми в таком варианте являются проволоки или струны, размещённые по трубным осям. В верхней части они прикрепляются к раме, подвешенной на изоляторах, а в нижней части их крепят к общей раме, при этом происходит компенсация вибрации. Равномерность распределения неоднородной среды по рабочему объёму обеспечивается благодаря её подаче через газораспределительную решётку.

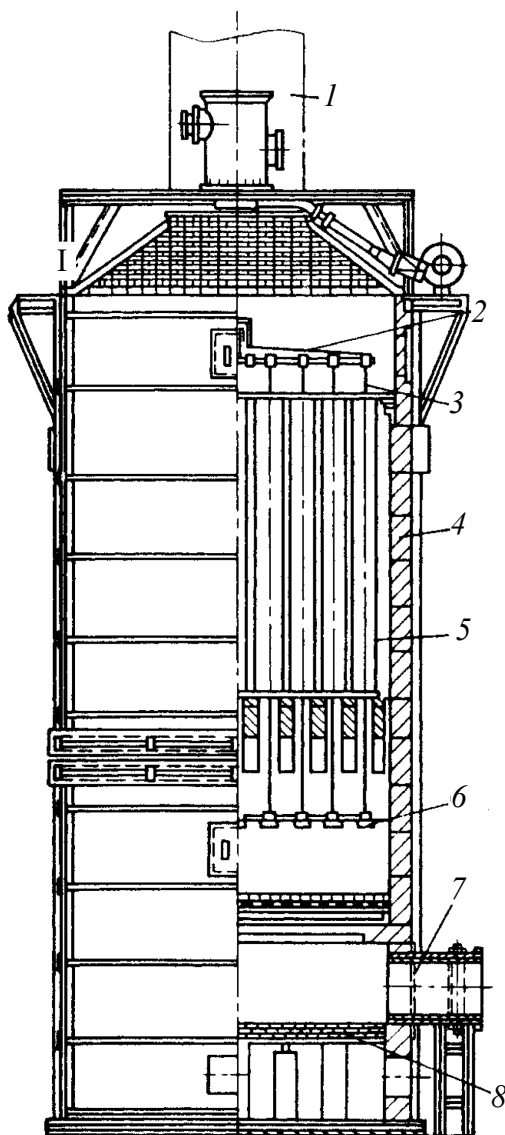


Рис. 29. Электрическая фильтровальная установка трубчатого типа:
1 – газоход для очищенного газа; 2, 6 – рамы; 3 – коронирующие электроды; 4 – камера;
5 – осадительные электроды; 7 – газоход; 8 – пылесборник

Достоинствами трубчатых аппаратов в сравнении с пластинчатыми являются более эффективное распределение силовых линий электрического поля и равномерное распределение газовой смеси по элементам электрофильтра, что даёт возможность повысить эффективность очистки, увеличить быстроту перемещения смеси в аппарате и его производительность.



К недостаткам электрических фильтровальных установок трубчатого типа можно отнести затруднённость монтирования и встряхивания коронирующих электродов без нарушения центрования, а также сравнительно большую энергоёмкость агрегатов, отнесённую к длине электрической проводки.

В электрических фильтровальных установках пластинчатого типа (рис. 30) осадительные электроды изготавливают из металлических пластин или сеток, между которыми устанавливают коронирующие электроды из проволоки.

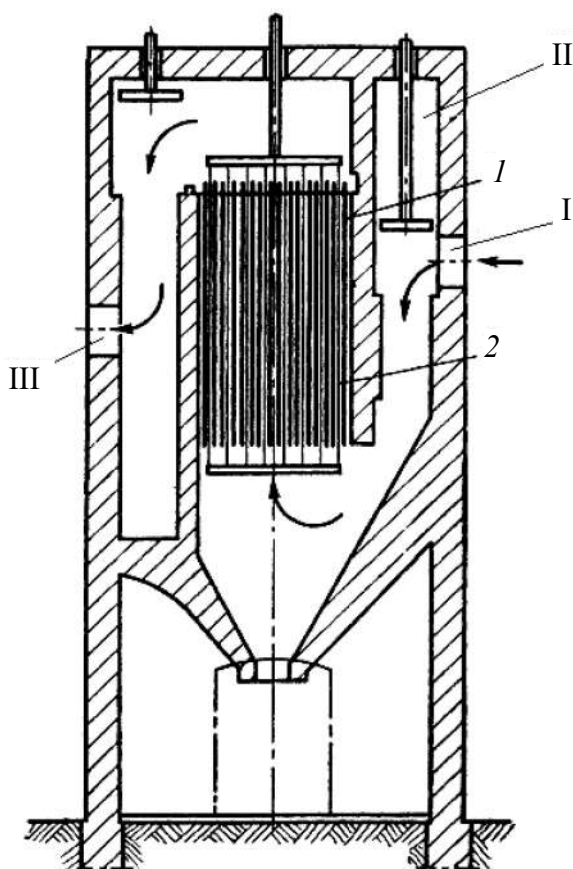


Рис. 30. Электрическая фильтровальная установка пластинчатого типа:

1 – коронирующие электроды; 2 – пластинчатые электроды;

I – входной газопровод; II – выходной газопровод; III – камера

Осадительные электроды конструктивно ограничены размерами: высотой 4 000 мм (при большей высоте затруднена центровка коронирующих электродов) и шириной 2 500 мм. При необходимости же большей длины электрического поля у горизонтальных электрофильтров устанавливают последовательно несколько секций: обычно две или три (рис. 31).

В данных электрофильтрах осадительные электроды 2 внутри камеры 3 расположены параллельно друг другу на расстоянии 250–300 мм и прикреплены к общей раме 5. Последнее позволяет легко осуществить встряхивание пыли. Между осадительными электродами, точно посередине, вертикально подвешены коронирующие электроды 7, связанные внизу рамочным грузом 4.



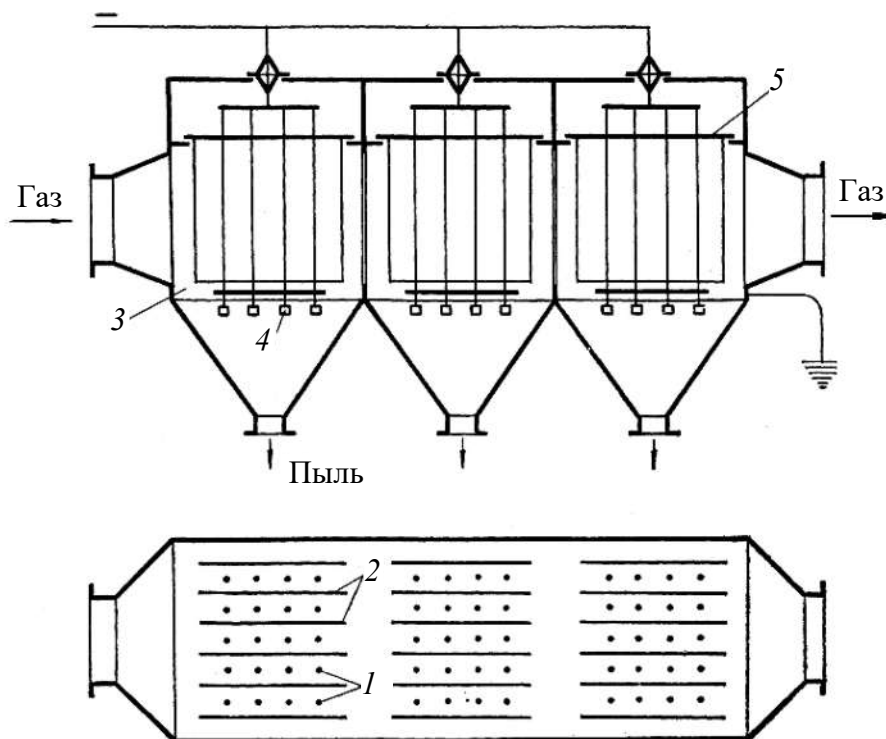


Рис. 31. Пластинчатый электроосадитель с последовательно расположенными секциями:
 1 – коронирующие электроды; 2 – осадительные электроды; 3 – камера;
 4 – рамочный груз; 5 – рама

Достоинства пластинчатых аппаратов заключаются в простоте монтажа и встряхивания электродов.

По виду частиц и способу их удаления электрофильтры подразделяют на сухие и мокрые. В сухих для очищения электродов от осевшей на них среды применяют ударно-молотковые встряхиватели, причём из бункеров выводится и сухая пыль. В мокрых электрофильтрах очистку электродов осуществляют путём промывки водой.

Степень электроочистки газовых смесей колеблется в интервале от 96 до 99,7 %, что обусловлено физико-химическими характеристиками смеси, скоростью и продолжительностью её наличия в аппарате, конструктивным исполнением электродов, режимами функционирования электрофильтров и встряхивания электродов и др.

При сравнении электрофильтров с другими пылеосадительными аппаратами необходимо прежде всего указать, что они улавливают самую тонкую пыль и туман, а расчётные скорости осаждения здесь превышают скорости осаждения частиц под действием силы гравитации в десятки и сотни раз. Однако сооружение электроосадителей, включая стоимость необходимой собственной повысительной и выпрямительной подстанции, дороже сооружения любой другой установки. Установка электроосадителей тем более экономична, чем больше масштаб производства.

При выборе пластинчатых или трубчатых аппаратов необходимо учесть, что трубчатые работают эффективнее, т. к. у них более однородное электрическое поле и распределение газа. Недостатком трубчатых электро-

осадителей является большой расход металла. Чтобы уменьшить его, применяют трубы шестигранной формы с «сотовым» расположением (рис. 32).

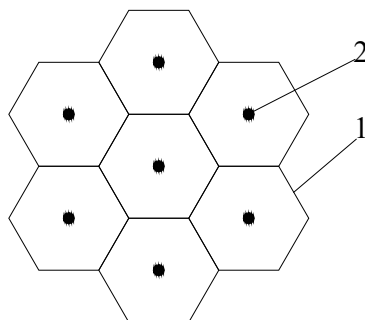


Рис. 32. «Сотовое» расположение трубчатых электродов шестигранной формы:
1 – трубчатые осадительные электроды; 2 – коронирующие электроды

Материал осадительных и коронирующих электродов зависит от коррозионной активности сред. Так, для улавливания тумана серной кислоты применяют свинцовые трубы, а при высокой температуре газа (при упарке серной кислоты) – угольные или термосилидовые трубы. Стальную проволоку коронирующих электродов освинцовывают. Для лучшего коронирования освинцовке придают форму звёздочки, т. е. сечения с острыми кромками.

Электрофильтры применяют во многих промышленных отраслях (в частности, нефтеперерабатывающей) для очищения от катализаторной пыли дымовых газов, отводимых из регенераторов – аппаратов каталитического крекинга; улавливания сажи из газового потока при получении технического углерода; улавливания туманных частиц серной кислоты из хвостовых газовых смесей в производстве серной кислоты.

1.2.6. Газовые фильтры

Очистка газов фильтрованием заключается в том, что газ протягивают (или проталкивают) через пористую перегородку, которая и задерживает пыль (рис. 33). Для фильтрования пылегазовых смесей распространены тканевые фильтрующие (рукавные или мешочные) установки.

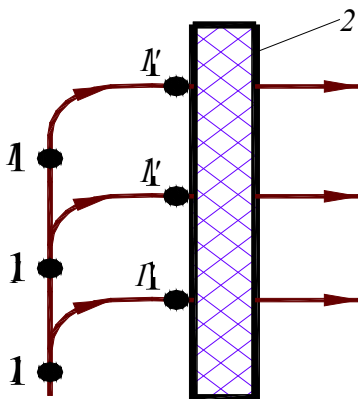


Рис. 33. Фильтрование газовой смеси:
1 – частица до отделения; 1' – частица после отделения; 2 – поверхность осаждения



Рукавный фильтр (рис. 34) установлен в рабочем объеме камеры 1 прямоугольным или круглым поперечным сечением, имеющей пылесборный бункер 4, горизонтально расположенную перегородку 3, патрубки и рукава 7, на открытые концы которых натягивается ткань, а их верхние концы закрыты крышкой 8. Патрубки и рукава подвешиваются на крючки общей рамы 9, удерживаемой пружинной опорой 11, которая прикреплена к стержню.

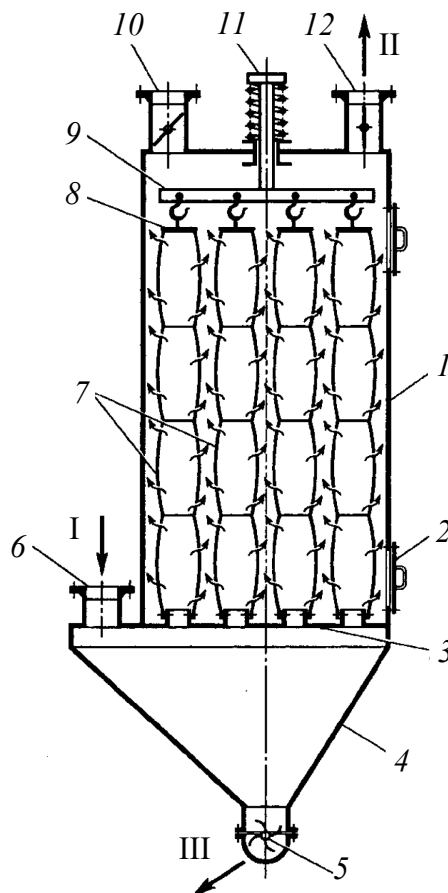


Рис. 34. Фильтровальная рукавная установка:

- 1 – корпус; 2 – люк-лаз; 3 – перегородка; 4 – пылесборный бункер;
 5 – шнек; 6 – входной штуцер; 7 – рукав; 8 – крышки с крючками;
 9 – рама для подвешивания рукавов; 10 – штуцер обратной продувки;
 11 – стержень для подвешивания рамы с пружинной опорой; 12 – выводной штуцер;
 I – запылённая газовая среда; II – очищенный газ; III – пыль

Пылегазовая среда по штуцеру 6 продвигается под перегородку и рукава, фильтруясь сквозь ткань, задерживая частички пыли на внутренней поверхности. Газ после очистки через штуцер 12 в крышке отводится из агрегата. Для очистки ткани существует распределительный узел на крышке, прекращающий продвижение газовой фазы при поворачивании заслонки выходного штуцера и осуществляющий встряску рукавов для перемещения частиц пыли в бункер.

В случае, когда перегородка ворсистая или толстая, при её забивании пылью проводят обратную газовую продувку с внешней во внутреннюю поверхность ткани через продувочный штуцер 10.

Рукавные фильтры дают такую же тонкую очистку газа от пыли, как и электроосадители. Их установка дешевле, но они обладают значительным гидравлическим сопротивлением и сравнительно непродолжительным сроком службы материала рукавов (6–12 мес.), в связи с чем их эксплуатация дороже, чем электроосадителей. Кроме того, рукавные фильтры очень чувствительны к ряду факторов: при температуре выше 100 °С бумажная и шерстяная ткани уже обугливаются, и даже при температуре 60–80 °С вещество ткани довольно быстро термически разлагается, ткань становится хрупкой. Влажность газа должна быть такой, чтобы его температура была выше температуры, отвечающей точке росы (насыщенное состояние газа) не менее чем на 15–20 °С. Это условие предупредит возможность конденсации пара и замазывания ткани. В то же время слишком сухой газ недопустим, т. к. сухая ткань становится непрочной. Агрессивные среды химически разрушают ткань. Более стойкими к агрессивным средам и высоким температурам являются синтетические ткани и ткань из стекловолокна. Синтетическая ткань нитрон позволяет фильтровать газы при температуре до 150 °С, а ткань из стекловолокна – до 400 °С.

С помощью рукавных фильтров, к примеру, улавливают технический углерод из продуктов сгорания углевода. Наиболее часто подобного рода фильтры находят применение для удаления аспирационного воздуха из помещений.

Для фильтрования газов с высокой температурой и химической агрессивностью применяются керамические пористые материалы. Фильтры из таких материалов выполняются обычно в виде набора керамических труб (гильз). Запылённый газ продавливается через эти трубы. Удаление пыли и одновременно регенерация труб проводятся обратной продувкой их чистым воздухом. Недостатками этих фильтров являются большое гидравлическое сопротивление и быстрая необратимая забиваемость пылью. Поэтому они применяются лишь для тонкой очистки достаточно чистых газов.

Тесты для контроля знаний

1. *Промышленное применение какого из перечисленных методов предполагает использование инерционных пылеуловителей?*

- А. Гравитационного осаждения.
- Б. Инерционного осаждения.
- В. Центробежного осаждения.
- Г. Электроосаждения.

2. *Какой из перечисленных факторов главным образом влияет на выбор аппарата для очистки газов?*

- А. Размер улавливаемых частиц.
- Б. Свойства газа.
- В. Состав газового потока.
- Г. Расход газового потока.



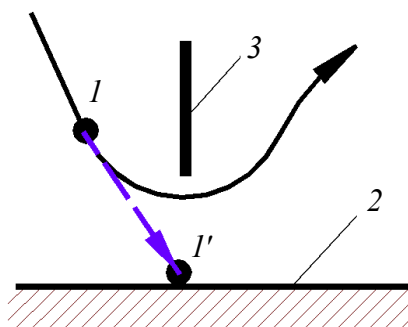
3. Как называют системы, состоящие из газа и взвешенных в нём твёрдых частиц размерами 0,3–0,5 мкм?

- А. Пыли.
- Б. Дымы.
- В. Туманы.
- Г. Эмульсии.

4. Каким аппаратом может быть достигнута степень очистки газа 98–99 %?

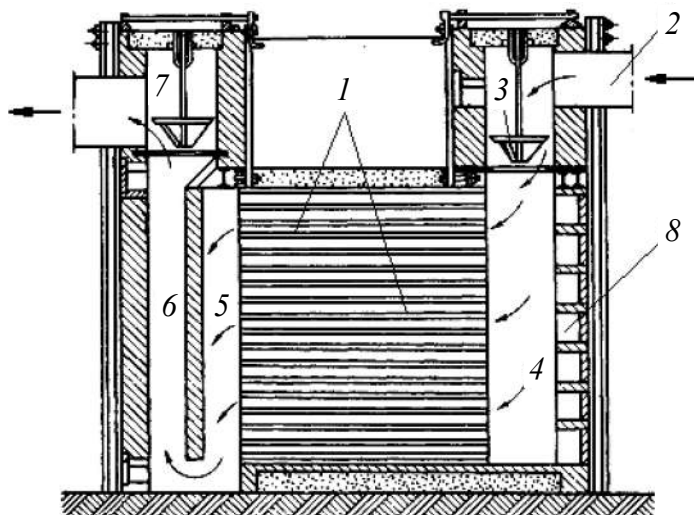
- А. Центробежным осадителем пыли.
- Б. Пылеосадительной камерой.
- В. Газовым фильтром.
- Г. Гидравлическим пылеуловителем.

5. Под действием какой силы происходит очистка газового потока?



- А. Гравитационной силы.
- Б. Силы инерции.
- В. Центробежной силы.
- Г. Очистки в электрическом поле.

6. Какой позицией обозначен трубопровод для запылённого газа на схеме многополочной пылеосадительной камеры?

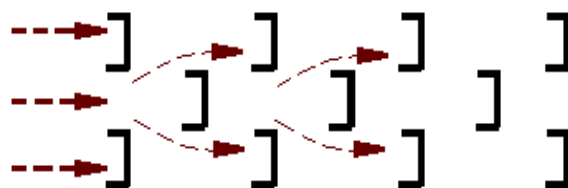


- А. 1.
- Б. 2.
- В. 6.
- Г. 8.

7. Какой должна быть скорость пылегазового потока для эффективного действия инерционного пылеуловителя?

- А. 15–20 м/с и более.
- Б. 5–10 м/с.
- В. 3–4 м/с.
- Г. 1–2 м/с.

8. Какой тип каплеуловительной насадки показан на рисунке?



- А. Угловой.
- Б. Желобковой.
- В. Жалюзийной, имеющей карманы для сбора частиц.
- Г. Жалюзийной с переменными геометрией и сечением каналов.

9. Какие аппараты называют циклонами?

- А. Центробежные пылесадители.
- Б. Инерционные пылеуловители.
- В. Гидравлические пылеуловители.
- Г. Электрофильтры.

10. Как называют механический газопромыватель?

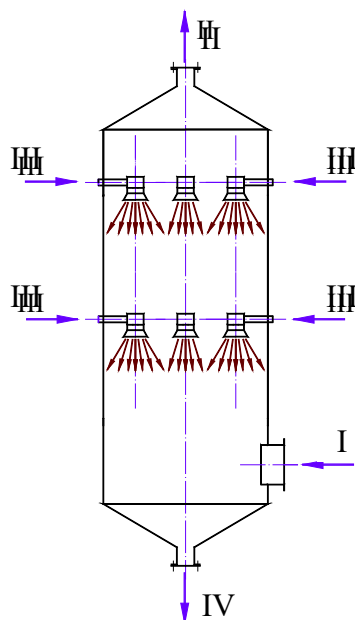
- А. Скруббер.
- Б. Циклон.
- В. Гомогенизатор.
- Г. Дезинтегратор.

11. Какие аппараты называют скрубберами?

- А. Центробежные пылесадители.
- Б. Инерционные пылеуловители.
- В. Гидравлические пылеуловители.
- Г. Электрофильтры.

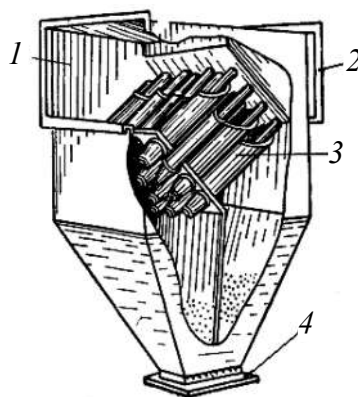


12. *Каким потоком осуществляется слив в полном безнасадочном скруббере?*



- А. I.
- Б. II.
- В. III.
- Г. IV.

13. *Какой циклон показан на рисунке?*



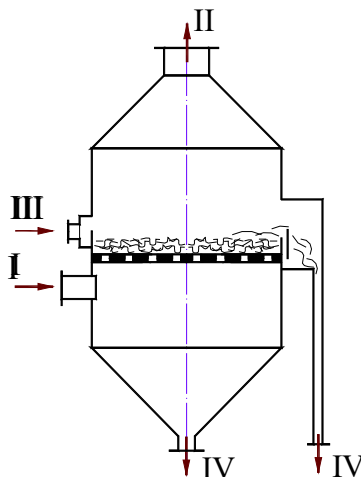
- А. Циклон конструкции НИИОГАЗа.
- Б. Групповой циклон.
- В. Циклон конструкции ЦККБ.
- Г. Батарейный циклон.

14. *Что является поверхностью осаждения в полых скрубберах?*

- А. Поверхность насыпной насадки.
- Б. Поверхность регулярной насадки.
- В. Поверхность брызг и капель промывной жидкости.
- Г. Стенки аппарата.



15. Каким потоком обозначен ввод запылённого газа в пенный газо-промыватель?



- А. I.
- Б. II.
- В. III.
- Г. IV.

16. Что используют для снижения расхода жидкости?

- А. Рециркуляцию жидкости.
- Б. Нагрев жидкости до температуры кипения.
- В. Охлаждение жидкости.
- Г. Уменьшение напора потока жидкости.

17. Что происходит с напряжённостью электрического поля при выборе в качестве отрицательно заряжённого электрода проволоки, а положительного – трубы или пластины?

- А. Она не изменяется.
- Б. Увеличивается в радиальном направлении от проволоки.
- В. Уменьшается в радиальном направлении от проволоки.
- Г. Уменьшается в радиальном направлении от трубы или пластины.

18. Чем отличаются друг от друга трубчатые и пластинчатые электрофилтры?

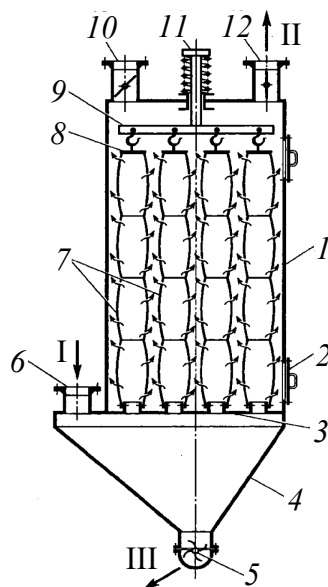
- А. Материалом коронирующего электрода.
- Б. Формой коронирующего электрода.
- В. Формой осадительного электрода.
- Г. Материалом осадительного электрода.

19. От чего зависит материал осадительных и коронирующих электродов?

- А. От коррозионной активности сред.
- Б. Размера частиц пыли.
- В. Скорости газовой смеси.
- Г. Числа электродов.



20. Какой номер позиции соответствует фильтровальному рукаву газового фильтра?



- А. 1.
- Б. 6.
- В. 7.
- Г. 11.



2. ОТСТОЙНИКИ

2.1. Общие сведения

Отстаивание – операция фазового разделения жидких неоднородных систем (суспензий, эмульсий, пен), в частности, на сплошную (дисперсионную) и распределённую в ней дисперсную фракции под действием гравитационной силы. Неоднородная среда со взвешенными в жидкости дисперсными частичками находится в ёмкости на заданное время. Из-за различия плотностей разделяемых фаз дисперсные частички осаждаются на дно.

При разделении неоднородных систем отстаиванием постепенно растёт содержание дисперсных частиц от верхней до нижней части отстойника (рис. 35). По высоте зоны отстаивания можно выделить четыре участка: осадок, или шлам; участок сгущённой суспензии; свободное оседание и участок осветлённой жидкости. В первой зоне проходит стеснённое осаждение при соударении и трении между частицами, причём наблюдается торможение крупных частиц мелкими.

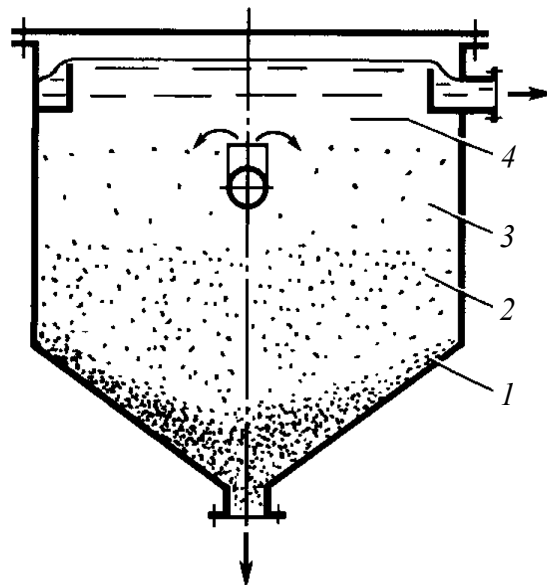


Рис. 35. Процесс отстаивания:

1 – слой шлама; 2 – участок сгущённой суспензии; 3 – участок свободного оседания;
4 – осветлённый слой

Крупные частицы увлекают мелкие, ускоряя их перемещение, что ведёт к коллективному оседанию частиц со скоростями, приблизительно равными в определённом поперечном сечении, но разными по высоте аппарата. У поверхности осадка частицы постепенно уплотняются из-за снижения их скорости оседания, обусловленного взаимобратным перемещением вытесняемой жидкой фазы. Над зоной стеснённого осаждения формируются зона свободного оседания и слой осветлённой жидкой фазы.



На участке свободного осаждения на частицу, кроме гравитационной (G), действуют подъёмная сила (G') и сила сопротивления жидкости (R) (рис. 36).

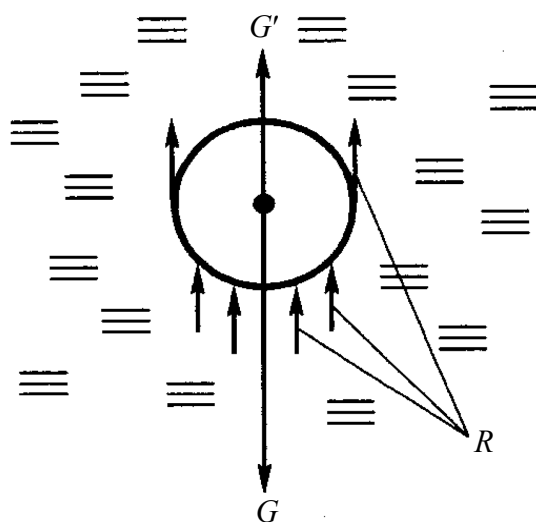


Рис. 36. Схема сил, действующих на частицу при осаждении в неподвижной среде

Неоднородными (бинарными или гетерогенными, многофазными) называются системы, состоящие из двух фаз и более, которые можно разделить механически. Если рассматривать бинарную смесь, то она состоит из дисперсной внутренней фазы, распределённой во взвешенном состоянии, и сплошной, так называемой дисперсионной фазы. Такими системами по признаку агрегатного состояния и соотношения фаз являются: суспензии – жидкость – взвешенные твёрдые частицы; эмульсии – взаимно нерастворимые жидкости – взвешенные капли другой жидкости; пены – газовые пузырьки – жидкости; пыли и дым – газ – взвешенные твёрдые частицы; туманы и аэрозоли – газ – взвешенные капли жидкости.

Важным параметром гравитационного осаждения является его скорость.

Повышение скорости осаждения осуществляют путём добавки в неоднородную систему коагулянтов, деэмульгаторов и флокулянтов – веществ, которые разрушают сольватные оболочки и способствуют коагуляции (агрегатированию или слипанию) частичек, что ведёт к росту их размеров и скорости осаждения.

Аппараты и сооружения для гравитационного разделения суспензий и эмульсий называются отстойниками, которые могут быть периодического, полунепрерывного и непрерывного действия.

Отстаивание нашло широкое распространение в химической, пищевой и других отраслях промышленности. К примеру, при переработке нефти и газа, в нефтехимии такое разделение используют для обезвоживания и обессоливания нефти, разделения дистиллятов и воды после процесса перегонки с водным паром, очищения нефтяного топлива от загрязнений (воды, частиц катализаторов, коррозионных продуктов, кремниевых, кальциевых и алюми-



ниевых соединений), дегазации жидкости в газовых сепараторах, очищения сточных вод от загрязнений (нефть, нефтепродукты, нефтешлам, активный ил, механические примеси) и т. п.

2.2. Типовые конструкции

2.2.1. Отстойники периодического действия

Эти устройства являются ёмкостями без мешалок (см. рис. 35). В них подвод суспензии, удаление осветлённой жидкой фазы и осадка производят периодически.

Эти устройства применяются в настоящее время редко: при малых масштабах производства или при небольшой концентрации твёрдой фазы. В резервуар (отстойник) заливается смесь. В конце отстаивания осветлённую жидкость сливают (декантируют). Для того чтобы не взмучивать осадок, удаление осветлённой жидкости необходимо проводить сверху, например, поплавком, прикреплённым к гибкому шлангу, или сифоном с поворачивающимся коленом. Осадок заданного количества выводится через расположенный снизу спускной кран (люк) после слива осветлённой жидкости.

2.2.2. Отстойники полунепрерывного действия

Здесь подведение суспензии и удаление осветлённой жидкой фазы производят в непрерывном режиме, а осадок при заданной высоте отводится периодически через спускные узлы, расположенные снизу аппарата, причём величина скорости перемещения суспензии задаётся с учётом скорости и времени движения частиц на дно аппарата так, чтобы они успели осесть до выхода жидкости из него.

В коридорном отстойнике (рис. 37) суспензия непрерывно протекает горизонтальным медленным потоком через отстойный резервуар, и на её пути взвешенные частицы осаждаются в сборник шлама. Осадок удаляют периодически.

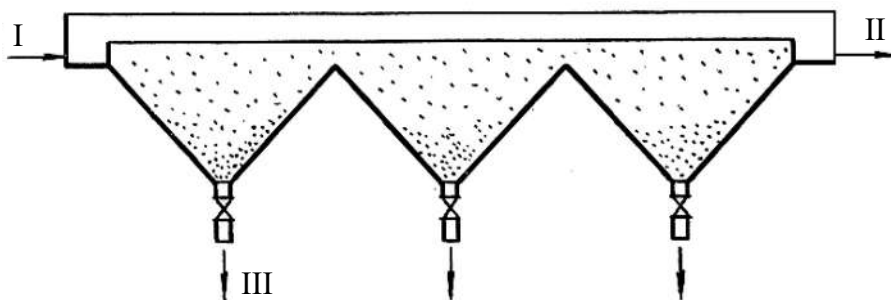


Рис. 37. Коридорный отстойник полунепрерывного действия:
I – поток суспензии; II – слив осветлённой жидкости; III – удаление шлама



2.2.3. Отстойники непрерывного действия

В таких аппаратах все операции осуществляют непрерывно.

Конусный отстойник (рис. 38) состоит из конического резервуара *1* с кольцевым жёлобом *2* в его верхней части. Резервуар заполнен жидкостью до самого верха. Суспензия непрерывно подаётся в центральную трубу (стакан) *3*, погружённую в жидкость.

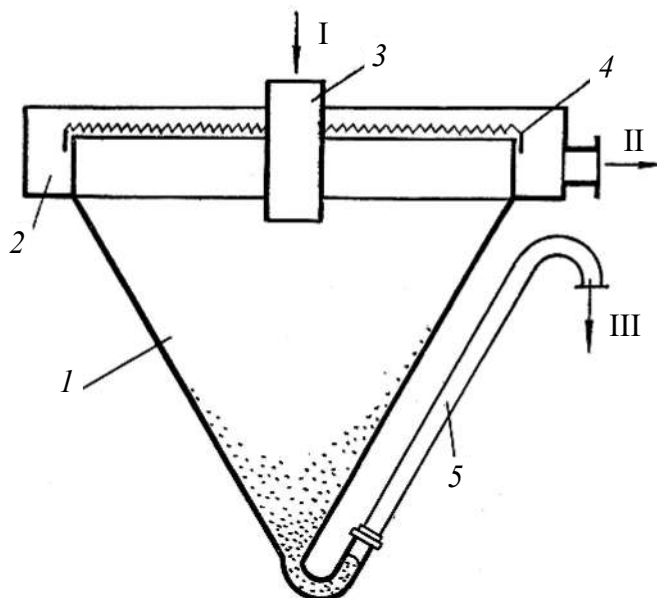


Рис. 38. Конусный отстойник:

1 – конический резервуар; *2* – кольцевой жёлоб; *3* – центральная труба;

4 – гребёнка; *5* – «гусиная шейка»;

I – поток суспензии; *II* – слив осветлённой жидкости; *III* – удаление шлама

Осветлённая жидкость поднимается снизу вверх и сливается через верхний край в жёлоб. Равномерность слива по всей периферии обеспечивается строго горизонтальной установкой верхней кромки. Для этой же цели к жёлобу прикрепляется по всей его длине регулируемая по уровню планка (гребёнка) *4*. Осаждающиеся частицы (шлам) скапливаются в нижней части конуса, сползая туда по стенкам, и отстой непрерывно отводится через трубу – «гусиную шейку» *5* за счёт гидростатического давления столба пульпы в отстойнике. Сползание грязевого отстоя в нижнюю часть конуса обеспечивается большим углом наклона (60°) его стенок. Количество удаляемого отстоя и степень его сгущения регулируются подъёмом или опусканием верхней части «гусиной шейки», соединённой для этой цели с нижней частью резиновым шлангом.

Существенным преимуществом отстойников-конусов является простота их конструкции. Однако есть и существенные недостатки: для того, чтобы шлам мог самотёком удаляться через «гусиную шейку», он должен быть



жидкотекучим. Следовательно, вместе с отстоем выбрасывается значительное количество жидкости; требуемый угол наклона стенок конуса (60°) часто приводит к увеличению высоты аппарата.

Широко используются в промышленности непрерывные гребковые одноярусные отстойники.

Аппаратом с гребками (Дорра) (рис. 39, 40) является цилиндрический резервуар 1 с коническим днищем. Суспензия, как и в отстойниках-конусах, непрерывно подаётся через центральный стакан 2 под уровень жидкости. Осветлённая жидкость также непрерывно сливается через верхний край отстойника в окружающий жёлоб, откуда удаляется через патрубок 4.

Удаление отстоя (шлама) осуществляется тоже непрерывно. Подход его к центру производится с помощью гребков. К вертикальному валу 3 прикреплены радиальные рычаги (водила) 5, а к ним косые гребки 6, которые постепенно перемещают осаждающийся по всему дну материал к центру. Отсюда шлам откачивается обычно шламовым насосом. Вал с гребками вращается настолько медленно ($0,5\text{--}0,25$ об/мин), чтобы процесс отстаивания не нарушался взмучиванием пульпы. Некоторое размешивание шлама гребками даже полезно для его уплотнения, т. к. при этом облегчается вытеснение жидкости вверх.

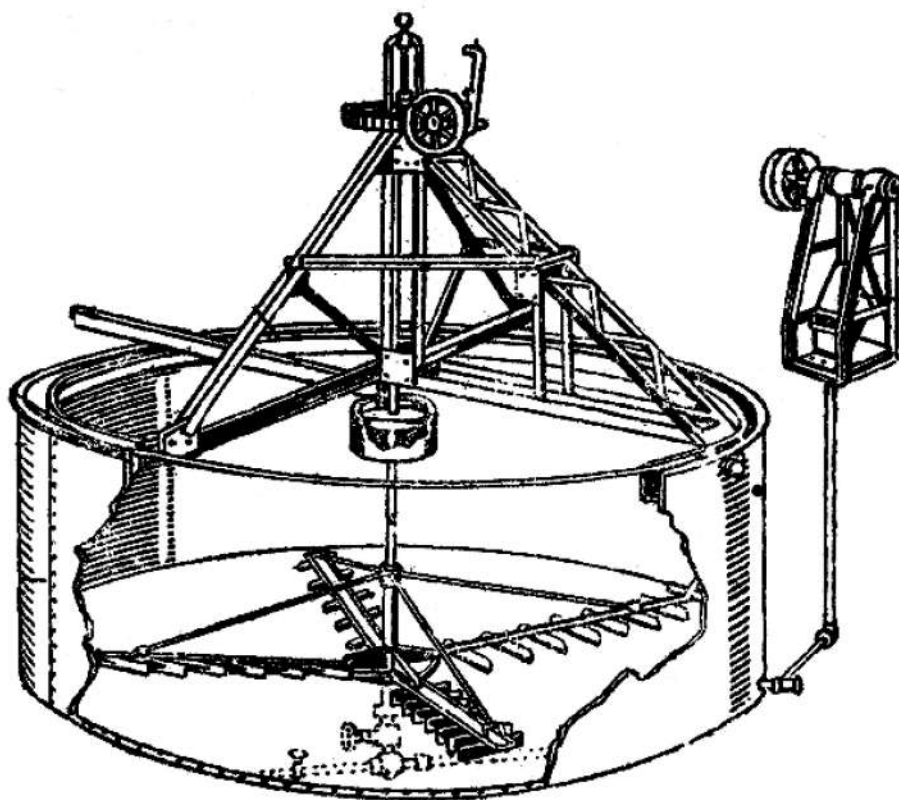


Рис. 39. Отстойник Дорра



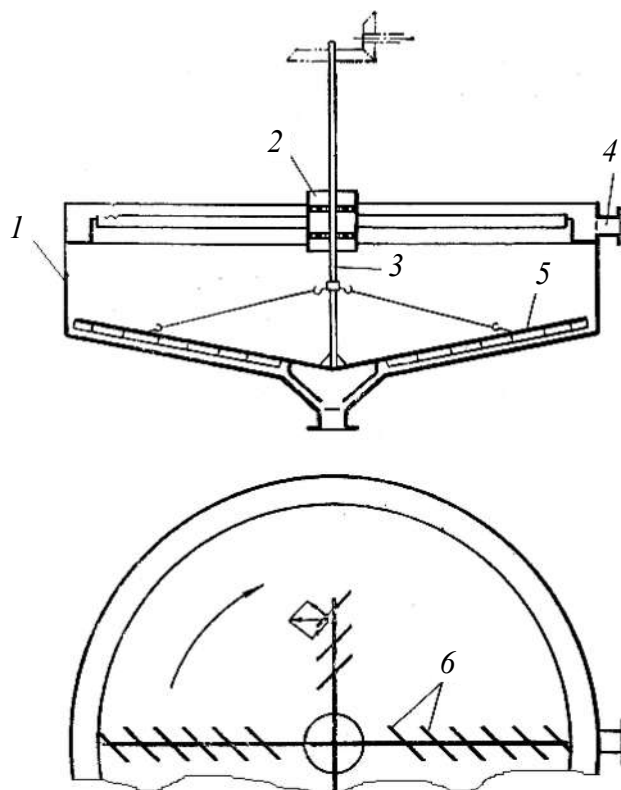


Рис. 40. Одноярусовый отстойник непрерывного действия (отстойник Дорра):
 1 – резервуар; 2 – центральный стакан; 3 – вертикальный вал; 4 – патрубок;
 5 – водила; 6 – косые гребки

Более компактны двухъярусные аппараты (рис. 41) с двумя отделениями, размещёнными одно над другим.

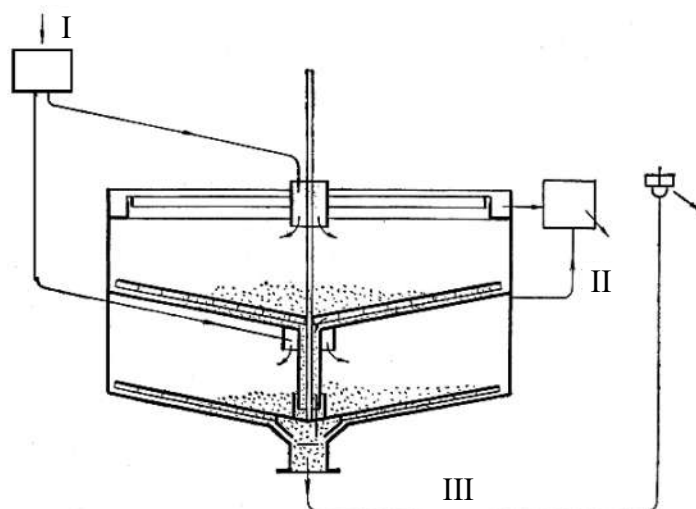


Рис. 41. Двухъярусный непрерывный отстойник:
 I – подвод суспензии; II – слив жидкости; III – удаление шлама



В таком варианте обе секции связываются через трубопровод, опущенный ниже уровня участка сгущённой суспензии в нижней секции. Исходная смесь поступает отдельно в обе секции, а сгущённая фракция выводится из нижней: осветлённая жидкая фаза выводится сверху из каждой секции. Давление столба более плотной суспензии уравнивается столбом очищенной, менее плотной фазы большей высоты. Варьированием высоты последнего проводят регулировку высоты столба сгущаемого продукта и распределения питания.

При разделении суспензии в вышеописанных аппаратах существенная часть ценной жидкой фазы, увлекаемая удаляемым осадком, теряется. Для отделения максимального количества жидкой фракции из исходного продукта применяют промежуточную промывку осадка.

В многоярусном устройстве с осадочной промывкой (рис. 42) суспензия постоянно подаётся в его верхнюю секцию, а промывочная жидкая среда продвигается в предпоследнюю секцию из бачков в её нижнюю часть. Очищенная жидкость из верхней секции отводится по желобу вверху агрегата. Осадок собирается в ловушке 2 на дне яруса, куда также поступает жидкость для промывки через бачок 4, установленный ниже данного яруса, и трубопровод 6.

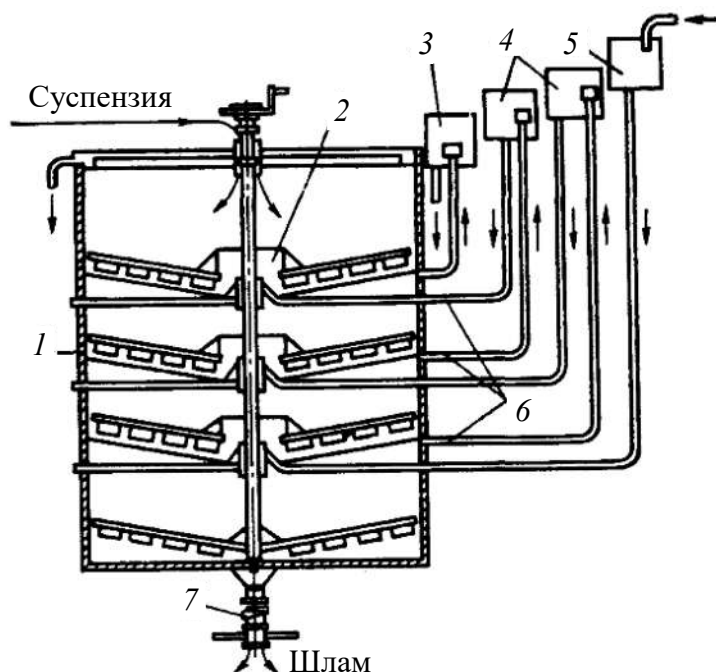


Рис. 42. Многоярусный отстойник при промежуточном промывании осадка:

1 – корпус; 2 – ловушка; 3, 4 – промывочные бачки;
5 – бачок для свежей промывочной среды; 6 – трубопроводы; 7 – патрубок для вывода осадка



Промытый осадок направляется на ниже размещённый ярус. Процесс повторяется, и в итоге осадок удаляется через патрубок 7 в дне нижнего яруса, а промывная среда – из верхнего яруса, что даёт возможность организовать очередное приготовление суспензий для побочных целей.

Для совершенствования процесса осаждения разработаны отстойники с коническими тарелками (полками), в которых суспензия направляется в пространство между чередующимися (через одну) тарелками (рис. 43). Осаждение шлама происходит на нижележащие тарелки, а слив перемещается по каналам между двумя вышележащими тарелками. Шлам сползает и отводится, как и в отстойнике-конусе.

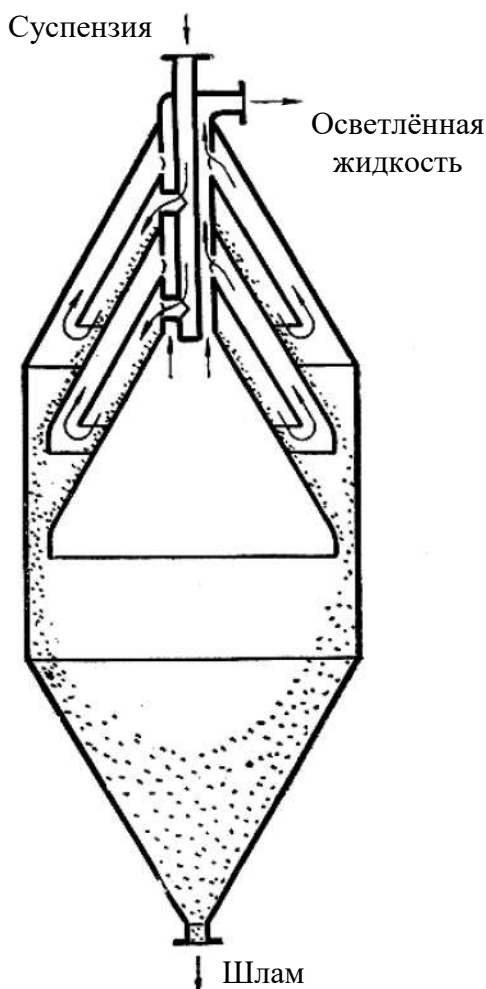


Рис. 43. Отстойник с коническими тарелками (полками)

Поверхность осаждения может быть увеличена при поступлении пульпы в пространство между всеми полками (рис. 44). Однако при этом сползающий с полок шлам взмучивается поступающей суспензией.



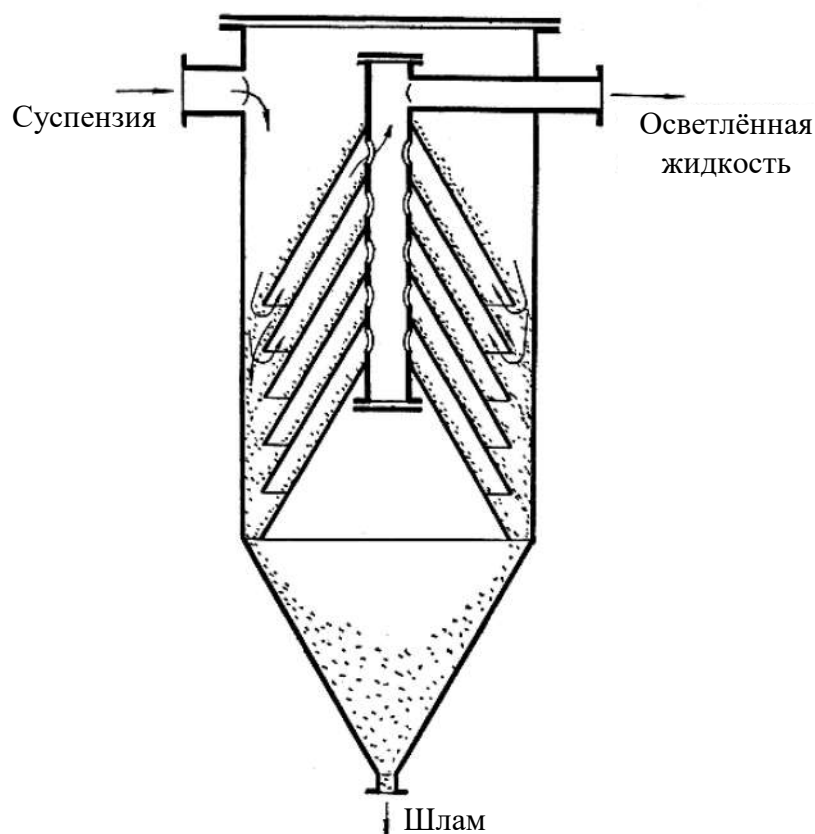


Рис. 44. Отстойник с коническими тарелками (полками)

Как обычные, так и многоярусные отстойники часто имеют механизм для подъёма вала с гребками, поскольку при внезапной остановке аппарата осадок быстро слёживается, покрывая гребки и делая невозможным последующий пуск отстойника.

Иногда суспензия в отстойнике переуплотняется во время работы аппарата. В результате происходит перегрузка гребкового механизма.

Отстаивание можно проводить под действием центробежных сил в специальных аппаратах, называемых гидроциклонами (рис. 45). Принципиально гидроциклон практически не отличается от центробежного осадителя пыли. Исходную суспензию тангенциально под напором направляют в цилиндрическую часть гидроциклона, придавая ей вращательное движение. При этом твёрдые частицы (шлам) передвигаются к периферии рабочей камеры и по стенке конической части агрегата стекают вниз и удаляются через нижний патрубок, а осветлённая жидкая фаза удаляется через центральный трубопровод.



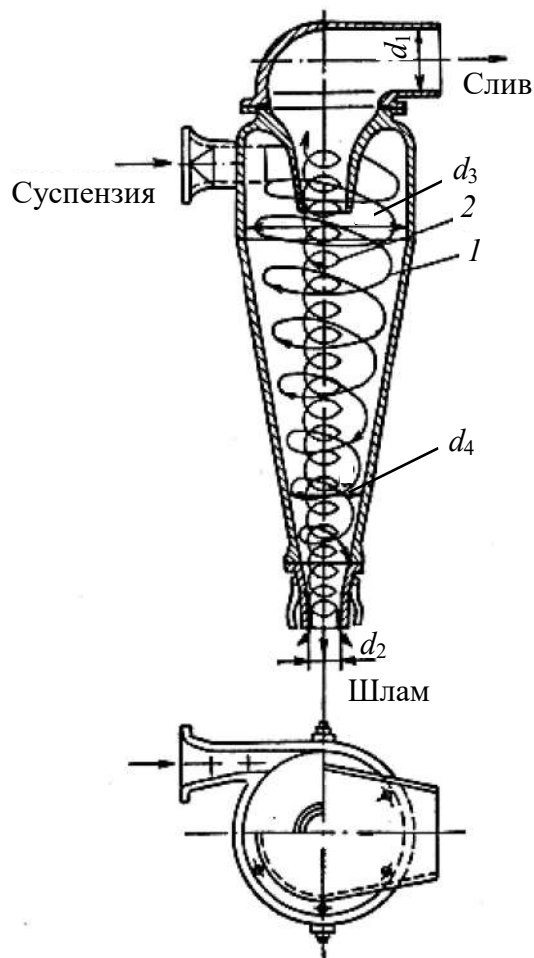


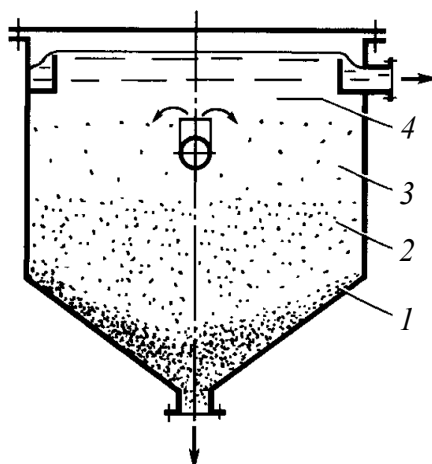
Рис. 45. Гидроциклон:

- 1 – внешний поток; 2 – внутренний поток;
 d_1 – внутренний диаметр выходного патрубка для осветлённой жидкости;
 d_2 – внутренний диаметр выходного патрубка для осадка;
 d_3 – внутренний диаметр цилиндрической части корпуса;
 d_4 – внутренний диаметр нижнего уровня конусной части корпуса

Конструктивно простые гидроциклонные аппараты отличаются большей производительностью. Иногда их используют в качестве классификаторов.

Тесты для контроля знаний

1. Укажите зону свободного осаждения.



- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 4.

2. Какая из сил, кроме архимедовой силы и сопротивления среды, действует на дисперсную частицу на участке свободного осаждения?

- А. Сила трения.
- Б. Сила тяжести.
- В. Центробежная сила.
- Г. Сила инерции.

3. Как называют систему, состоящую из жидкой фазы и взвешенных в ней твердых частиц?

- А. Эмульсия.
- Б. Пена.
- В. Суспензия.
- Г. Дым.

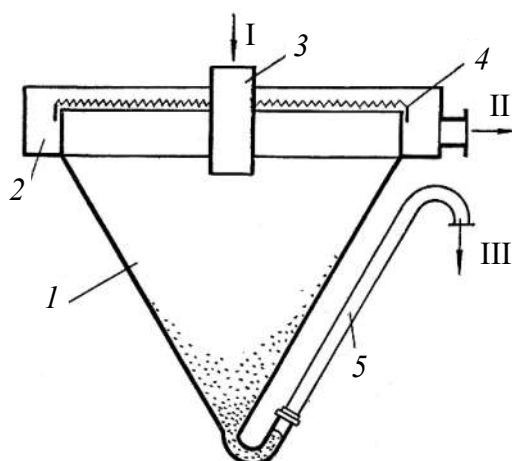
4. К аппаратам какого типа относят отстойник с гребками (отстойник Дорра)?

- А. Непрерывного действия.
- Б. Периодического действия.
- В. Полунепрерывного действия.

5. В каких аппаратах подача исходной суспензии и слив очищенной жидкости осуществляются непрерывно, а накопленный осадок удаляется периодически?

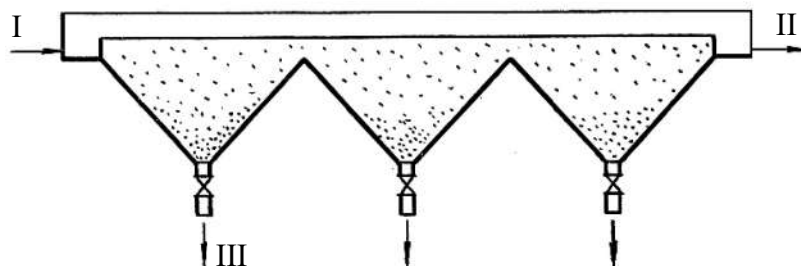
- А. Непрерывного действия.
- Б. Периодического действия.
- В. Полунепрерывного действия.

6. Каким потоком осуществляется слив осветлённой жидкости в отстойнике-конусе?



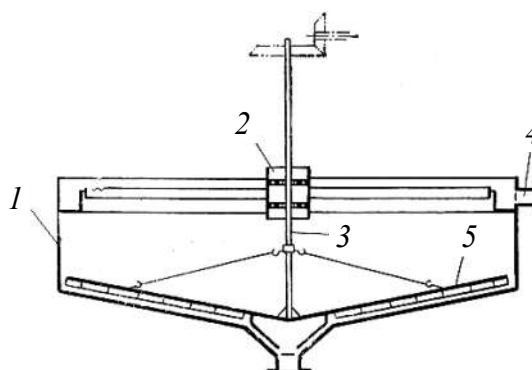
- А. I.
- Б. II.
- В. III.
- Г. Осветлённая жидкость не выводится из аппарата.

7. Как называется данный аппарат?



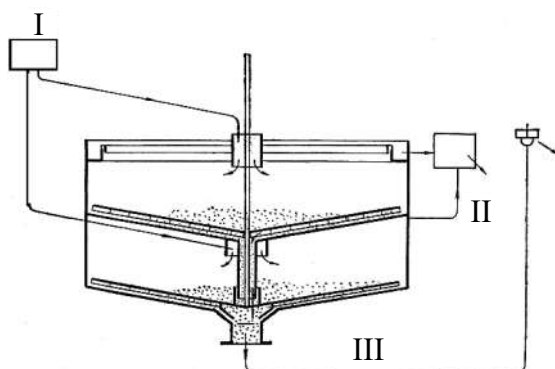
- А. Коридорный отстойник.
- Б. Отстойник-конус.
- В. Отстойник Дорра.
- Г. Отстойный газоход.

8. Какой позицией обозначен центральный стакан?



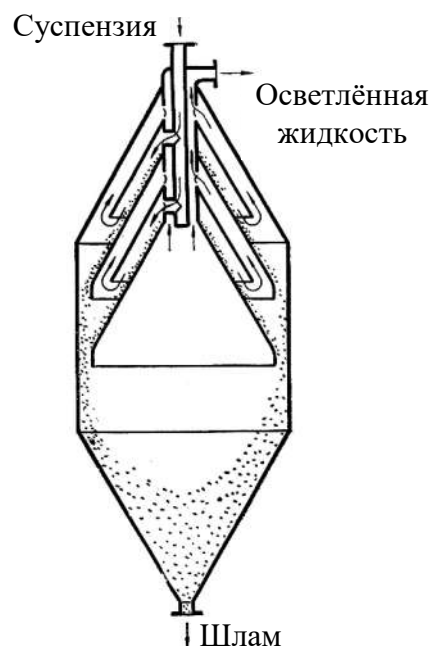
- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 4.

9. К аппаратам какого типа относят данный отстойник?



- А. Непрерывного действия.
- Б. Периодического действия.
- В. Полунепрерывного действия.

10. Как называется данный аппарат?



- А. Отстойник с гребками.
- Б. Отстойник-конус.
- В. Многоярусный отстойник с промежуточной промывкой осадка.
- Г. Отстойник с тарелками.



3. ФИЛЬТРЫ

3.1. Общие сведения

Фильтрация – это операция разделения на осадок и фильтрат жидких и газообразных неоднородных смесей посредством пористых фильтровальных перегородок. Для её осуществления необходимо создание движущей силы – градиента давлений (напора) до и после фильтрующей перегородки, которая вместе с накапливающимся осадком создаёт общее сопротивление процессу. Интенсивность фильтрования оценивается по основному кинетическому выражению. Скорость фильтрования прямо пропорциональна разности давлений и обратно пропорциональна сопротивлению перегородки и осадка, которое зависит от высоты его слоя, что негативно влияет на процесс. Оно также увеличивается при подпрессовке сжимаемых осадков, а также к понижению пористости под действием градиента давлений на перегородку, её деформировании, сжатии и сдвиге.

Значение сопротивления перегородки обусловлено вязкостными свойствами исходного материала и осветлённой жидкости (фильтрата), размерами и конфигурацией пор и капилляров и, кроме того, степенью набухания перегородки, варьированием поверхностного натяжения и адсорбцией жидкой среды в капиллярной сетке при формировании пристеночного моно- и далее полимолекулярного адсорбционного слоя и электроосмотического потока жидкой фазы, а также степени закупоривания пор.

Структура или пористость фильтрующей перегородки определяет механизм образования осадка в зависимости от размера дисперсных частиц, из которых изначально проникают в поры и адсорбируются мелкие, а впоследствии более крупные частички, увлекая за собой более мелкие, забивающие пространство между ними, что ведёт к неравномерности гидросопротивления по высоте осадочного слоя, которая прямо пропорциональна расходу фильтрата при неизменном градиенте давлений. При этом влияние гравитации несущественно. Если гравитационная сила и напор направлены в одну сторону, то осадок образуется более ускоренно и нарушается пропорциональность между объёмами осветлённой жидкости и осадка. Если данные силы направлены обратно друг другу, то нарушение пропорции наблюдается при условии более медленного роста объёма осадка по сравнению с объёмом фильтрата.

Сопротивление осадка зависит от свойств и способа обработки исходного продукта, наличия коагулирующих, пептизирующих и ряда других составляющих.

Течение операции фильтрование обусловлено макро- и микропараметрами. Первыми являются структурные показатели: конфигурация осадка и перегородки, вязкость продуктов, градиент давлений, вторыми – форма



и размеры осадочных пор. Если первые можно определять напрямую, то вторые – лишь косвенно.

В химической индустрии процесс фильтрации используется, в частности, при получении масел, парафина, церезина, очищении нефтепродуктов.

3.2. Типовые конструкции

По методу организации функционирования современную фильтровальную технику подразделяют на периодические, непрерывные, вакуумные конструкции, под давлением, с криволинейными, плоскими, волокнистыми, зернистыми тканевыми, жёсткими, а также с полупроницаемыми мембранными перегородками.

Выбор материала, из которого изготавливают перегородки, обусловлен агрессивностью исходной суспензии и дисперсностью твёрдых веществ. Для этих целей применяют текстиль, бязь, парусину, тик, сукно, шёлк, асбест, шлаковую и стекловату, фильтровальную бумагу и картон. Для кислотной устойчивости хлопчатобумажные материалы подвергают нитрованию. Шерсть является устойчивой к кислотам, но разрушается под действием щелочей. Максимальной агрессивной стойкостью обладают асбестовые перегородки, перегородки из шлаковой ваты и стекловаты, а также бронзовые, коррозионно стойкие стальные сетки.

В качестве зернистых и волокнистых перегородок для фильтрования применяют песок, инфузорную землю, кокс, целлюлозу и др. Они используются в случае, когда концентрация дисперсной фазы незначительна и её не утилизируют.

Жёсткие перегородки изготавливают из щелочно- и кислотостойкой керамики (камни, плитки, свечи и кольца), дающей возможность максимальной очистки фильтрата. К примеру, мелкопористые (1–3 мкм) плёночные материалы вырабатывают из нитроцеллюлозы, пергамента и др. для задерживания даже коллоидных частичек.

3.2.1. Фильтры периодического действия

К фильтрам периодического действия относят нутч- и листовые фильтры, фильтр-прессы и патронные сгустители.

Вакуумный нутч-фильтр (рис. 46) – самый простой промышленный фильтр. Это сосуд площадью 1–6 м² с двойным дном. Верхнее дно ложное (решётчатое). На него, если необходимо, укладывается металлическая сетка, чтобы ткань не прилегала плотно к решётке, а на сетку – фильтровальная ткань. Суспензия (пульпа) подаётся сверху. В нижнем пространстве (под ложным дном) создаётся вакуум порядка 300–600 мм рт. ст. По ходу фильтрования на фильтровальной перегородке накапливается слой осадка.



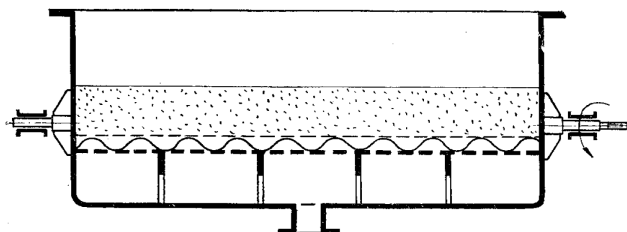


Рис. 46. Вакуумный нутч-фильтр

Если первые порции фильтрата получаются мутными, то они возвращаются обратно на повторное фильтрование. Конечная толщина накапливаемого слоя выбирается в пределах 30–200 мм в зависимости от величины удельного сопротивления осадка. После окончания фильтрования, если необходимо, производится промывка осадка, его осушка, а затем разгрузка, часто вручную. Для механизации разгрузки осадка применяют опрокидывающиеся вакуумные нутч-фильтры. При этом ось вращения (рис. 46) устанавливают по центру тяжести аппарата, чтобы усилие для его поворота было минимальным.

Недостатками вакуумных нутч-фильтров, помимо периодичности их работы, являются:

- 1) громоздкость, т. к. площадь аппарата в плане равна фильтрующей поверхности;
- 2) ограниченность движущей силы фильтрования предельной разностью давлений в 1 ат, даже при создании абсолютного вакуума. Следовательно, ограничена и скорость фильтрования. Получить движущую силу фильтрования больше 1 ат можно созданием повышенного давления над фильтровальной перегородкой.

В друк-фильтре (рис. 47) пространство над фильтровальной перегородкой закрывается крышкой. Жидкость продавливается через слой накапливаемого осадка и фильтровальную перегородку либо насосом, либо сжатым воздухом. При этом предупреждается кристаллизация солей внутри ткани при фильтровании насыщенных растворов, что иногда имеет место при фильтровании под вакуумом. Герметичность таких фильтров обуславливает целесообразность их установки при выделении вредных или легко воспламеняющихся паров. Однако она же затрудняет разгрузку осадка, которая производится через специальные люки. Разгрузка осадка облегчается применением откидных днищ, которые требуют меньшей герметичности, чем люки, т. к. разъёмное соединение находится здесь под слоем накапливаемого осадка (в условиях низкого давления).

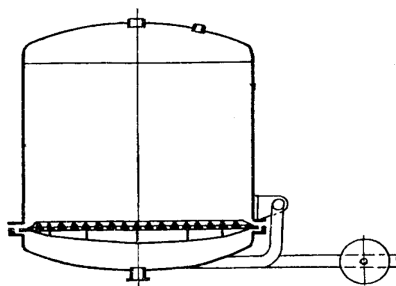


Рис. 47. Друк-фильтр

В друк-фильтрах увеличивается скорость фильтрования, а следовательно, уменьшается площадь фильтрования. Однако, как и в вакуумных фильтрах, перегородка расположена горизонтально, вследствие чего она занимает большую площадь по сечению аппарата, которая ограничивается расчётами на прочность.

Наиболее интенсивными фильтрами периодического действия являются фильтр-прессы. Их применяют для фильтрования суспензий под давлением 0,4–2,0 МПа с возможностью последующей промывки и пропарки осадка.

По конструкции фильтровальных элементов фильтр-прессы делятся на камерные и рамные.

На рис. 48 приведены общий вид и схематичный принцип действия рамного фильтр-пресса. Упорная плита 2 и механизм зажима 7 связаны прогонами 6 и размещены на опорных стойках 1 и 8. На прогоны устанавливаются чередующиеся между собой пакеты рам 4 и плит 3, передняя нажимная плита 5, связанная штоком с зажимным механизмом.

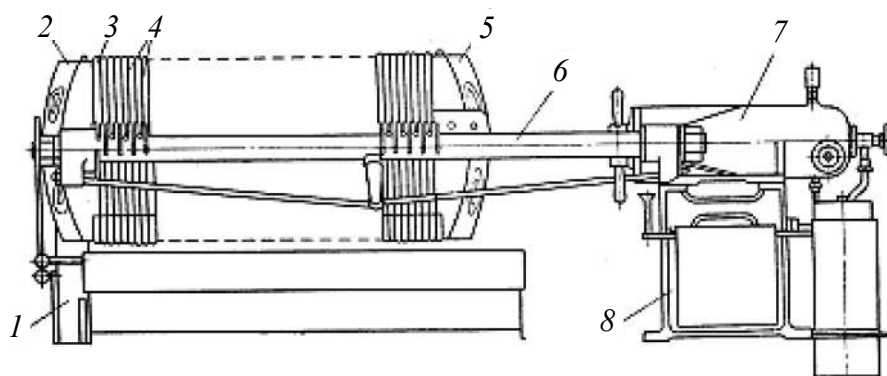


Рис. 48. Рамный фильтр-пресс:

1, 8 – опорные стойки; 2 – упорная плита; 3 – плита; 4 – рама;
5 – передняя подвижная нажимная плита; 6 – прогон; 7 – механизм зажима

Рамы служат приёмными камерами для суспензии, а плиты с рифлёными боковыми поверхностями – основанием для фильтровальной ткани и дренажной системой для отвода фильтрата.

Фильтровальную ткань укладывают между рамой и плитой; одновременно ткань является уплотнительной прокладкой по контуру рамы.

В рамах и плитах имеются отверстия, которые после зажима пакета образуют каналы для подвода суспензии, промывной жидкости и отвода фильтрата. На рис. 49 представлены схемы фильтрации и промывки.

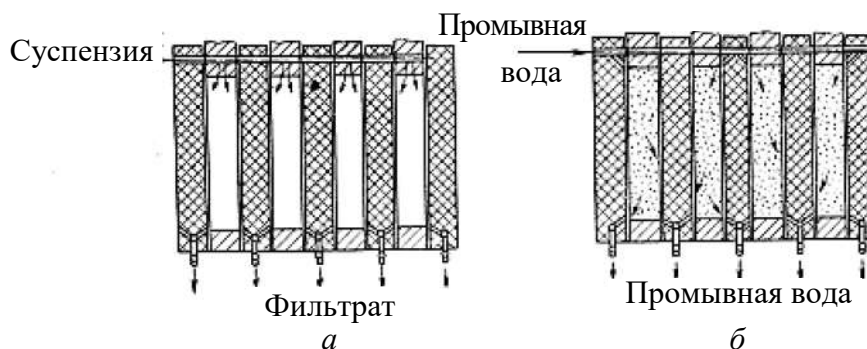


Рис. 49. Схемы фильтрации (а) и промывки (б)

Рамные фильтр-прессы изготовляют в соответствии с ГОСТ 833-70 с зажимными механизмами трёх вариантов (ручным механизированным, электромеханическим и гидравлическим), двух типов (I – с открытым отводом фильтрата, II – с закрытым отводом фильтрата).

Гидромеханизм для зажима имеет форму цилиндра с подвижным плунжером, который перемещается под давлением масла и связан штоком с передней плитой.

Рамы и плиты изготовляют из чугуна, кислотостойкой стали, алюминиево-кремнистого сплава или пластмасс. Цилиндры, плунжеры, головку, упорную и нажимные плиты, опорные стойки отливают из чугуна СЧ 18-36.

Используется камерный фильтр-пресс с автоматическим зажимом плит (рис. 50б), который применяется в нефтяной, угольной, пищевой и горно-рудной индустрии для фильтрования неоднородных сред с частичками размером, не превышающим 3 мм, при концентрации от 5 до 500 кг/м³ и температуре исходной суспензии от 5 до 90 °С.

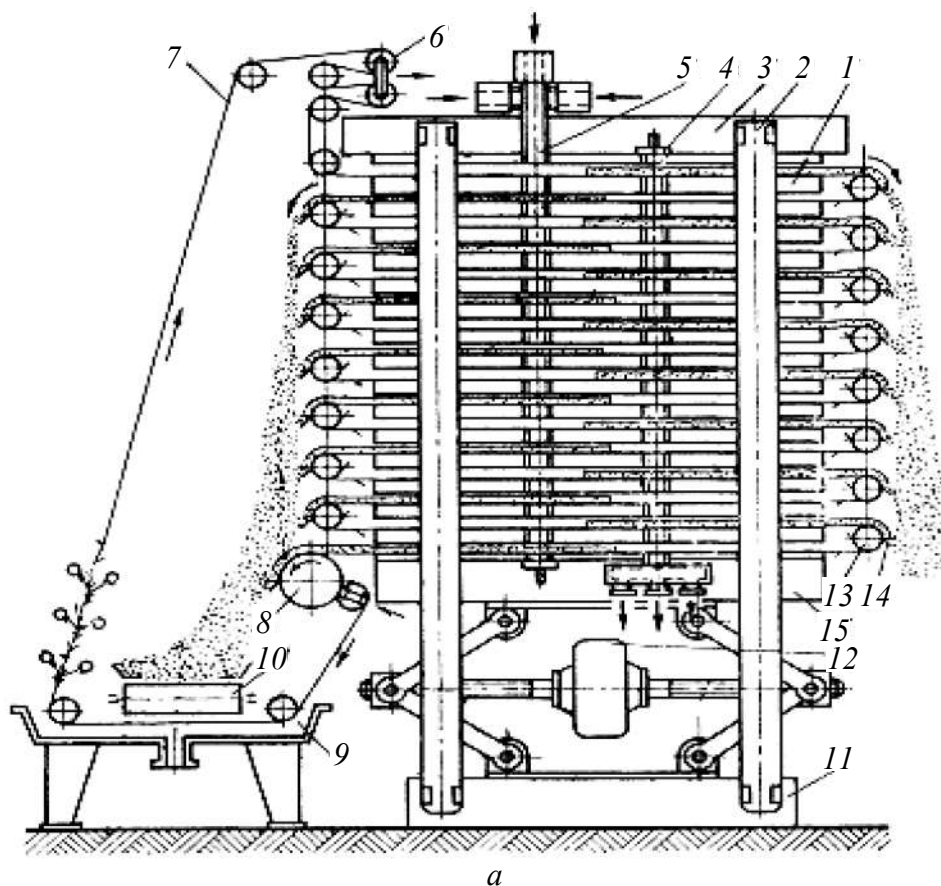


Рис. 50. Фильтр-пресс ФПАКМ:

- а* – схема (1 – фильтровальные плиты; 2 – стяжка; 3, 11 – нижняя и верхняя плиты; 4, 5 – коллектор; 6 – натяжное устройство; 7 – перегородка; 8 – привод перемещения ткани; 9 – желоб; 10 – транспортёр; 12 – электромеханическое устройство зажима; 13 – ролики; 14 – ножи для съёма осадка; 15 – нажимная плита)

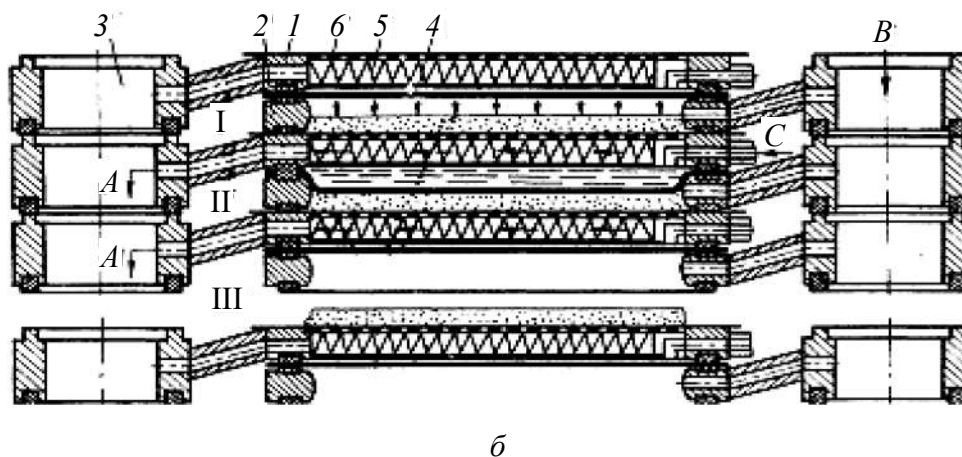


Рис. 50. Окончание. Фильтр-пресс ФПАКМ:

б – схема работы фильтрационных плит (I – фильтрация; II – обезвоживание осадка; III – удаление осадка; A – вывод фильтрата промывной жидкостью; B – подача суспензии, промывной жидкости и воздуха; C – подвод воды на диафрагму; 1 – плита; 2 – рама; 3 – коллекторная секция; 4 – диафрагма; 5 – спирали; 6 – перфорированный лист)

Достоинством данного устройства (рис. 51) является большая удельная поверхность разделения по отношению к занимаемой площади. Операции собственно фильтрации и отжима рационального размера осадочного слоя производят под напором до 15 кгс/см^2 через гибкие диафрагмы, что существенно снижает удельный расход газа на обезвоживание осадка. При этом продолжительность (1–2 мин) вспомогательных процессов незначительна (раскрытия плит, удаления осадка, закрывания пресса и др.) и регенерация перегородки весьма эффективна.

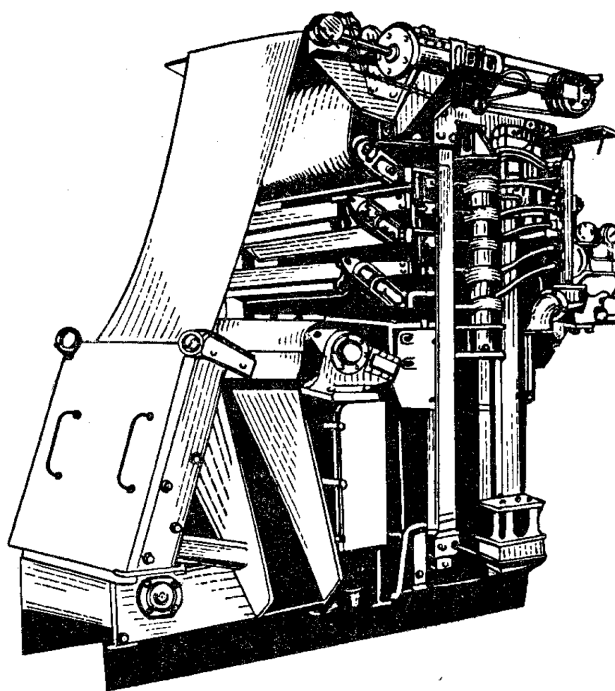


Рис. 51. Внешний вид аппарата ФПАКМ



Данный агрегат быстро настраивается на рациональные режимные параметры. Его металлоёмкость по отношению к производительности по суспензии ниже по сравнению с рамными агрегатами, а также с барабанными непрерывными устройствами.

Применение ФПАКМ даёт возможность уменьшить затраты ручного труда в 4–10 раз по сравнению с рамными агрегатами (достаточно одного оператора для обслуживания 10 агрегатов) и расход фильтрационных материалов.

Узлы и детали ФПАКМ изготавливаются из углеродистых сталей, допускающих контакт с щелочными и нейтральными средами, легированной стали Х18Н10Т или титановых материалов, допускающих контакт с кислыми веществами.

Фильтрационные плиты устанавливаются с зазором 45 мм. Движение тканевых фильтрующих материалов производится посредством барабана 8 с прижимным роликом. Они проходят через регенерационный жёлоб (камеру) 9, устройство для натяжения 6 и вводятся межплиточное пространство.

После сжимания плит исходная суспензия подаётся из коллектора (рис. 50б) в камеры фильтрации, где перемещается через фильтровальную перегородку и сито с перфорацией в коллектор для очищенной жидкой фазы 3. Твёрдая фаза задерживается фильтрующей тканью с образованием осадка толщиной до 35 мм. Он подвергается промывке и отжиму диафрагмой из резины.

Осадок снимается ножами 14 (рис. 50а) и перемещается на транспортёры 10 с обеих сторон плит. Электрогидравлическим узлом приводится в действие система подвода в камеру регенерации жидкой среды для промывки струями и очистки ткани скребками (щётками), а также привод транспортёра для выгрузки. Предусмотрено также кнопочное управление вручную работой агрегата.

В агрегате ЛВ-130 (рис. 52) рамы установлены в корпусе, расположенном вертикально, и собраны из каркаса, сетки или тканевого материала. Вверху корпуса установлены две планки. Одна из них вводится в паз гребёнки, а вторая – в направляющую с механизмом зажима. Прорези в середине рамы дают возможность её свободной выемки без выдвижения питающего трубопровода для подвода суспензии и жидкой среды для промывки. В процессе выгрузки трубопровод одновременно вращается и движется возвратно-поступательно. В это же время за несколько оборотов сопел трубопровода струйно через нижний люк удаляется осадок лопастным устройством при 10–12 об/мин.

Очищенная жидкая среда удаляется через штуцер из всех рам в кольцевой коллектор. Через него можно подводить пар или газ для отдувки или пропаривания осадка.

Фильтрацию производят под давлением суспензии 3 атм. Крышка плотно закупоривается и раскупоривается байонетным затвором, который поворачивается гидроприводом. Управлять установкой можно либо автоматически, либо вручную дистанционно.



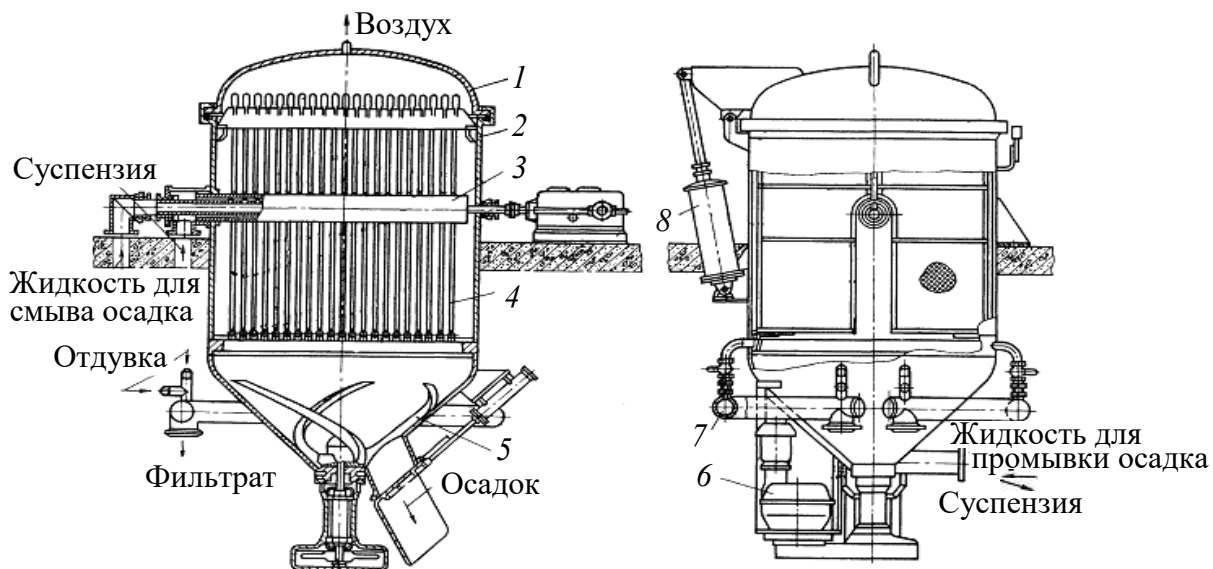


Рис. 52. Автоматизированный вертикальный листовой фильтр, работающий под давлением (ЛВ-130):

1 – крышка; 2 – корпус; 3 – трубопровод для подвода суспензии и жидкой среды для промывки;
4 – рама; 5 – устройство разгрузки осадка; 6 – привод устройства разгрузки осадка;
7 – коллектор; 8 – гидравлический узел закрытия крышки

Агрегат ЛВ-130 требует меньшей производственной площадки (на 60 %), металлоёмкости (на 55 %) по сравнению с горизонтальным листовым фильтром.

3.2.2. Фильтры непрерывного действия

В таких аппаратах автоматически чередуются технологические процессы фильтрования, просушки, промывания, разгрузки и регенерирования фильтрующей перегородки. При этом перечисленные процессы проводятся в безостановочном режиме автономно во всех секциях агрегата, вследствие чего весь технологический процесс становится непрерывным.

У данных установок могут быть разные по форме перегородки, а по принципу действия они подразделяются на барабанные, дисковые, ленточные, вакуумные и работающие под давлением.

К преимуществам таких установок относят непрерывный режим и автоматизацию всех операций, к их недостаткам – сравнительную сложность конструкции, необходимость вспомогательных аппаратов, большую энергоёмкость вакуумных насосов и воздуходувок и, как следствие – высокую стоимость.

Обширное применение имеют вакуумные фильтрационные установки барабанного типа с внутренней или внешней поверхностью фильтрования.

При наружной поверхности фильтрования (рис. 53) аппарат включает ячеистый барабан 5, ванну 11 с маятниковым узлом для перемешивания 10, головки распределения 12, устройство для съёма осадка, узла промывки 1 и приводного механизма для барабана и перемешивающего органа от электродвигателя 9.

Барабан закрыт с торцов плоскими крышками 6.



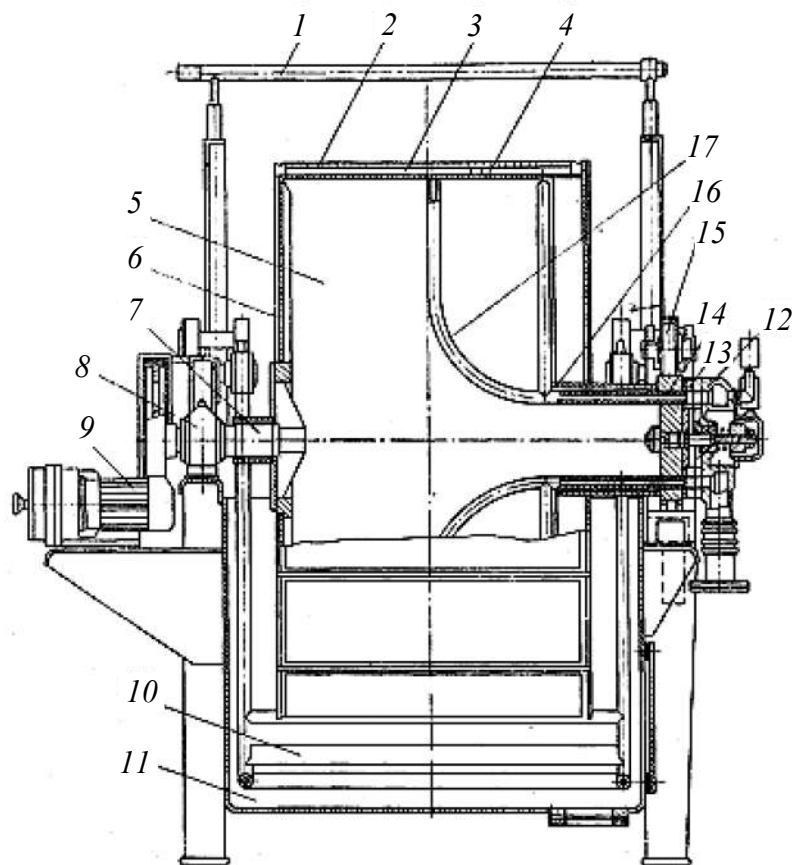


Рис. 53. Конструкция барабанного вакуумного фильтра с внешним питанием:
 1 – узел для промывки; 2 – наружный цилиндр с перфорацией; 3 – фильтрующие ячейки;
 4 – внутренний сплошной цилиндр; 5 – барабан; 6 – крышка; 7, 16 – фланцевая цапфа;
 8 – подшипник скольжения; 9 – электродвигатель; 10 – маятниковая мешалка; 11 – ванна;
 12 – головка распределения; 13 – шайба; 14 – выводная трубка; 15 – ролик; 17 – трубка

Барабан состоит из двух соединённых соосных цилиндров: внутреннего сплошного 4 и наружного перфорированного 2, покрытого снаружи фильтрующей тканью. Кольцевой зазор между цилиндрами разделён продольными перегородками на фильтрующие ячейки 3. С торцов укреплены сваркой плоские крышки и фланцевые цапфы 7 и 16, с помощью которых барабан установлен слева в подшипнике скольжения 8, а справа – в роликовой опоре, состоящей из двух нижних и одного верхнего роликов 15.

Все ячейки соединяются трубкой 17 с выводными трубками 14, размещёнными по периметру торца цапфы 16, которая связана с ячейковой шайбой 13. К шайбе плотно прижата распределительная головка 12, имеющая в торце овальные отверстия.

Распределительная головка (рис. 54) состоит из корпуса 1, имеющего внутри четыре камеры 3, шайбы 2 с продолговатыми отверстиями и крепёжного устройства, состоящего из валика 4, подшипника качения 5, пружины 6, диска 7, упорного подшипника 8, втулки 9, гайки и контргайки 10. Валик 3 левой резьбовой частью ввинчивается в цапфу. При работе он вращается внутри корпуса головки. При затяжке гайки 9 шайба 2 головки плотно прижимается к шайбе 13 (см. рис. 52), прикреплённой винтами к торцу цапфы.

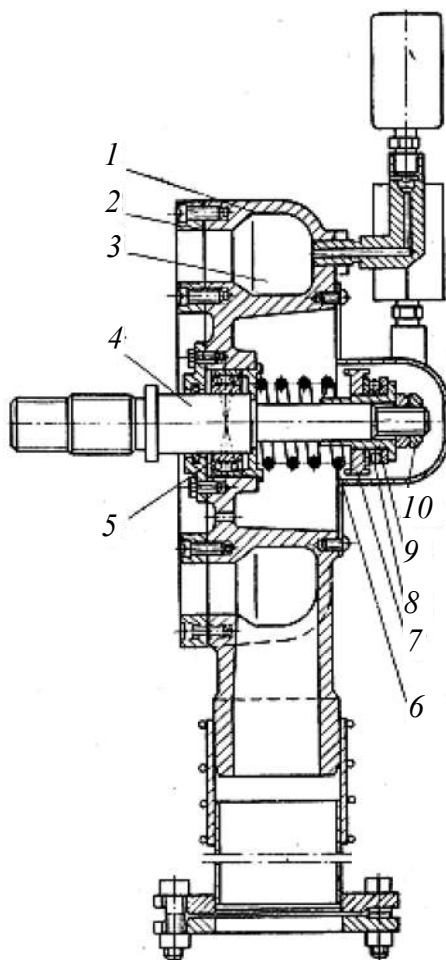


Рис. 54. Распределительная головка:

1 – корпус; 2 – шайба; 3 – камера; 4 – валик; 5 – подшипник качения; 6 – пружина;
7 – диск; 8 – упорный подшипник; 9 – втулка; 10 – контргайка

При вращении барабана секции последовательно сообщаются с камерами I–IV распределительной головки (рис. 55), т. е. с линией вакуума или линией сжатого воздуха, проходя зоны вакуума А, осаждения Б, съёма осадка В и регенерации ткани Г.

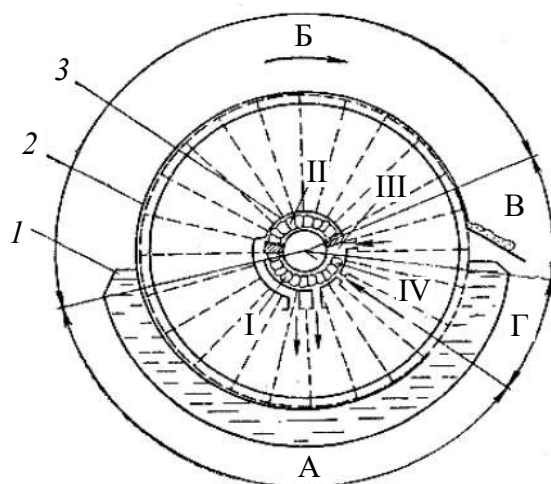


Рис. 55. Схема действия барабанного вакуум-фильтра:

1 – ванна; 2 – барабан; 3 – распределительная головка; I – камера для отсоса фильтрата;
II – камера для отсоса промывочного фильтрата; III–IV – камера для подачи сжатого воздуха;
А – зона вакуума; Б – зона осаждения; В – зона съёма осадка; Г – зона регенерации ткани

На рис. 55 показан принцип действия фильтра. Барабан 2 частично погружён в ванну 1, куда поступает суспензия. Во избежание образования осадка суспензия перемешивается маятниковой мешалкой. В процессе вращения барабанные секции последовательно сообщаются с камерами I–IV распределительной головки.

Камера I распределительной головки 3 сообщается с вакуумной линией, поэтому происходит отсос фильтрата из тех секций, которые погружены в суспензию. На погружённой в суспензию поверхности барабана образуется слой твёрдой фазы. При повороте барабана до совмещения с камерой II головки происходит промывка и просушка осадка за счёт отсоса промывного фильтрата с помощью вакуума.

В области удаления осадка через головку камеры III подаётся сжатый газ для отделения осадка от фильтрующей ткани, который по ножевому лезвию сползает в корыто (бункер). За счёт подачи сжатого воздуха или пара в камеру IV головки осуществляется регенерация ткани. После этого цикл операций повторяется, хотя процесс фильтрования непрерывен.

Механизм удаления осадка (рис. 56) определяется его характеристиками и высотой. В частности, ножом снимают 8–10 мм плотного осадка с малым содержанием влаги (рис 56а).

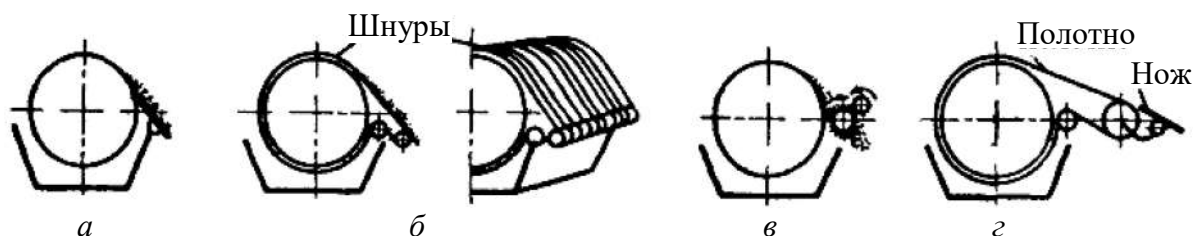


Рис. 56. Методы удаления осадка:

а – ножами; б – шнурами; в – резиновым валиком; г – полотном

Осадки малой толщины (2–4 мм) снимают шнурами, обвивающими барабан (рис. 56б), мажущиеся – валиками (рис. 56в), а осадки очень малой высоты (около 1 мм) – полотнами перегородки (рис. 56г).

В аппаратах с большой глубиной загрузки барабана ткань для фильтрации закрепляется на рамках. Головка распределения имеет отличие от стандартной, состоящее в том, что камеры связаны с каналами по периметру вала и имеется шайба для отдувки (подведения) сжатой газовой фазы.

Для суспензий с большим содержанием и плотностью дисперсной фазы применяют вакуумные установки с неглубокой загрузкой барабана и возможностью удаления осадка малой высоты и упрощения очищения поверхности перегородки. Благодаря расположению съёмного ножевого узла ниже барабанной оси осадок под собственным весом снимается без отдувания. Такие установки применяют, в частности, для влагоудаления из флотационных растворов и промывания цианистых шламов.



Очистку коллоидных растворов и малоплотных материалов производят на барабанных установках, работающих при пониженном давлении с намытой зернистой (волокнуистой) поверхностью фильтра. Для формирования слоя фильтрации ванну заполняют жидкой средой со вспомогательными добавками. При запуске установки на поверхность фильтрования наносится дополнительный слой толщиной 25–50 мм. Для отделения осадка и части намытого слоя служит подвижный нож, который имеет микрометрический узел для его автопродвижения за один оборот барабана на 0,01–0,05 мм. Иногда установка имеет два ножа: для съёма осадка и вспомогательного слоя.

В установках без головки распределения практически нет проникания воздуха сквозь неплотности и упрощено продвижение по каналам осветлённой жидкости. Для связи внутренней полости барабана с ячейками имеется патрубок с клапаном в виде маятника и противовесом, поддерживающим его в фиксированном положении, который скользит по патрубковой поверхности. В заданных положениях происходит открывание и закупоривание патрубка. Очищенная жидкая среда удаляется через полую цапфу. Промывание производят небольшим количеством жидкости при её смешении с фильтратом. Осадок снимается ножом без отдува. Преимуществами таких установок можно считать сравнительно высокую производительность, промывную эффективность, малое сопротивление каналов, легко защищаемых покрытиями от воздействия агрессивных сред.

Известны установки без головки распределения и ячеек, где барабан осуществляет вращательное движение вокруг полого вала, на который опираются камеры для отдува и промывки, разбитые радиальными переборками на каналы с трубопроводами, соединяющие камеры с вакуумной системой и системой подачи воздуха. К достоинствам таких устройств причисляют малый расход газа и отделение осветлённой жидкости от промывочной. Однако при этом усложнена замена уплотнительного материала в зоне отдува.

Для очистки сред с кристаллическими включениями, переходящими в легкопроницаемые осадки, требующие промывки и сушки, применяют установки с верхней подачей суспензии. Осадок быстро формируется при поступлении исходной среды на барабан, проходя впоследствии по секциям промывки и сушки. С целью удаления влаги из осадка барабан обдувают горячим сушильным агентом, для чего в установке имеется кожух, при этом площадь поверхности разделения колеблется в интервале 0,7–0,8 м², а отношение длины к диаметру – в диапазоне 1,5–3. Для повышения площади поверхности разделения в первом кожухе устанавливают два барабана, которые контактируют при сдвиге по образующей. Суспензия поступает на поверхность разделения или в промежуточную воронку для равномерности подпитки поверхности. С целью поддержания необходимого уровня суспензии над барабаном имеется карман для перелива, установленный на опреде-



лённой высоте. Для необходимого сжатия боковых поверхностей барабана секции по очереди соединяются с зоной сжатого воздуха. При отдуве на секции первого барабана перегородка противолежащей секции второго барабана уплотняется. Для уплотнения торцов барабанов предусмотрены пластины из текстолита, зажимаемые винтами. Привод в действие барабанов осуществляется при совпадении их окружных скоростей.

В установках с внутренней поверхностью разделения фильтруют грубодисперсные нейтральные, щелочные или кислые материалы при высокой интенсивности осаждения и варьируемой крупности частиц.

В установке (рис. 57) имеется сварной барабан 4, головка распределения 6, опор роликового типа 11, приводная станция и ленточный конвейер 8.

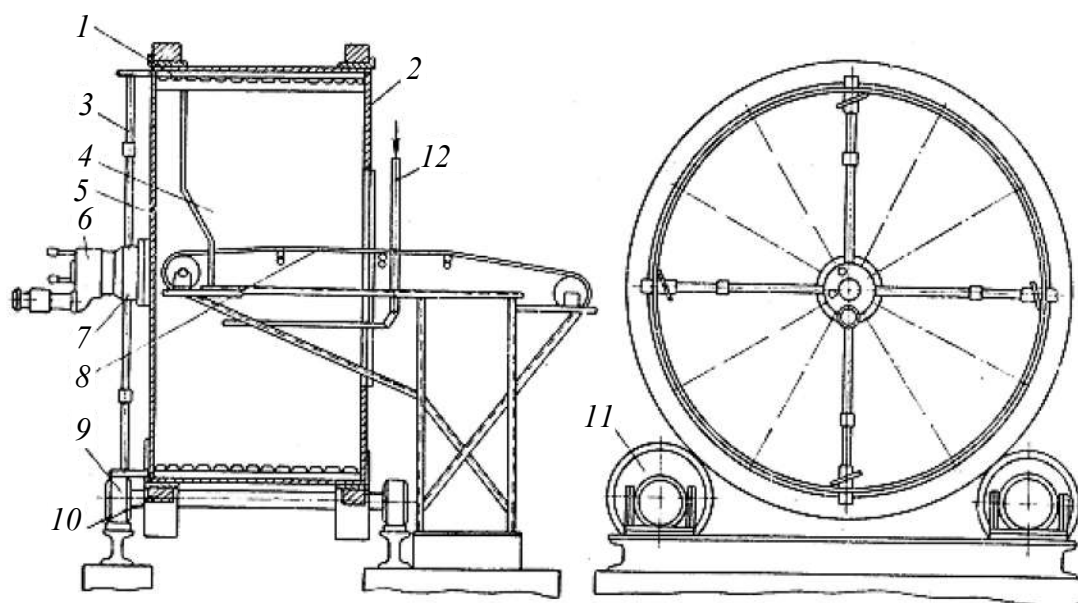


Рис. 57. Вакуумные установки барабанного типа с внутренней насадкой:

- 1 – фильтрующий элемент; 2 – кольцевой борт; 3 – радиальная трубка;
4 – сварной барабан; 5 – плоская стенка; 6 – распределительная головка; 7 – цапфа;
8 – ленточный транспортёр; 9 – подшипник; 10 – бандаж; 11 – опорный ролик;
12 – патрубок для подвода суспензии

На первом барабанном торце имеется глухая плоская стенка 5, а на втором – кольцевой бортик 2. Два бандажа 10 барабана установлены на роликовых опорах 11 в подшипниках 9 с ребордами. Внутри барабана на поверхности приварены продольные полосы, связанные с фильтрующими узлами 1, формирующими секции, сообщаемые радиальными трубками 3 с отверстиями по торцевому периметру цапфы 7 с прижатой к ней головкой распределения 6, с камерами которой поочередно соединяются барабанные секции. Суспензию направляют по трубке 12 в барабан до кольцевого борта 2.

Осадок формируется на поверхности внутри барабана, а на участке его удаления в секции подводится сжатый воздух, разделяющий фильтрующую ткань и осадок, подаваемый на конвейерную ленту для выгрузки.



В таких аппаратах можно очищать легколетучие и сильновязкие суспензии при высокой удельной производительности по сравнению с открытыми вакуумными установками. Однако они более конструктивно сложные при трудности визуального наблюдения и контроля операции фильтрования, состояния фильтровальной перегородки, а также необходимости узлов удаления осадка при сложной конструкции головки распределения.

Установки дискового типа (рис. 58) имеют развитую поверхность разделения по сравнению с агрегатами барабанного типа. Стандартная площадь поверхности разделения колеблется в интервале от 1 до 85 м², а диаметр (1–10 дисков) – от 0,9 до 2,5 м с частотой вращения дисков 0,13–2 об/мин при мощности электродвигателя 0,2–5 кВт. Крупногабаритные аппараты снабжены двумя головками распределения.

Диски собирают из выпуклых секторов для простоты отвода осадка и снижения изнашиваемости перегородки.

Для съёма осадка с дисков применяют сжатый воздух (для отдува), ножи или валики (для отвода и направления осадка).

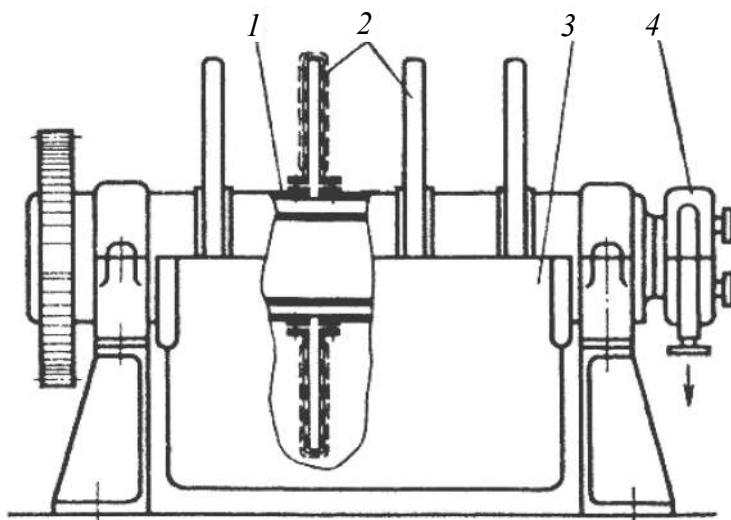


Рис. 58. Фильтр дискового типа:

1 – полый вал; 2 – диски; 3 – ванна; 4 – головка распределения

Для отведения осадка на шарнирах укреплены пластины с наклоном, имеются ролики, продвигающиеся по диску, и прижатые к нему противовесы.

Установки дискового типа имеют сравнительно большую поверхность разделения, отнесённую к занимаемой производственной площади, малые расходы ткани и энергоёмкость. В них можно осуществлять независимый ремонт дисков при затруднениях в промывке осадка с разбавлением суспензии в ванне. Установки как дискового, так и барабанного типа пригодны для функционирования под давлением. Поверхность фильтрации у них находится в интервале 2,3–74,3 м².



Для фильтрования суспензий с плотной и крупнозернистой взвешенной фазой при тщательном промывании пригодны установки тарельчатого типа, или план-фильтры (рис. 59). Здесь исходная среда направляется на диск с низкими бортами, расположенный горизонтально и обтягиваемый тканью.

Осадок отделяется ножами после оборота диска, а осветлённая фаза проходит через ткань в ячейки дисков, откуда направляется по каналам вертикального вала. Отдельные план-фильтры снабжены опрокидывающими секторами для лучшей очистки ткани.

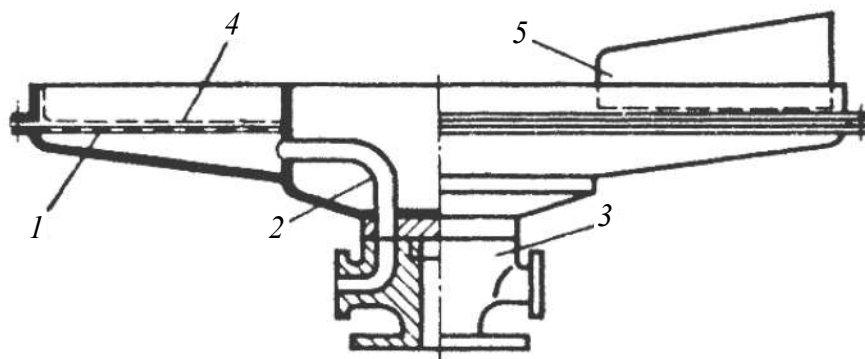


Рис. 59. Тарельчатый фильтр:

- 1 – горизонтальный полый диск; 2 – сливные трубки для фильтрата;
3 – распределительная головка; 4 – фильтровальная ткань; 5 – нож

К преимуществам план-фильтров можно отнести: интенсификацию разделения благодаря совпадению направления градиента давления суспензии и самопроизвольного оседания твёрдой фазы; удобство промывки; возможность разделения суспензии с разноразмерными частицами. Недостатками план-фильтров считают крупногабаритность, сравнительно малую поверхность разделения, трудности при съёме осадка и восстановлении фильтрующей ткани.

Агрегаты карусельного типа пригодны для разделения суспензий с неоднородностью дисперсности взвешенных частиц при возможности тщательного отмыывания осадка. Установка (рис. 60) имеет рамы: подвижную 1, установленную на роликовых опорах 7, и неподвижную 2, с закреплёнными на ней элементами для заливки суспензии и жидкой среды для отмыывки. Опоры 7 установлены концентрически в два ряда.

В подшипниках рамы 1 установлены 24 ковша 5 (нутч-фильтры) для отведения осадка, которые поворачиваются вокруг горизонтальной оси. Рама 1, приводимая в действие снизу 6, при вращательном движении перекачивается по роликовым опорам.

Металлические корбчатые ковши с фильтрующими узлами связаны шлангом с цапфой 5, прижимаемой к головке распределения 4.



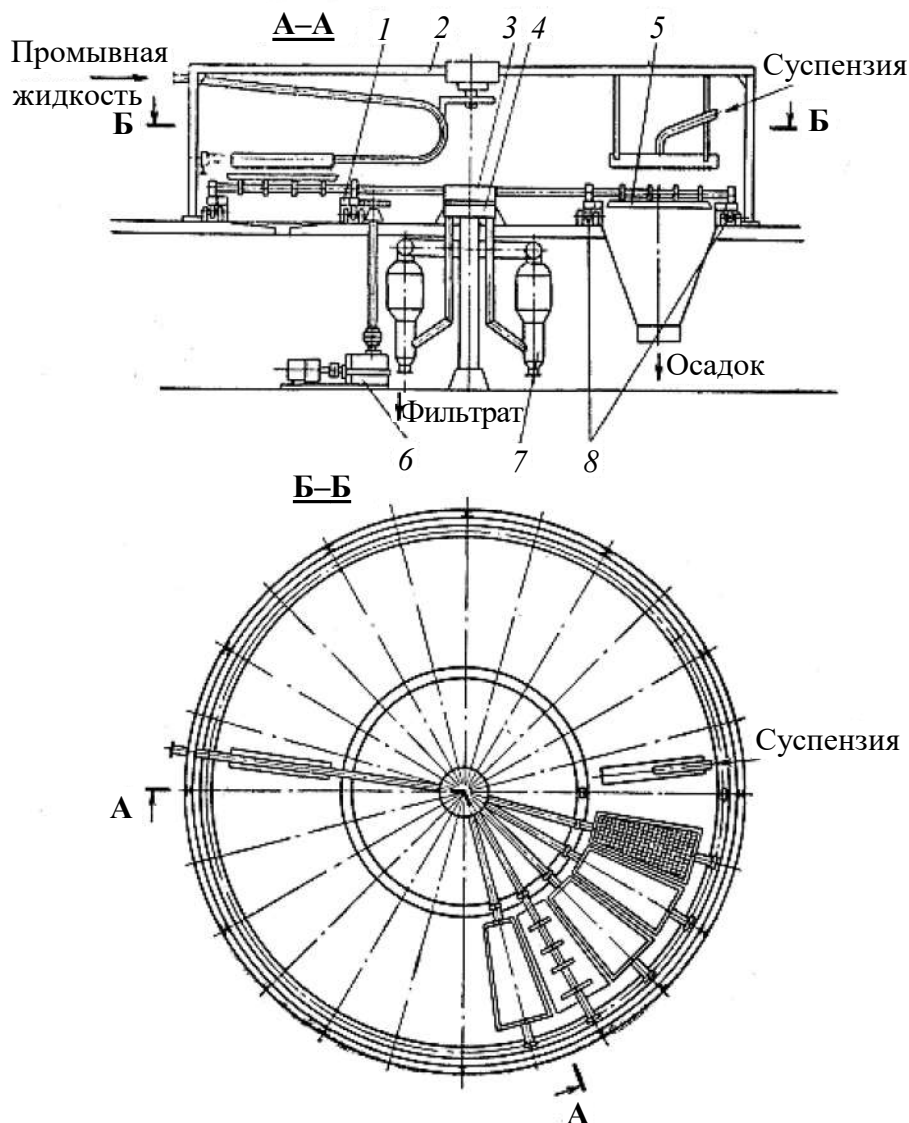


Рис. 60. Карусельный вакуумный фильтр К-50:
 1 – подвижная рама; 2 – неподвижная рама; 3 – центральная цапфа;
 4 – головка распределения; 5 – ковш; 6 – приводная станция;
 7 – ролики; 8 – вакуум-сборник

В процессе вращения рамы нутч-фильтры последовательно перемещаются через участки заливки исходной среды, собственно фильтрации, отмывки, высушивания и съёма осадка. При повороте ковшей вокруг горизонтальной оси осадок направляется в бункер. Очищенная жидкая фаза из головки распределения отводится в вакуумные сборники 8. После операции выгрузки фильтровальная ткань подвергается промывке и просушке.

Ленточная установка, работающая под вакуумом (рис. 61), имеет стол с вакуумными камерами для отвода жидкой очищенной и промывочной среды. Тканевую перегородку на прорезиненной ленте с перфорацией натягивают на крайние барабаны. По ленточным краям размещаются высокие борта и ограждения. В ленточном центре присутствует поперечное оребрение для разбивки установки на секции.

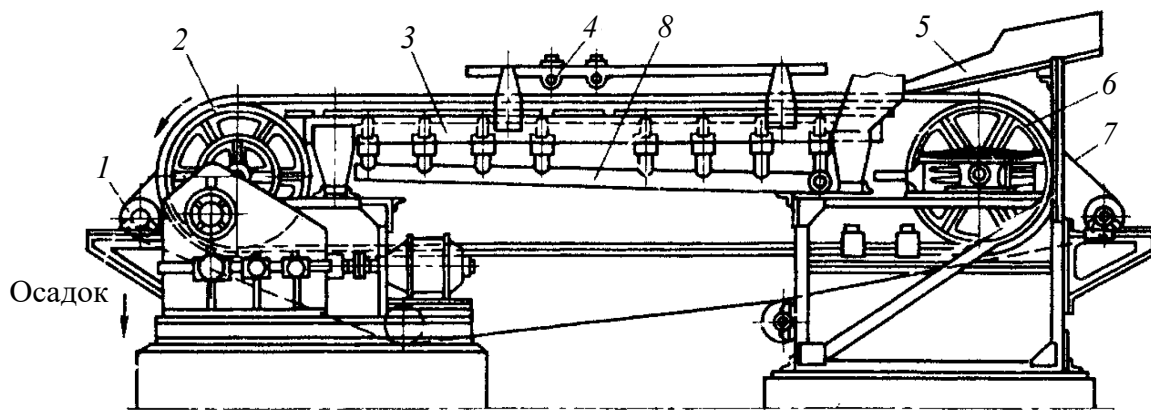


Рис. 61. Ленточная фильтрационная установка:

- 1 – валик для съёма осадка; 2 – приводной барабан; 3 – стол с вакуумной камерой;
4 – труба с форсунками для промывки; 5 – подающий лоток для исходной суспензии;
6 – натяжной барабан; 7 – лента с перфорацией; 8 – коллектор

Ленточные установки обеспечены устройствами для заглаживания трещин и виброузлами для снижения количества влаги в осадке. Для упрощения съёма осадка от перегородки валик для сброса осаждённой среды изготавливают с перфорацией, а во внутреннюю камеру подаётся сжатый воздух или пар для отдува осадка.

Ширина ленты варьируется от 0,5 до 1,0 м, а её площадь – от 3,2 до 4,8 м². К преимуществам установок ленточного типа относят их работу без головки распределения, повышение интенсивности процесса разделения при оседании крупных частиц под собственным весом, простоту отмывания, формирование тонких осадочных слоёв. Однако эти установки обладают сравнительно малыми величиной площади поверхности разделения и коэффициентом использования тканевой перегородки. Для стабильной работы данных устройств необходим равномерный подвод исходной среды. Кроме того, в них получается мутная осветлённая жидкость – фильтрат и снижается температура суспензии.

Непрерывная установка ленточного типа, функционирующая под избыточным, хотя и малозначительным давлением (рис. 62) из-за плоских стенок корпуса, является усовершенствованной и модернизированной.

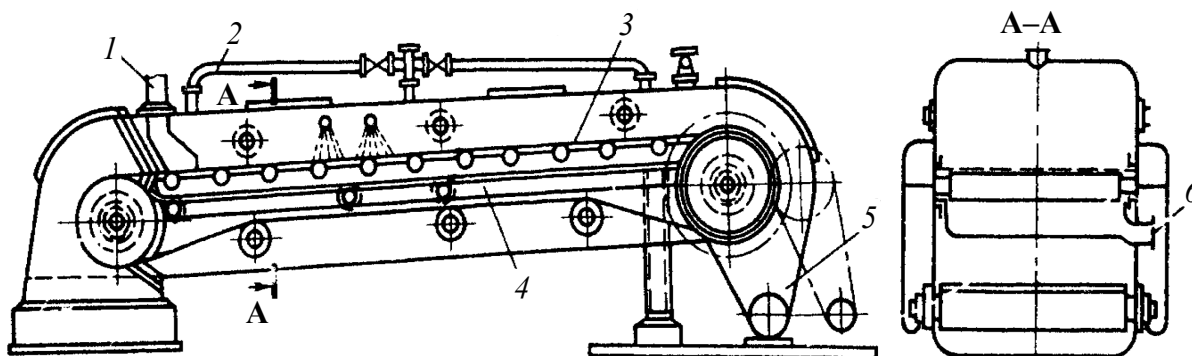


Рис. 62. Установка, функционирующая под избыточным давлением:

- 1 – подводящий патрубок для суспензии; 2 – трубопровод для сжатого воздуха;
3 – лента с перфорацией; 4 – камера для очищенной жидкой фазы;
5 – шнековый сборник для осадка; 6 – выводной патрубок для фильтрата

В установках капиллярного типа (рис. 63) дисперсионная сплошная среда засасывается капиллярами в войлоке ленты 3, а дисперсная среда оседает на ленте 1. Влагоудаление из осадка после операции промывания производится также этими лентами. К достоинствам подобных установок относят сравнительно простое конструктивное исполнение, отсутствие вспомогательного оборудования для создания разрежения или повышенного давления, большую производительность.

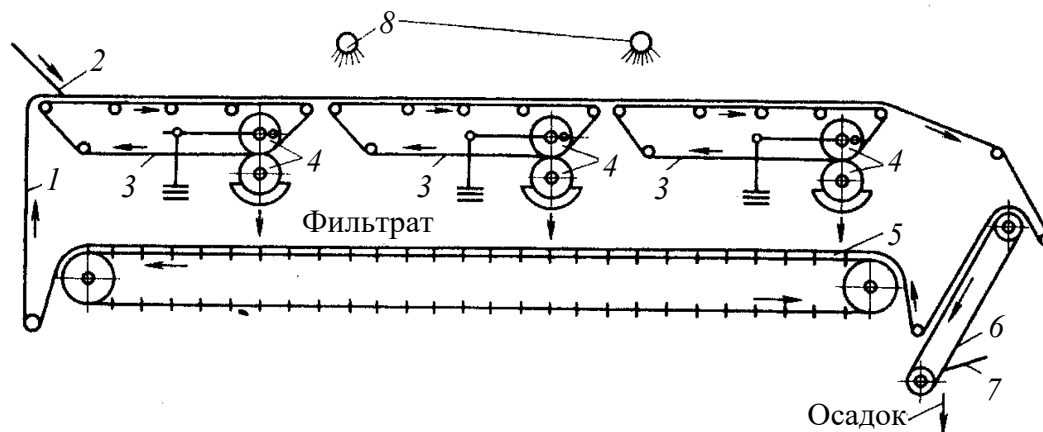


Рис. 63. Ленточная установка капиллярного типа:

1 – фильтрующая лента; 2 – лоток; 3 – всасывающие ленты; 4 – отжимные вальцы; 5 – несущая решётка; 6 – съёмная лента для осадка; 7 – нож; 8 – промывочные форсунки

Существует звеньевая установка с горизонтально установленной перегородкой, ковшами на бесконечной цепи, покрытым тканью ложным дном с перфорацией. Для отвода очищенной жидкой среды дно связано одной или двумя гибкими трубопроводами со звеньями одного или двух золотниковых коробов, перемещающихся по золотниковым зеркалам. Через окна короба ковши соединены с вакуумной системой.

Тесты для контроля знаний

1. Чему прямо пропорциональна скорость фильтрации?
 - А. Разности давления до и после перегородки.
 - Б. Сопротивлению перегородки и осадка.
 - В. Разности температур до и после перегородки.
2. Какой из параметров, влияющих на течение фильтрации, оценивают только косвенно, а не напрямую?
 - А. Структуру и конфигурацию фильтрующей перегородки.
 - Б. Вязкость осветлённой жидкости.
 - В. Разность давлений до и после перегородки.
 - Г. Размеры и форму пор осадка.



3. Как называют жидкую систему с дисперсными твёрдыми частицами?

- А. Эмульсия.
- Б. Пена.
- В. Суспензия.
- Г. Дым.

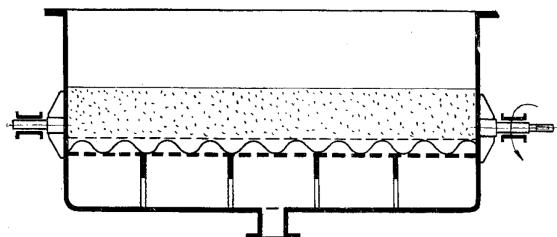
4. На какие типы разделяют листовые фильтры по принципу действия?

- А. Непрерывные.
- Б. Периодические.
- В. Полунепрерывные.

5. Какой промышленный фильтр самый простой?

- А. Нутч-фильтр.
- Б. Листовой фильтр.
- В. Фильтр-пресс.
- Г. Барабанный фильтр.

6. Как (с какой стороны) подают суспензию в показанный аппарат?

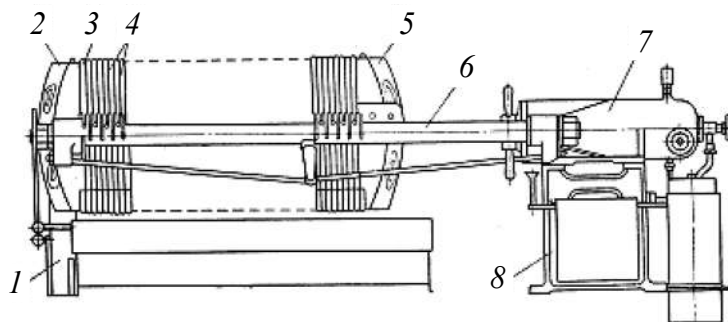


- А. Справа.
- Б. Слева.
- В. Сверху.
- Г. Снизу.

7. Каков показатель материалоемкости фильтр-пресса ФПАКМ, отнесённый к производительности по исходной суспензии по сравнению с рамными установками?

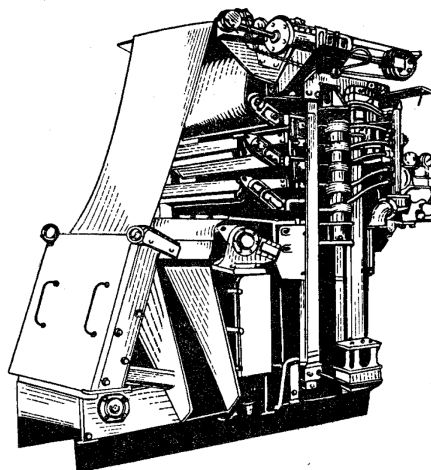
- А. В 2–3 раза меньше.
- Б. В 2–3 раза больше.
- В. Соизмерим с рамными установками.

8. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?



- А. Камерного фильтр-пресса.
- Б. Рамного фильтр-пресса.
- В. Листового фильтра.
- Г. Тарельчатого вакуум-фильтра.

9. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?

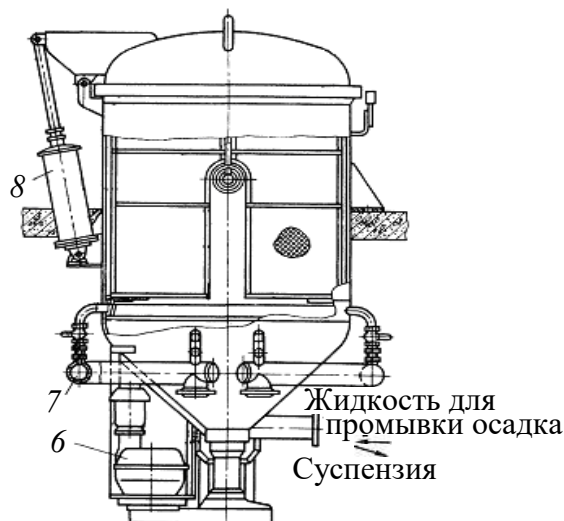
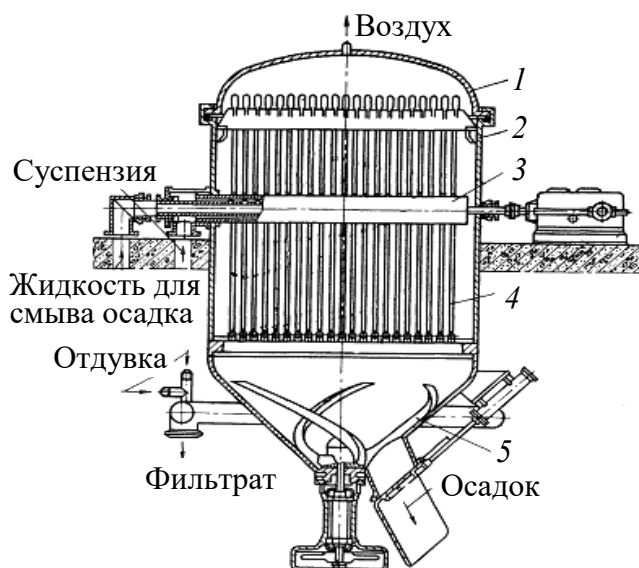


- А. Фильтр-пресса ФПАКМ.
- Б. Дискового фильтра.
- В. Листового фильтра ЛВ-130.
- Г. Карусельного вакуум-фильтра К-50.

10. На сколько процентов фильтр ЛВ-130 занимает производственную площадь меньше, чем горизонтальный листовой фильтр?

- А. На 10 %.
- Б. 30 %.
- В. 60 %.
- Г. 70 %.

11. Какой позицией обозначен гидравлический механизм затвора крышки аппарата ЛВ-130?



- А. 3.
- Б. 5.
- В. 6.
- Г. 8.

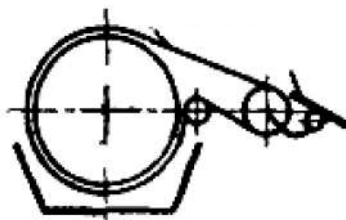
12. К какому типу аппаратов относятся дисковые фильтры?

- А. Непрерывного действия.
- Б. Периодического действия.
- В. Полунепрерывного действия.

13. По какому признаку фильтры разделяют на барабанные, дисковые или ленточные?

- А. По концентрации суспензии.
- Б. Форме перегородки.
- В. Возможности промывания осадка.
- Г. Способу отведения осадка.

14. Какой способ съёма осадка на барабанном фильтре показан на рисунке?



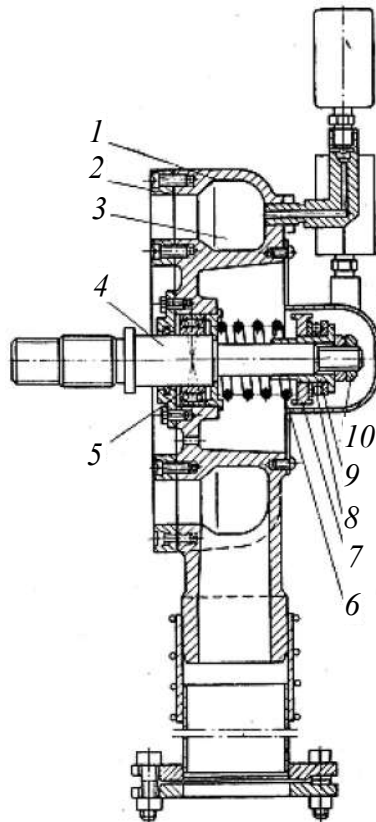
- А. Ножом.
- Б. Шнурами.
- В. Резиновым валиком.
- Г. Полотном.

15. Чем удаляются тонкие мажущиеся осадки при разделении барабанным фильтром?

- А. Ножом.
- Б. Шнурами.
- В. Резиновым валиком.
- Г. Сходящим полотном.

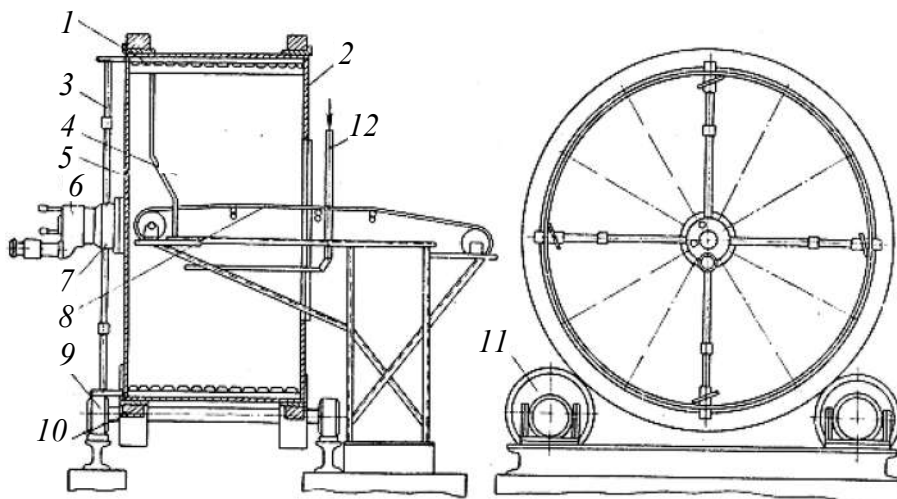


16. Какой позицией обозначена камера распределительной головки барабанного вакуум-фильтра на рисунке?



- А. 3.
- Б. 5.
- В. 6.
- Г. 8.

17. Какой позицией обозначена распределительная головка на барабанных вакуумных аппаратах с внутренней фильтрующей насадкой?



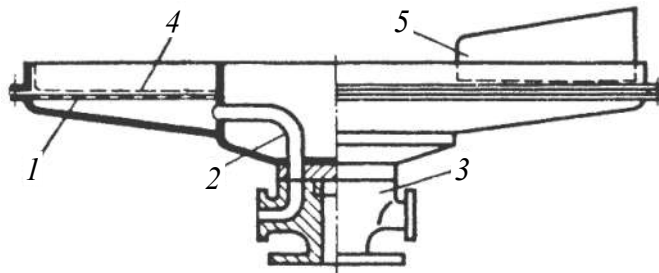
- А. 2.
- Б. 4.



Г. 8.

А. Соизмеримую фильтрующую поверхность.
Б. Более развитую фильтровальную поверхность.
В. Менее развитую фильтровальную поверхность.

19. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?



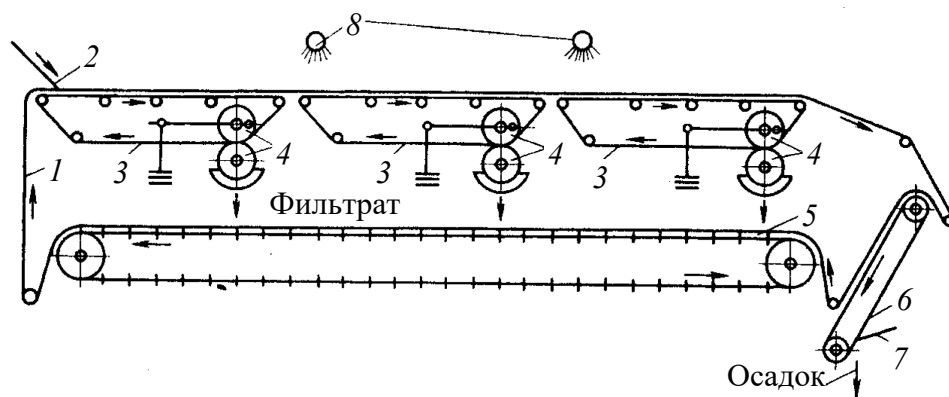
А. Тарельчатого фильтра.
Б. Дискового фильтра.
В. Листового фильтра.
Г. Карусельного фильтра.

Осадок

1 2 3 4 5 6 7 8

А. 2.
Б. 5.
В. 6.
Г. 7.

21. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?



- А. Стандартного ленточного фильтра.
- Б. Капиллярного ленточного фильтра.
- В. План-фильтра.
- Г. Ленточного фильтра, работающего под давлением.



4. ЦЕНТРИФУГИ

4.1. Общие сведения

Одним из широко применяемых промышленных методов разделения неоднородных сред и более эффективных по сравнению с процессом разделения в отстойниках и фильтрах является процесс центрифугирования, проводимый в установках (центрифугах), где исходная среда центробежно осаждается или разделяется путём фильтрации, согласно чему агрегаты подразделяют на установки фильтрующего и отстойного типов. Барабанные или роторные узлы в установках отстойного типа выполняются сплошными перегородками, а фильтрующие агрегаты – перфорированными перегородками (фильтрующей сеткой), покрытыми тканью.

Установки фильтрующего типа применяют для разделения неоднородных систем с крупнодисперсными включениями, кристаллическими частицами, аморфных сред, промывания осадка, а также удаления жидкой фазы из штучных объектов.

Установки отстойного типа используют в основном для разделения трудно фильтрующихся эмульсий и суспензий, а также для разделения на фракции различных по дисперсности частиц. Их классифицируют на установки отстойного, осветляющего, концентрирующего и сепарирующего типов.

При вращении рабочего органа центрифуги (барабана) формируется центробежная сила C . Её можно выразить в ньютонах или в килограмм-силе, величина которой, действующая на тело массой m или весом G , равна:

$$C = \frac{m\omega^2}{R} = \frac{G\omega^2}{gR} = \frac{Gn^2 R}{900}, \quad (1)$$

где $\omega = \pi Rn / 30$ – окружная скорость, м/с; R – внутренний радиус барабана, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; n – число оборотов барабана в минуту.

Главным критерием оценки эффективности действия центрифуги считают фактор разделения:

$$\Phi_p = \frac{\varpi^2 R}{g} \cong \frac{n^2 R}{900}, \quad (2)$$

где $\varpi = \pi n / 30$ – угловая скорость барабана.

Фактор разделения характеризует отношение центробежного ускорения в центрифуге и ускорения свободного падения. Как следует из выражения (2), Φ_p равняется величине центробежной силы при вращательном движении тела с весом 1 кгс. Чем значительнее Φ_p , тем интенсивней центрифуги-



гирование, за исключением сжимаемых осадков в установках фильтрующего типа. Значение Φ_p лимитировано прочностными характеристиками и динамической устойчивостью устройства.

Φ_p не является обобщённым параметром установок в аспекте их степени разделения неоднородных систем. Более полной характеристикой является индекс производительности Σ , определяемый как произведение площади осадительной поверхности на Φ_p :

$$\Sigma = F_{oc} \Phi_p. \quad (3)$$

Кроме того, к важным параметрическим факторам при выборе центрифуги причисляют для суспензий дисперсный состав твёрдой фазы, её эффективную плотность и концентрацию, а для эмульсий – стойкость, связанную с дисперсностью капель, вязкость дисперсионной среды и соотношение фазовых плотностей.

На выбор агрегата также влияют коррозионная стойкость, токсичность, огне- и взрывоопасность объекта переработки (установки с открытым или закрытым кожухом), коэффициент трения осадочного материала и др.

Чем больше концентрация твёрдой фазы, тем выше её содержание в очищенной жидкой среде (фугате). При повышении вязкости сплошной жидкой дисперсионной среды производительность установки падает, поэтому для уменьшения вязкости жидкая среда подогревается, что, однако, снижает стойкость эмульсии.

С ростом эффективной плотности дисперсной среды повышается производительность установок отстойного типа. В процессе сепарирования эмульсий наблюдается повышение при возрастании градиента плотностей эмульсионных составляющих. Во время центробежного разделения эффективная плотность дисперсной фазы оказывает незначительное влияние на повышение производительности.

В промышленности аппараты для центрифугирования нашли широкое применение. В таких агрегатах нефть и нефтепродукты очищают от влаги и твёрдых включений, к примеру, при обработке поливинилхлорида, полистирола, сажевой пульпы, производстве парафина и др.

4.2. Типовые конструкции

Современные аппараты для центрифугирования и сепарирования являются сложными установками, включающими множество высокоточных и скоростных механизмов, управляемых посредством электро- и электрогидравлических систем.

Такие агрегаты классифицируются следующим образом:

а) периодические и непрерывные;



б) осадительного (отстойного), осветляющего и фильтрующего типов для разделения суспензий, сепарирующие – для эмульсий и комбинированные – одновременно осадительного и фильтрующего типов;

в) с горизонтальной, вертикальной, наклонной, подвесной установкой вала, с верхним или нижним (маятниковые) расположением приводной станции, а также вертикально-трубчатого типа;

г) с ручным, ножевым, контейнерным или кассетным, инерционным, шнековым, механическим, пневматическим или пульсирующим выгрузением осадка.

В промышленности широко распространены саморазгружающиеся сепараторы. Они подразделяются на аппараты с непрерывной, непрерывно-циклической и пульсирующей выгрузкой осадка.

4.2.1. Центрифуги периодического действия

Маятниковыми являются периодические вертикально-подвесные самонастраивающиеся аппараты, приводимые снизу. Они бывают фильтрующего и осадительного типов, с верхней выгрузкой осадка через борт, с нижней – через дно ротора, а также контейнерного типа.

Конструктивная схема установки фильтрующего типа с маятником с выгрузкой осадка снизу приведена на рис. 64.

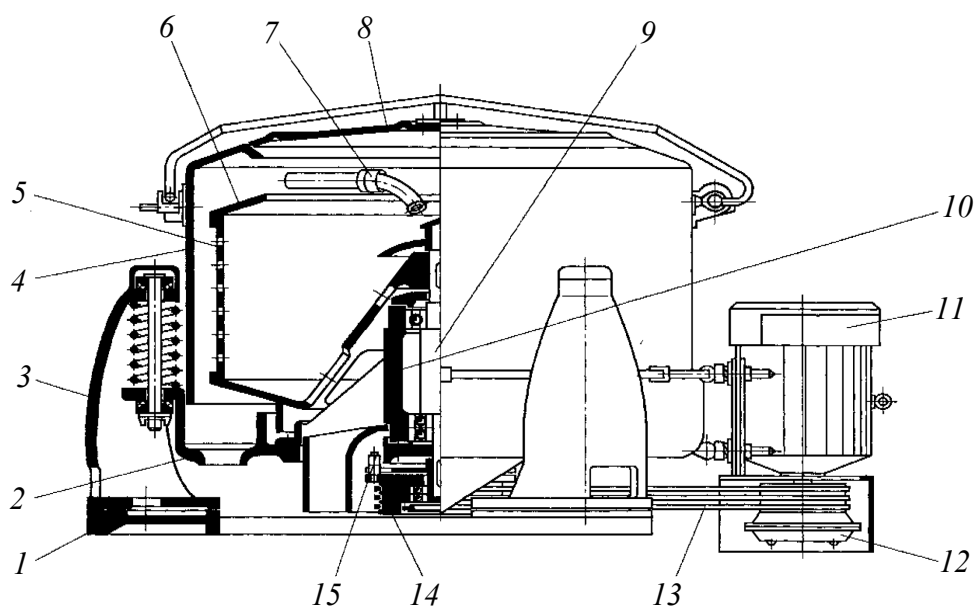


Рис. 64. Установка фильтрующего типа с маятником с выгрузкой осадка снизу:
1 – фундаментная плита; 2 – станина; 3 – опорные колонки; 4 – кожух; 5 – ротор;
6 – бортовое кольцо (закраина); 7 – устройство загрузки; 8 – крышка; 9 – вал;
10 – опора ротора; 11 – электродвигатель; 12 – турбомуфта;
13 – клиноременная передача; 14 – приводной шкив; 15 – тормоз

На подвеске, размещённой на тягах с шаровыми опорами, скомпонованной из плиты 1 и трёх опорных колонок 3, укрепляют станину 2, где находятся узлы и детали установки. Тяги с опорами позволяют осуществить

самоустановку устройства при функционировании. Вибрацию гасят натянутыми на тяги пружинами. В середине станины установлена опора 10 ротора, сверху опорного вала 9 размещён ротор 5 с бортовым кольцом (закрайной) 6; снизу установлен шкив 14 и тормоз 15. Ротор ограждается кожухом 4 для изоляции пространства обработки продуктов от внешней среды и одновременно со станиной образует сборник осветлённой среды (фильтрата) или фугата для установок осадительного типа. В верхней части закрытого крышкой 9 кожуха установлен узел загрузки 7. Приводная станция находится в нижней части. Роторы установок фильтрующего типа имеют подкладные или дренажные сита.

Установки маятникового типа простые и компактные, имеют малые материалоёмкость и себестоимость, однако требуют применения ручного труда для удаления осадка. Они являются установками периодического действия, поэтому их изготовление перманентно снижается. Предпочтительными считаются агрегаты маятникового типа с механизацией ножевого или скребкового удаления осадка.

Трёхколонные аппараты (рис. 65) при ручном удалении осадка сверху (типа ТВ или ОТВ) стандартизированы по диаметрам перфорированных или сплошных барабанов, равным 600, 800 и 1 000 мм. Значение фактора разделения варьируется в интервале от 800 до 965. Такие установки пригодны для очистки от механических крупных или средних включений дисперсионной фазы, однако в них центрифугирование проходит сравнительно долго. В конструкциях данного типа вручную выгружается осадок, малодоступны подшипники и тормозной узел, установленный под барабаном, а также высоко коррозионное воздействие проливающейся жидкой среды.

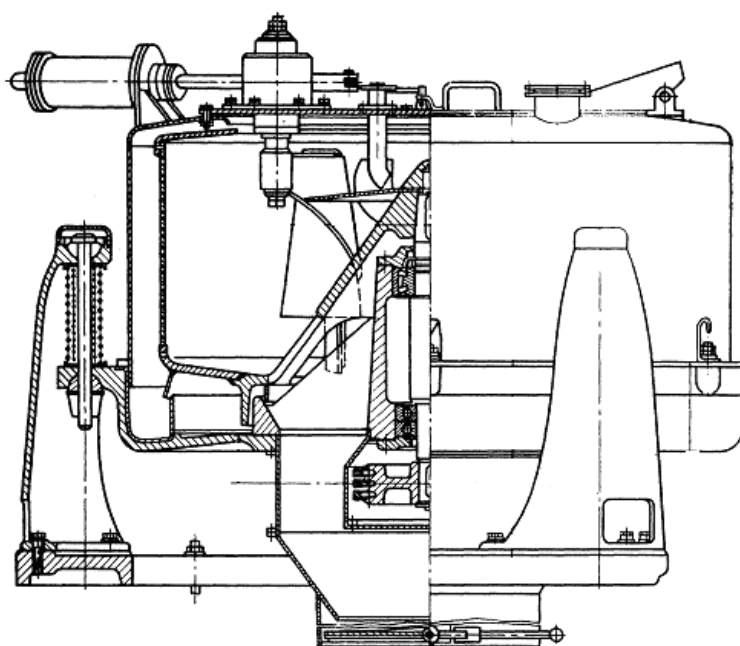


Рис. 65. Трёхколонная скребковая центрифуга



Эти узкие места частично устраняются при нижней разгрузке осадка. Сплошной ротор в таких конструкциях обеспечен перегородками, установленными вертикально и не дающими возможность жидкой среде перемещаться вдоль стенок. Он снабжён конусом распределения для направления продвижения исходной среды к его днищу, а выгрузочными скребками для осадка, горизонтальными или вертикальными пневмо- или гидроустройствами управления – для осуществления радиального поворота. При отделении осадка число оборотов ротора падает до 50–100 в минуту, после чего осадок выгружается из открытой нижней части ротора. Загрузку обрабатываемого материала, промывание, высушивание и выгрузку осадка производят автоматически при возможности варьирования роторной частоты вращения и регулирования, используя реле времени.

Отечественные установки трёхколонного типа, по сравнению с зарубежными, имеют бóльшую загрузочную способность, фактор разделения и меньшую материалоемкость.

4.2.2. Автоматические центрифуги

Конкурентоспособны автоматические подвесные установки с нижним удалением осадка. Они остаются устойчивыми при ограниченной свободе барабанных колебаний и позволяют упростить и ускорить разгрузку осадка. Опоры таких установок и их приводная станция не подвергаются коррозии ввиду исключения контакта с жидкой средой, и в них предусмотрена шарнирная подвеска роторного вала, позволяющая отклонение от вертикальной оси и самоцентрирование вращающихся узлов, поэтому такие устройства мало зависят от неравномерной роторной загрузки и динамически устойчивы. Такие установки могут быть осадительного или фильтрующего роторного типа при ручной или механизированной выгрузке осадка, где он отводится при падении скорости ротора, а при ручной – при остановке движения ротора.

На рис. 66 показана подвесная установка для очищения масляных присадок от механических примесей, которая включает ротор 7, обогреваемый кожух 6 и бункер 8 для разгрузки. Ротор загружается в непрерывном режиме через трубу 4 с калибровочным наконечником при максимальном числе оборотов ротора – 1 500 в минуту. Фугат выводится из ротора также непрерывно через подвижную трубу 3.

Осадок выводят из ротора с помощью устройства съёма 5 периодически при уменьшении скорости вращения ротора (до 100 об/мин) в бункер 8. Аппарат приводится в действие от фланцевого электродвигателя 1 с валом 2 и упругой муфтой.



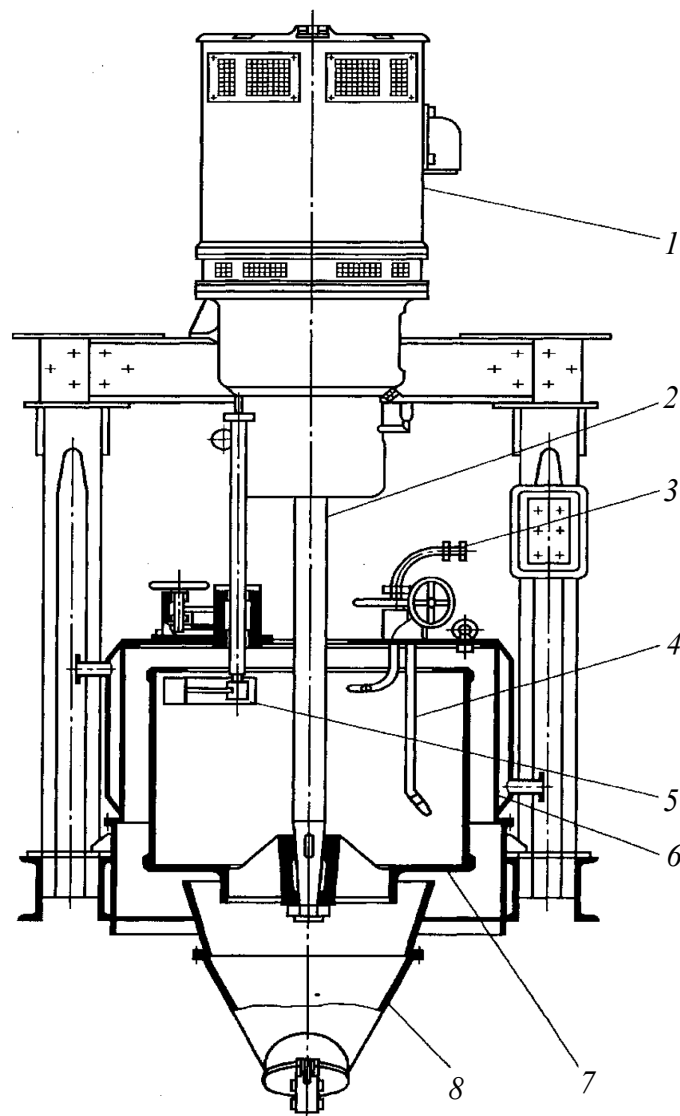


Рис. 66. Подвесной осадительный аппарат с верхним приводом и выгрузкой осадка снизу:
 1 – электродвигатель; 2 – вал; 3 – отводящая труба; 4 – загрузочная труба;
 5 – устройство для съёма осадка; 6 – кожух с паровой рубашкой;
 7 – ротор; 8 – разгрузочный бункер

В автоматических аппаратах горизонтального исполнения (рис. 67) операции загрузки/выгрузки проводят автоматически, без остановки или уменьшения числа оборотов барабана.

Такие аппараты выполняют в двух конструктивных вариантах: с фильтрующим или осадительным ротором (рис. 67). Общим для обоих вариантов является горизонтальное размещение оси ротора 6, вал 8 которого находится в подшипниках 7, расположенных в станине 9. Аппарат приводится от электродвигателя 11 через клиноременную передачу 10. На передней крышке конструкции установлен механизм съёма осадка 3, бункер выгрузки 1, загрузочная труба 2. В кожухе 5 имеется люк доступа к ротору для замены и ремонта сит фильтрующих аппаратов и воздушник 4 для отвода парогазовых смесей из внутреннего пространства кожуха.



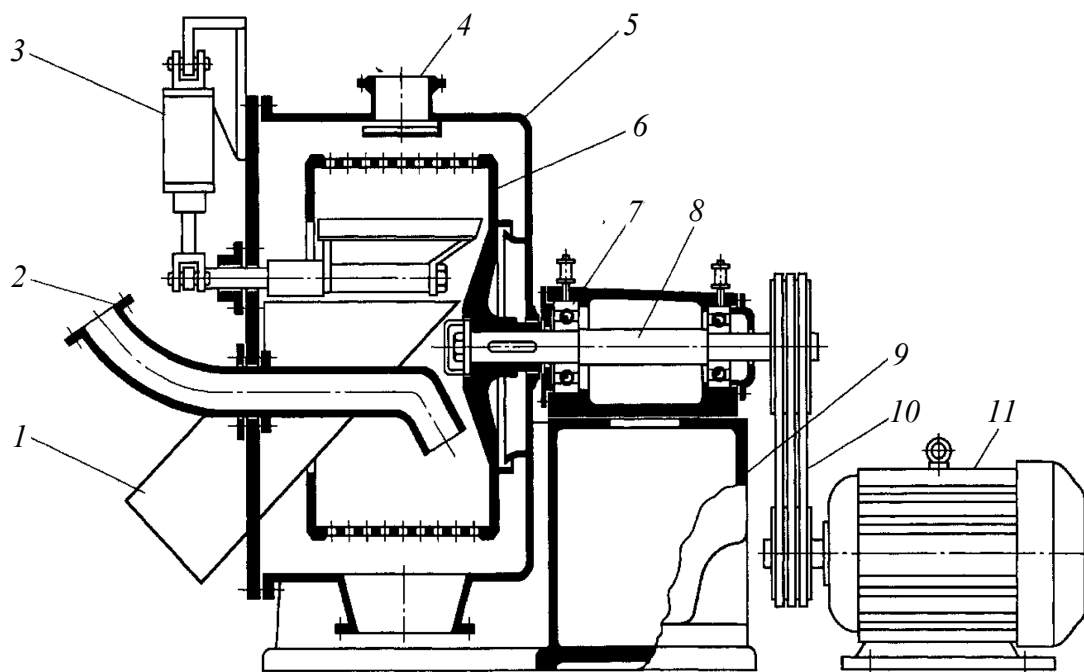


Рис. 67. Горизонтальный агрегат с ножевым съёмом осадка:
 1 – разгрузочный бункер; 2 – загрузочная труба; 3 – механизм съёма осадка;
 4 – воздушник; 5 – кожух; 6 – ротор; 7 – опоры вала; 8 – вал; 9 – станина;
 10 – клиноременная передача; 11 – электродвигатель

Ротор в фильтрующих аппаратах является сварным с перфорированной обечайкой. Внутри ротора посредством колец и планок установлены фильтрующее и дренажное сита. В зависимости от вида исходной суспензии можно фильтрующие сита заменить фильтрующими тканями.

Ротор осадительных аппаратов является сплошным. В отличие от фильтрующих осадительные агрегаты имеют устройство вывода осветлённой жидкой фазы, скомпонованное из выводной трубы с гидроцилиндром и дросселем для регулировки скорости её поворота.

Основным достоинством горизонтальных аппаратов с ножевым съёмом осадка является возможность ведения всех стадий технологического процесса автоматически при неизменном числе оборотов ротора. Недостатками такого варианта проведения процесса можно считать измельчение кристаллов при съёме осадка и трудность регенерирования фильтровальной перегородки при работе с суспензиями, включающими нерастворимую твёрдую фазу.

4.2.3. Центрифуги непрерывного действия

В центрифугах непрерывного действия все операции проводятся на полном ходу. Эти центрифуги являются наиболее экономными по использованию времени и энергии, поэтому они получают в последнее время всё большее распространение.



Фильтрующая центрифуга с пульсирующей выгрузкой осадка (рис. 68). Пульпа непрерывно направляется в узкую часть конуса 5 при его вращении, передвигается по конусу с возрастающей скоростью и отбрасывается на сетчатые стенки барабана 2.

Под действием центробежной силы жидкая фаза проходит через слой осадка и перегородку 3 в барабанный кожух 1, откуда проводится отвод фильтрата. Осадок продвигается под действием поршня 4, вращающегося совместно с барабаном и автоматически пульсирующего, совершая до 15–20 двойных проходов в минуту с ходом поршня до 40–50 мм, и таким образом непрерывно проталкивает осадок из барабана через патрубок 7.

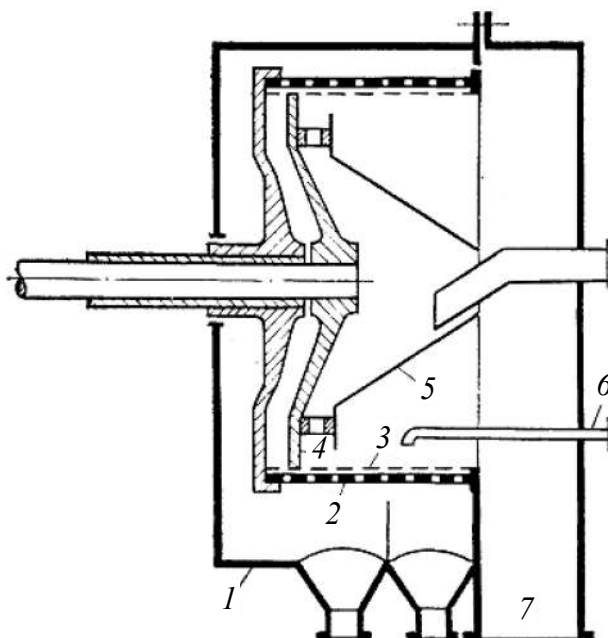


Рис. 68. Фильтрующий аппарат с пульсирующей разгрузкой осадка:
1 – кожух; 2 – сетчатый барабан; 3 – фильтровальная перегородка; 4 – поршень;
5 – конус; 6 – водяной патрубок; 7 – патрубок для выхода осадка

Такое системно направленное перемещение осадок имеет по причине заполнения пространства перед поршнем поступающей пульпой и вновь выделяемым осадком при возвратном перемещении поршня.

Осадок сдвигается поршнем по всей длине аппарата. При продвижении к выходу он может промываться водой, подаваемой по трубе 6, с возможностью её сбора отдельно от фильтрата.

Недостатком непрерывно действующих центрифуг является забивка фильтрующего полотна и истирание его движением осадка. Тканевые фильтровальные перегородки в данном случае применять нельзя. Поэтому используются металлические пробивные сетки с узкими щелями шириной 0,25 мм и менее (рис. 69). Коническая (против фильтрования) форма прорезей в сечении листа предупреждает заклинивание частиц в сетке.



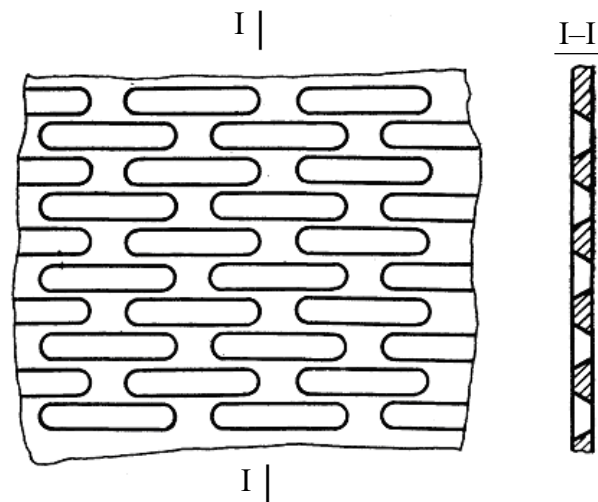


Рис. 69. Металлическая пробивная сетка с узкими щелями

Из-за таких крупных отверстий данные центрифуги применяются только для крупнозернистых осадков, для которых они и рекомендованы.

Осадительные аппараты горизонтального исполнения со шнековой разгрузкой осадка (рис. 70). Общим для таких аппаратов является горизонтальное размещение оси ротора 3 конического или цилиндроконического вида соосно со шнеком 4, которые вращаются в одну сторону, но с разной скоростью, что обеспечивает передвижение осадка посредством шнека вдоль ротора.

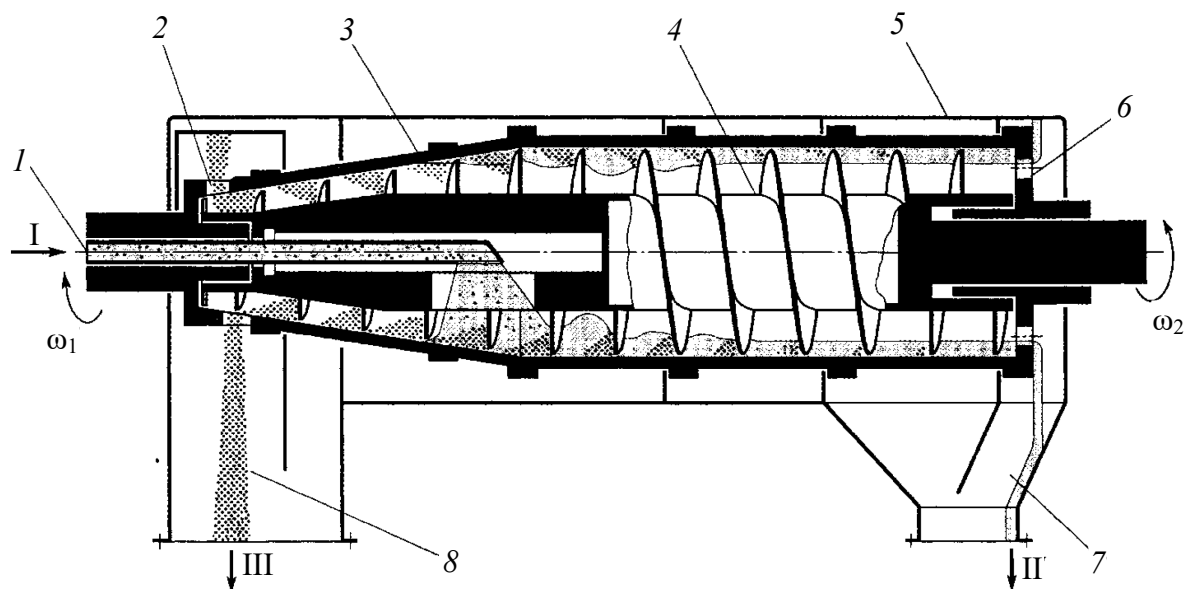


Рис. 70. Осадительный аппарат горизонтального исполнения со шнековым выводом осадка:

1 – питающая труба; 2 – окна выгрузки; 3 – ротор; 4 – шнек; 5 – кожух; 6 – окна слива;

7 – камера для фугата; 8 – камера для осадка;

I – суспензия; II – фугат; III – осадок

Ротор расположен на двух опорах и приводится в движение электродвигателем через планетарный редуктор. Исходная суспензия подаётся через трубу 1 во внутреннее пространство шнека и через окна шнековой обечайки в ротор. Под действием центробежной силы проводится разделение при оседании твёрдых частиц на стенках ротора.

Осадок передвигается шнеком к разгрузочным окнам 2, размещённым в узкой роторной части. Фугат перетекает в противоположную сторону к окнам слива 6, сливается через порог и выводится из ротора.

Диаметр порога можно менять посредством сменных заслонок или поворотных шайб. Ротор закрывают кожухом 5 с перегородками, разделяющими камеру 7 (для фугата) и камеру 8 (для осадка).

Осадительные аппараты со шнековым выводом осадка чаще используются с целью разделения смесей со смешивающейся твёрдой фазой или обезвоживания кристаллических и зернистых материалов, их классификации и осветления суспензий. Такие аппараты применяют, к примеру, на первой ступени сепарации при переработке нефтешламов.

Основным преимуществом данных установок является непрерывность и большая производительность при сравнительно малых энергозатратах и металлоёмкости. Недостатками можно считать низкую степень обезвоживания осадка, отсутствие возможности проведения его качественного промывания, а также износ шнека и ротора при работе с абразивными материалами.

4.2.4. Сверхцентрифуги

При обработке стойких эмульсий и осветлении смесей, имеющих мало-значительное содержание твёрдых тонкодисперсных примесей, целесообразно увеличение фактора разделения, т. к. механические напряжения в материале ротора растут пропорционально окружной скорости в квадрате, что лимитирует рост фактора и обуславливает его увеличение путём роста скорости и уменьшения диаметра ротора.

Соблюдение этого условия привело к разработке трубчатых аппаратов или сверхцентрифуг с внутренним диаметром ротора от 105 до 150 мм и скорости вращения соответственно 15 000 и 13 500 об/мин. Для роста продолжительности нахождения обрабатываемой среды в таком агрегате обеспечивают высоту ротора в 5–7 раз больше его диаметра.

Данные аппараты комплектуют осветляющим или сепарирующим ротором (рис. 71). Общим для подобных центрифуг является наличие трубчатого ротора 1, подвешенного на валу 4, при вращении вокруг вертикальной оси с плавающей нижней опорой скольжения. Трёхлопастная крыльчатка 2 приводит разделяемую среду во вращательное движение со скоростью, равной угловой скорости ротора.



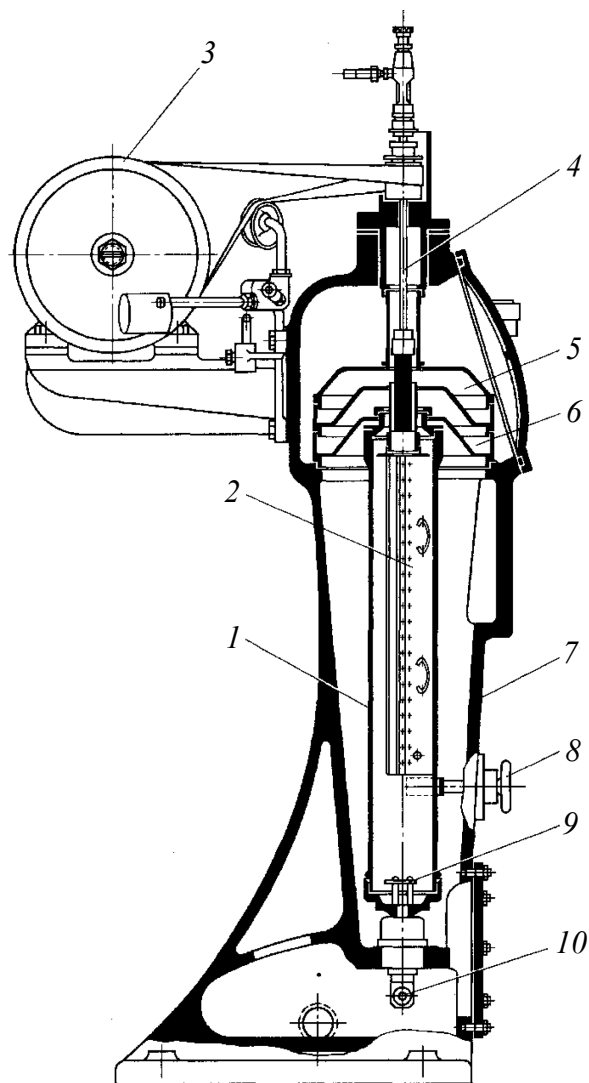


Рис. 71. Сверхцентрифуга для эмульсий:

1 – ротор; 2 – крыльчатка; 3 – электродвигатель; 4 – вал; 5 – верхняя тарелка слива; 6 – нижняя тарелка слива; 7 – станина; 8 – тормоз; 9 – отбойный диск; 10 – входная труба

Станина 7 выполнена в виде литого чугунного корпуса, который является также защитным кожухом. Аппарат приводится от электродвигателя 3 в верхней корпусной части через плоскоременную передачу с натяжным механизмом.

Во время работы аппарата эмульсия поступает через сопло входной трубы 10 в низ ротора. При этом струйный поток отскакивает от отбойного диска 9 к роторным стенкам. Эмульсия при вращении вместе с ротором проходит вдоль его стенок вверх и делится на тяжёлую и лёгкую жидкие фазы. Тяжёлая фаза перемещается через отверстия головки, находящиеся у роторной стенки, направляется в нижнюю тарелку слива 6 и через патрубок удаляется из аппарата.

Лёгкая фаза перемещается через отверстия головки, находящиеся у роторной оси, собирается в верхней тарелке слива 5 и отводится по патрубку. Расположение поверхности раздела между тяжёлой и лёгкой фазами регулируется сменной кольцевой диафрагмой.



При регулировке роторной головки и периодической выгрузке осадка сверхцентрифуги используют, кроме того, для разделения суспензий с малым содержанием твёрдых частиц.

Жидкостные сепараторы являются одним из вариантов оборудования для центробежного разделения жидких бинарных систем под действием центробежной силы. По механизму протекания процесса и его движущей силы такие аппараты близки к центрифугам.

На рис. 72 показан тарельчатый сепаратор с пульсирующей центробежной саморазгрузкой осадка.

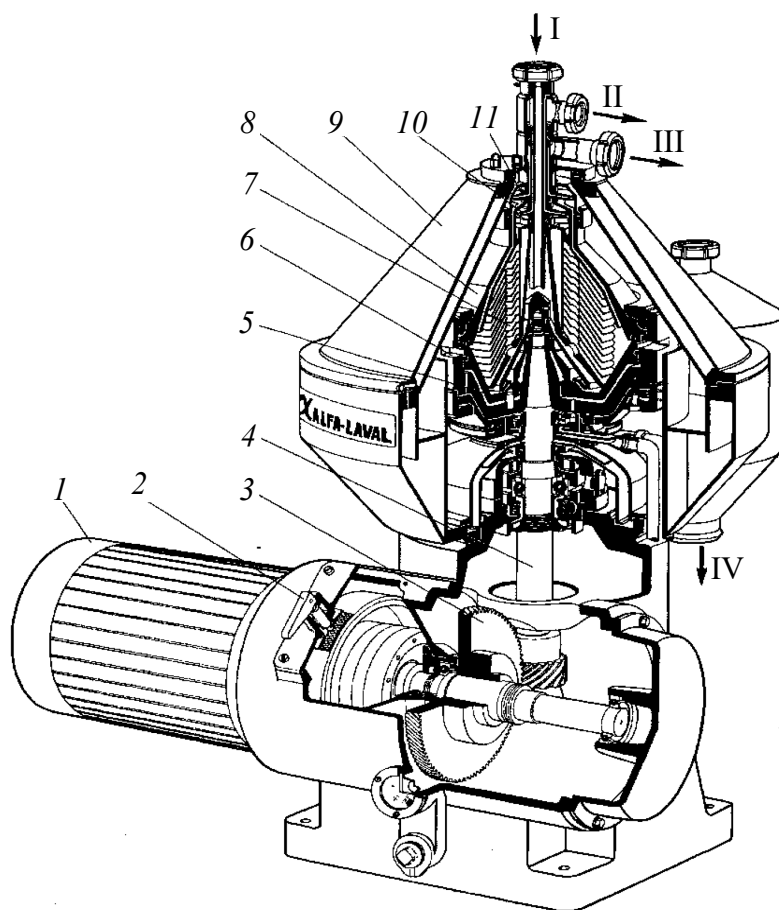


Рис. 72. Тарельчатый сепаратор с саморазгрузкой фирмы «Альфа-Лаваль»:
 1 – электродвигатель; 2 – тормоз; 3 – червячный редуктор; 4 – вал; 5 – подвижное днище;
 6 – щели разгрузки; 7 – пакет тарелок; 8 – ротор; 9 – кожух;
 10 – напорный диск для лёгкой фазы; 11 – напорный диск для тяжёлой фазы;
 I – исходная жидкость; II – лёгкая фаза; III – тяжёлая фаза; IV – осадок

На вертикальном валу 4 размещён ротор 8, в котором находится пакет 7 тонкостенных вставок-тарелок с рядом отверстий по круглому периметру. Вставки скомпонованы таким образом, чтобы отверстия совпадали с образованием сквозных каналов, куда направляется исходный материал через центральный патрубок. В роторном корпусе имеется подвижное днище 5 для периодического опускания и открытия щелей разгрузки 6.



Под действием центробежной силы из щелей выводится осадок, который собирают в кожухе 9 и отводят из аппарата. Для вывода лёгкой и тяжёлой фазы применяют неподвижные напорные диски 10 и 11. Сепаратор приводится от электродвигателя 1 посредством червячного редуктора 3.

Перед началом сепарирования в трёхфазных тарельчатых сепараторах (рис. 73) по каналу 11 подаётся под подвижное днище 1 буферная вода. Под действием гидростатического давления днище, поднимаясь, плотно соединяется с роторной крышкой 3, перекрывая щели для разгрузки 2. Исходная суспензия направляется в центр ротора и по сквозным каналам распределяется между тарелками 4. Сепарирование проводят в пакете тарелок из 50–200 шт. в зависимости от габаритов аппарата. Осветлённая жидкость движется к оси вращения и отводится из ротора напорным диском 6. Вода с частицами осадка движется к периферии ротора. При выходе из пакета тарелок вода выводится по каналам между разделительной тарелкой 5 и роторной крышкой к напорному диску 7. После образования в шламовом пространстве заданного количества осадка его выводят из ротора.

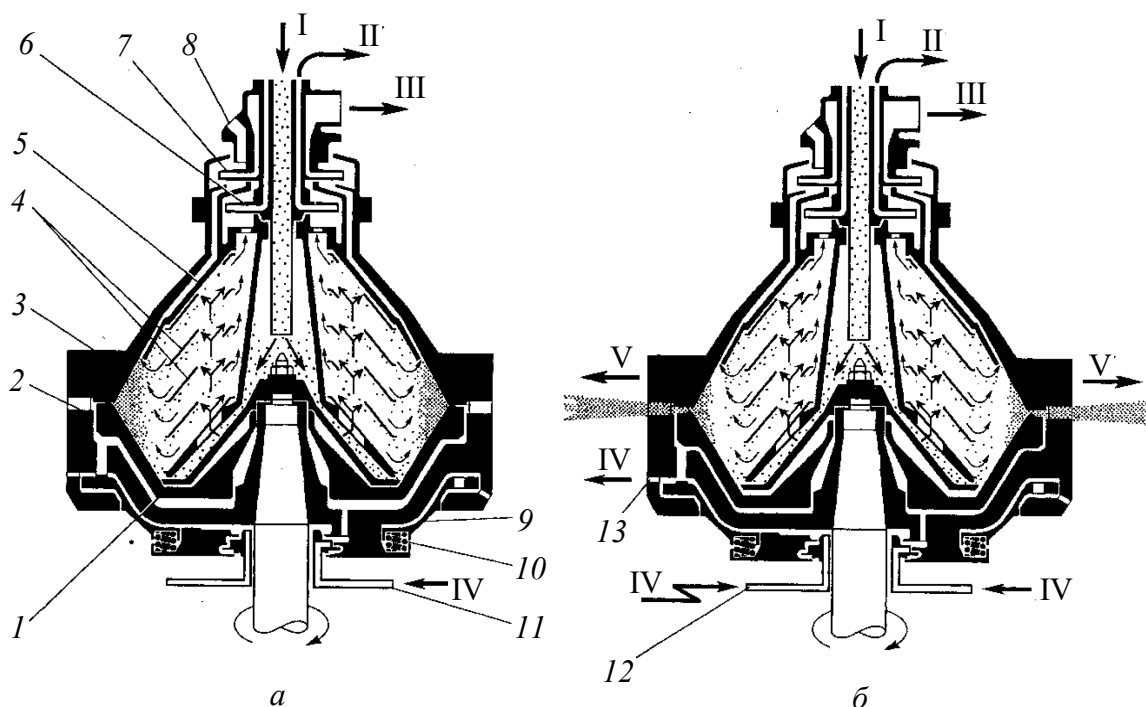


Рис. 73. Схема функционирования ротора тарельчатого сепаратора с саморазгрузкой фирмы «Альфа-Лаваль»:

- а* – сепарирование; *б* – разгрузка; 1 – подвижное днище; 2 – щели разгрузки;
 3 – роторная крышка; 4 – тарелки; 5 – разделительная тарелка;
 6 – напорный диск для жидкости; 7 – напорный диск для воды;
 8 – канал для подвода промывной воды; 9 – вспомогательный поршень; 10 – пружина;
 11, 12 – каналы для подвода буферной воды; 13 – сливной канал;
 I – суспензия; II – осветлённая жидкость; III – вода; IV – буферная вода; V – осадок



Сначала прекращают водоотведение из аппарата и по каналу 8 подводят промывочную воду в объёме, равном объёму выгружаемого осадка. Поверхность раздела лёгкой и тяжёлой среды сдвигается внутрь пакета тарелок так, чтобы при открывании щелей разгрузки сократить жидкостные потери с осадком и водой.

После подготовки ротора к разгрузке по каналу 12 при непродолжительном импульсе в камеру над вспомогательным поршнем 9 поступает буферная вода. Гидростатическое давление компенсирует пружинную силу 10 и вспомогательный поршень, при опускании открывает каналы для слива 13. При гидростатическом давлении подвижное днище продвигается вниз, открыв щели для выгрузки воды и осадка.

В течение разгрузки подвод суспензии не останавливается. Щели открываются на 0,1 с для выброса заданного объёма воды и осадка.

По окончании разгрузки вспомогательный поршень под действием пружин передвигается вверх, закрывая каналы слива 13. По каналу 11 вода направляется под подвижное дно, которое возвращается в верхнее положение, закрывая щели разгрузки 2. Перекрывается подвод промывочной воды по каналу 8 и продолжается сепарирование.

Сепаратор снабжён программным регулятором. Все операции проводятся в заданной последовательности посредством электронных датчиков. Сигнальная система даёт возможность наблюдать за выходным давлением, исправностью разгрузочной системы, напряжением в сети, температурой и вибрацией при сепарировании.

Тесты для контроля знаний

1. *Под действием какой силы проводят разделение неоднородных жидких систем в центрифугах?*

- А. Гравитационной.
- Б. Силой инерции.
- В. Центробежной.
- Г. Разделением в электрическом поле.

2. *Какому параметру прямо пропорционален фактор разделения?*

- А. Частоте вращения барабана.
- Б. Ускорению свободного падения.
- В. Внешнему радиусу барабана.
- Г. Весу разделяемого материала.

3. *Чему равен индекс производительности центрифуги?*

А. Произведению площади цилиндрической поверхности на величину центробежной силы.

Б. Произведению площади цилиндрической поверхности на фактор разделения.



В. Произведению площади цилиндрической поверхности на угловую скорость барабана.

Г. Произведению площади цилиндрической поверхности на внутренний радиус барабана.

4. По какому принципу классифицируют аппараты для центрифугирования на установки периодического и непрерывного действия?

- А. Разделения.
- Б. Способу выгрузки осадка.
- В. Механизму течения процесса.
- Г. Технологическому назначению.

5. К аппаратам какого типа относят трёхколонную центрифугу?

- А. Непрерывного действия.
- Б. Периодического действия.
- В. Полунепрерывного действия.

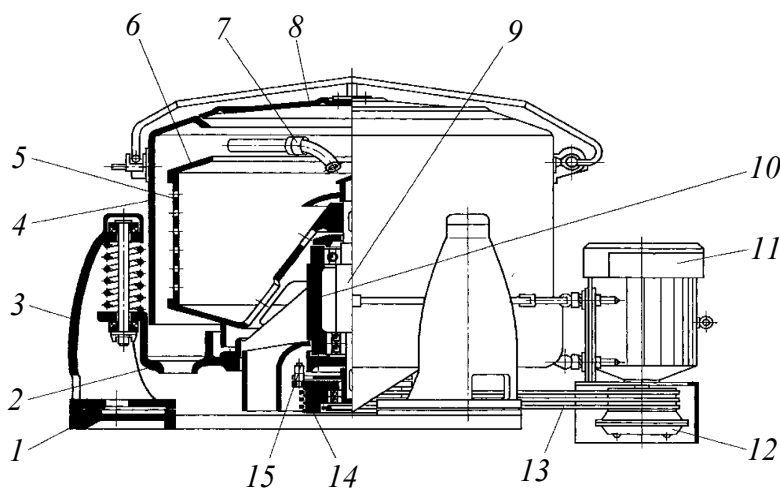
6. Каков общий признак горизонтальных центрифуг?

- А. Вертикальное размещение роторной оси.
- Б. Наклонное размещение роторной оси.
- В. Наличие разгрузочного бункера.
- Г. Горизонтальное расположение оси ротора.

7. Какое значение фактора разделения у нормальных центрифуг?

- А. $\Phi_p < 3\ 500$.
- Б. $\Phi_p > 3\ 500$.
- В. $\Phi_p = 0$.

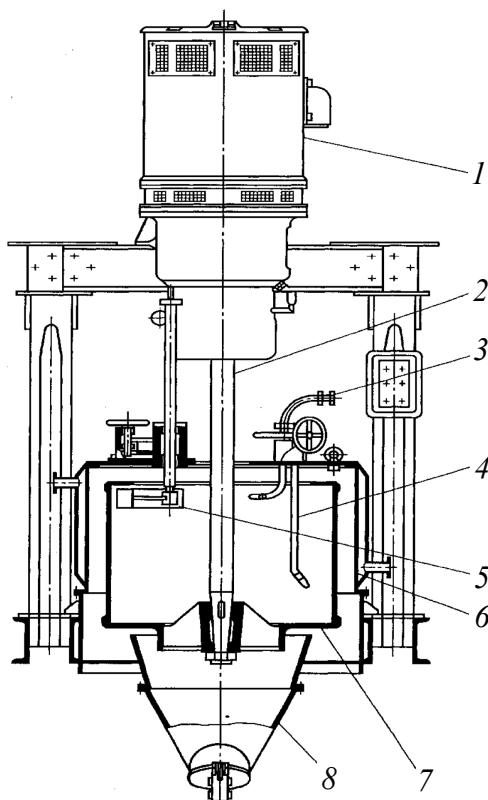
8. Какой позицией на рисунке обозначен ротор фильтрующей маятниковой центрифуги?



- А. 7.
- Б. 5.
- В. 4.
- Г. 9.



9. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?

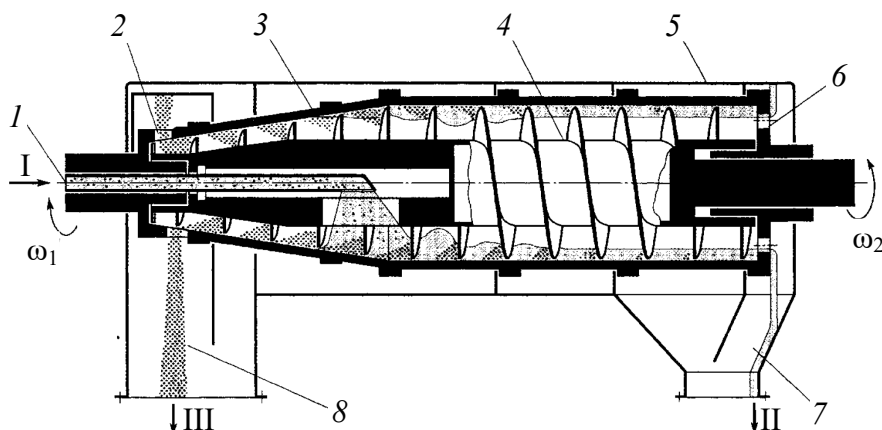


- А. Маятниковой фильтрационной центрифуги с разгрузкой осадка снизу.
- Б. Подвесной осадительной центрифуги с приводом сверху и разгрузкой осадка снизу.
- В. Горизонтальной центрифуги с ножевым съёмом осадка.
- Г. Карусельного вакуум-филтра К-50.

10. К аппаратам какого типа относят осадительную горизонтальную центрифугу со шнековой выгрузкой осадка?

- А. Непрерывного действия.
- Б. Периодического действия.
- В. Полунепрерывного действия.

11. Каким потоком обозначен фугат на осадительном аппарате горизонтального исполнения со шнековым выводом осадка?



- А. III.
- Б. II.
- В. I.
- Г. II и III.

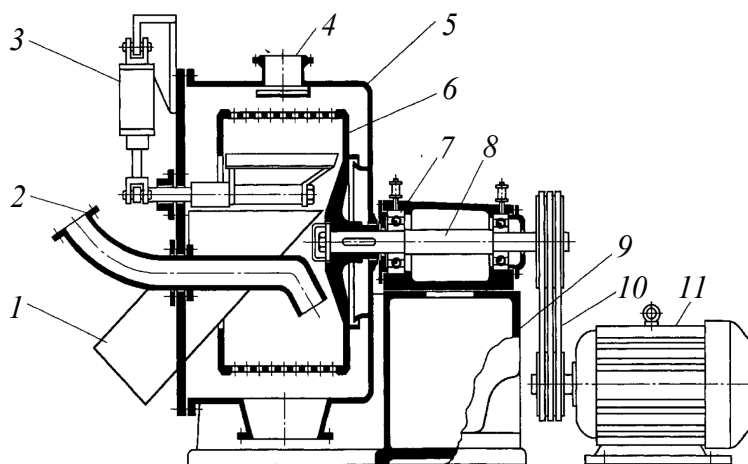
12. Какой позицией обозначена камера для осадка на рисунке? (Вопрос 11)

- А. 8.
- Б. 7.
- В. 3.
- Г. 1.

13. Какое значение фактора разделения у сверхцентрифуг?

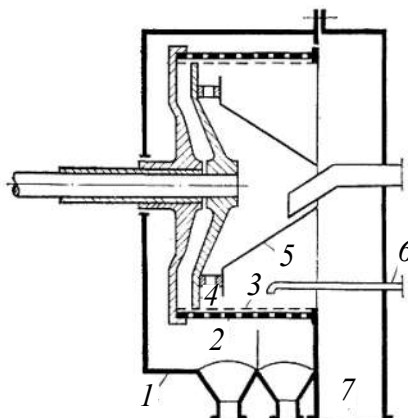
- А. $\Phi_p < 3\,500$.
- Б. $\Phi_p > 3\,500$.
- В. $\Phi_p = 0$.

14. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?



- А. Маятниковой фильтрационной центрифуги с разгрузкой осадка снизу.
- Б. Подвесной осадительной центрифуги с приводом сверху и разгрузкой осадка снизу.
- В. Горизонтальной центрифуги с ножевым съёмом осадка.
- Г. Фильтрующей центрифуги с пульсирующей разгрузкой осадка.

15. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?

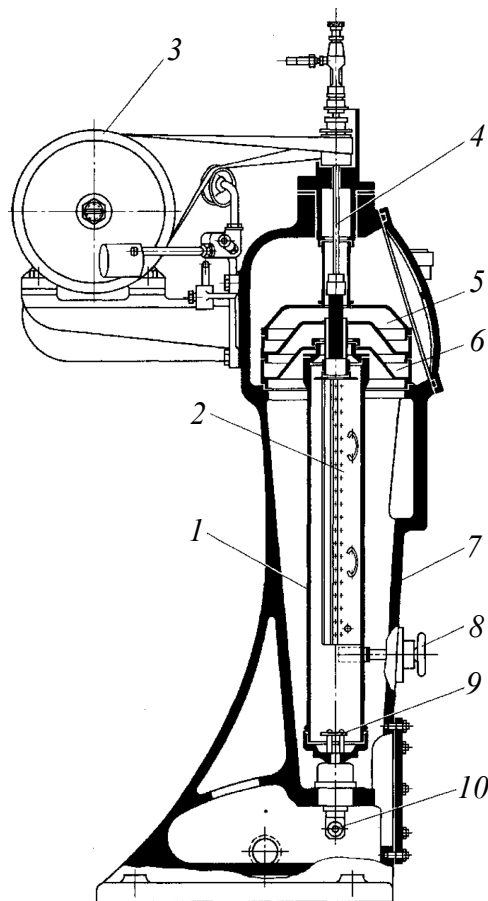


- А. Фильтрующей центрифуги с пульсирующей разгрузкой осадка.
- Б. Подвесной осадительной центрифуги с приводом сверху и разгрузкой осадка снизу.
- В. Горизонтальной центрифуги.
- Г. Центрифуги со шнековой разгрузкой осадка.

16. Какой позицией обозначен поршень на рисунке? (Вопрос 15)

- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 4.

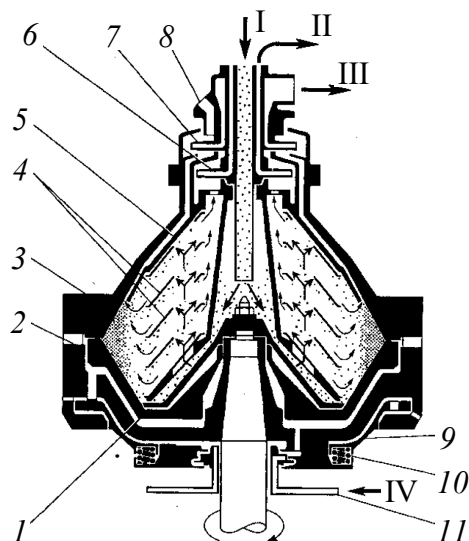
17. Какой позицией обозначена питающая труба на сверхцентрифуге для эмульсий?



- А. 7.
- Б. 4.
- В. 5.
- Г. 10.

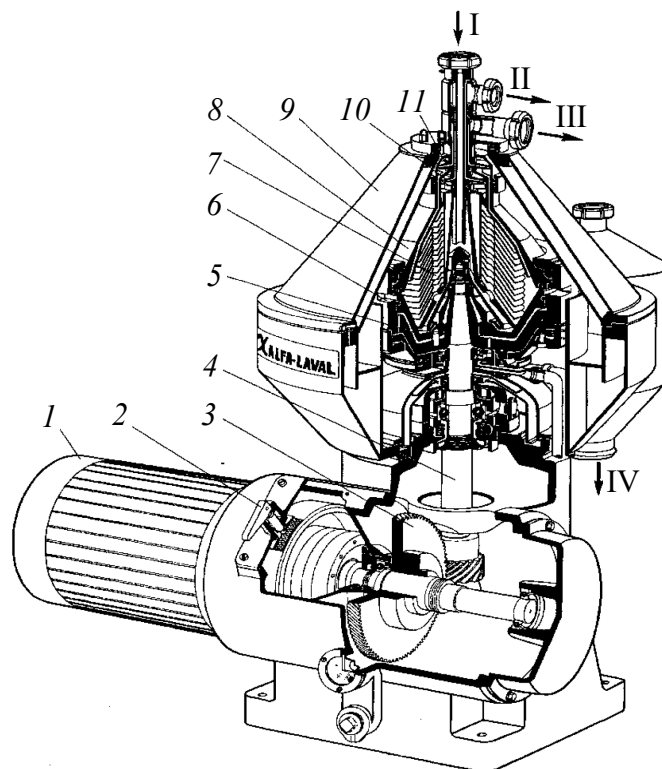


18. Каким потоком обозначена осветлённая жидкость на рисунке?



- А. III.
- Б. II.
- В. I.
- Г. IV.

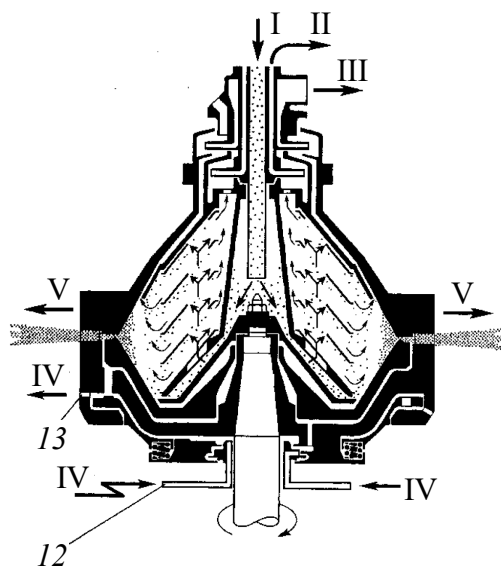
19. Какой позицией обозначен пакет тарелок на тарельчатом сепараторе с саморазгрузкой фирмы «Альфа-Лаваль» на рисунке?



- А. 7.
- Б. 8.
- В. 4.
- Г. 9.



20. *Каким потоком обозначен осадок на рисунке?*



- А. III.
- Б. II.
- В. V.
- Г. IV.



5. МЕШАЛКИ ДЛЯ ЖИДКОСТИ

5.1. Общие сведения

Перемешивания жидких сред проводят для получения растворов, эмульсий или суспензий с целью равномерного объёмного фазового распределения, смешивания компонентов при их тесном взаимном контакте. Этот процесс используют при производстве масла, смазки, присадок, смазочных и охлаждающих средств, жирных синтетических кислот, обессоливании сырой нефти, хлорировании углеводородов, охлаждении лаков, красок и т. д.

Получаемая смесь может быть как готовым продуктом, так и полуфабрикатом для использования в последующем технологическом процессе. Данный процесс применяется для повышения эффективности тепло- и массообмена, химических реакций (к примеру, при обработке нефтяных материалов щелочами или иными реагентами).

Выбор методов и аппаратов для перемешивания осуществляется на основании оценки их эффективности и интенсивности.

Под эффективностью такого процесса подразумевают технологический эффект и качественные параметры его проведения. К примеру, при получении эмульсий или суспензий эффективность обусловлена равномерностью объёмного распределения дисперсных частиц, при проведении химико-технологических процессов – степенью преобразования или расходом реагентов, а при интенсификации тепло- и массообмена – соотношением коэффициентов тепло- и массоотдачи при перемешивании и без него.

Интенсивность операции перемешивания оценивают по удельным энергозатратам в единицу времени к объёму или массе обрабатываемой среды.

5.2. Типовые конструкции

Известен ряд способов перемешивания: механическое, барботажное (путём пропускания газа через жидкостной слой) и гидравлическое (путём совместного перемещения смешиваемых потоков в трубах, насосных станциях или специализированных смесителях).

Наиболее широкое использование получило механическое перемешивание с помощью различных механических рабочих органов, реже из-за ряда недостатков – пневматическое.

5.2.1. Механическое перемешивание

Рабочие органы, а иногда и сами аппараты для перемешивания механическим путём называют мешалками, которые подразделяют на лопастные, пропеллерные, турбинные и специальные.



Лопастные мешалки используют для перемешивания жидких сред сравнительно малой вязкости – до $0,01 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$, процессов растворения и суспендирования твёрдых компонентов с малой плотностью и, кроме того, для грубого смешивания жидких сред с вязкостью меньше $2 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$. Такие перемешивающие устройства не применяются для быстрого растворения, тонкого диспергирования и получения суспензий с твёрдой фазой большой плотности.

Пропеллерные перемешивающие устройства используют для маловязких жидких сред, взмучивания осадков с содержанием твёрдой фазы до 10% , с размерами частичек до $0,15 \text{ мм}$, получения суспензий и эмульсий. Такие перемешивающие устройства не применимы для высоковязких жидких сред (вязкость более $0,06 \text{ кг}/(\text{м}\cdot\text{с})$), содержащих твёрдую фазу большой плотности.

Турбинные перемешивающие устройства используют для интенсивного перемешивания и смешивания жидких сред с вязкостью до $1,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$ в аппаратах открытого типа при вязкости $5,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$, а также в закрытых аппаратах; для получения тонкодисперсных сред, быстрого растворения или выделения больших объёмов ($5\text{--}6 \text{ м}^3$ и более) осадков. Эти перемешивающие устройства применяют для взмучивания осадков в жидких средах, включающих до 60% твёрдой составляющей (открытые аппараты) и больше (закрытые аппараты), причём максимальные размеры дисперсных частичек – до $1,5 \text{ мм}$ для открытых аппаратов и до $2,5 \text{ мм}$ для закрытых.

Специальные перемешивающие устройства используют, если применение лопастных, пропеллерных или турбинных нецелесообразно. К примеру, для перемешивания высоковязких жидких и пастообразных сред применяют ленточные перемешивающие устройства, которые при вращательном движении очищают реакторные стенки от налипшего реакционного вещества. Для проведения газожидкостных реакций используют перемешивающие устройства в виде барабана с лопастями, имеющего форму беличьего колеса, и др.

С точки зрения гидродинамики перемешивание можно условно свести к внешней задаче при движении твёрдых тел в потоке набегающей жидкой фазы. Лопасти перемешивающего устройства при вращательном движении выполняют работу, затрачиваемую на преодоление сил сопротивления инерции и трения со стороны жидкости. Удельная величина этих усилий различна в момент пуска и рабочий период функционирования перемешивающего устройства. При пуске перемешивающего органа его лопасти встречают особенно значительное сопротивление со стороны жидкой фазы. Кроме того, работа затрачивается на преодоление массовой инерции. По мере работы перемешивающего устройства энергия все более тратится на преодоление внутренних сопротивлений в жидкой среде (при трении, вихревых движениях, соударении жидкой среды и стенок и т. д.). Пусковая мощность больше рабочей. Так как пусковой период сравнительно мал, двигатель подбирают по рабочей мощности с возможностью кратковременного роста крутящего



момента на его валу в период пуска. Существующие зависимости для определения мощности на привод перемешивающих устройств недостаточно корректны, т. к. в них не учтены энергозатраты, обусловленные шероховатой поверхностью стенок и присутствием дополнительных устройств в агрегате (змеевиков, гильз, перегородок и т. д.).

Для выбора мощности часто её рабочую величину просто увеличивают в 1,5–2 раза и более. Обобщая вышесказанное, целесообразно выбирать мощность для нормальной работы перемешивающего устройства, используя выражения для периода пуска.

Лопастные перемешивающие устройства сравнительно просты конструктивно и требуют меньших затрат при изготовлении.

Наиболее конструктивно просты перемешивающие устройства с плоскими лопастями из полосового или углового металла, размещёнными перпендикулярно или наклонно к направлению их перемещения (рис. 74). Число оборотов таких перемешивающих устройств варьируется в пределах от 18 до 80 в минуту. При росте скорости вращения больше заданной эффективность перемешивания существенно уменьшается. Значение диаметра лопастей составляет примерно 0,7 от диаметра ёмкости, в которой работает перемешивающее устройство.

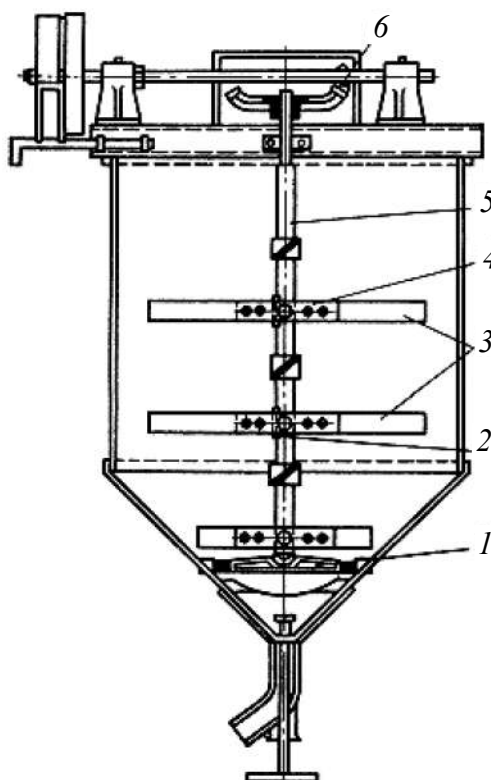


Рис. 74. Лопастная мешалка:

1 – подпятник; 2 – шпонка; 3 – лопасть; 4 – накладка; 5 – вал; 6 – зубчатая передача

На рис. 75 показаны лопастные мешалки.



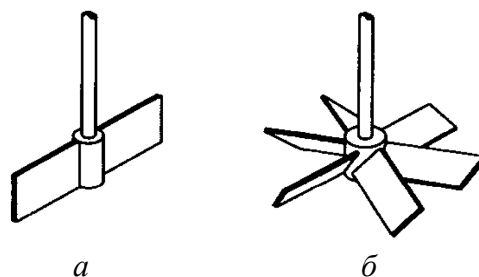


Рис. 75. Мешалки:
а – лопастная; *б* – с наклонными лопастями

При вращательном движении лопастей на поверхности жидкой среды может появиться воронка (рис. 76), которая уменьшает эффективность контакта фаз. Для устранения такого явления на внутренней стенке обечайки устанавливают вертикально расположенные отражательные перегородки (обычно 4 шт.) с шириной H , приблизительно равной $0,1D$. Они предотвращают горизонтальное вращение жидкого кольца и способствуют её вертикальной циркуляции.

Для повышения эффективности перемешивания применяют рамные устройства с горизонтальными и вертикальными лопастями (рис. 77).

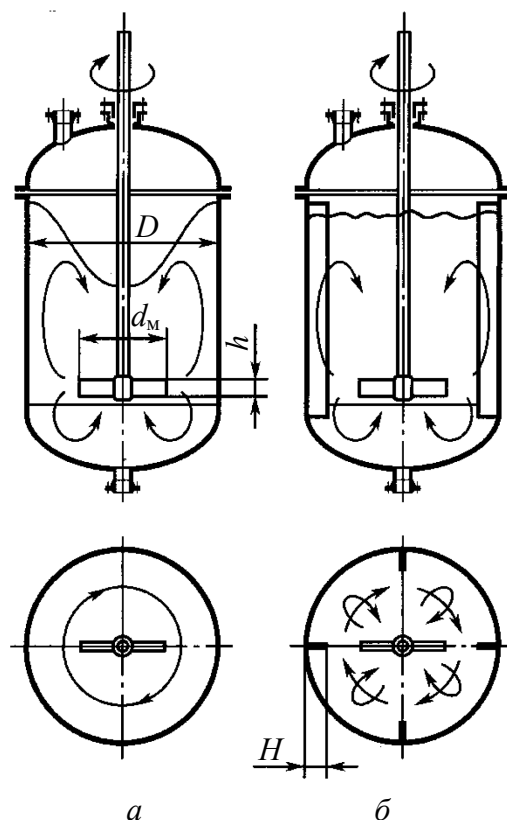


Рис. 76. Схема жидкостных потоков в перемешивающем устройстве:
а – без отражательных перегородок; *б* – с перегородками



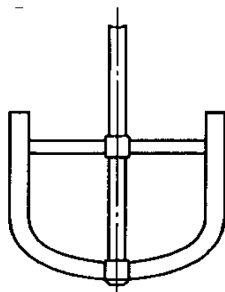


Рис. 77. Рамное перемешивающее устройство

При необходимости интенсифицировать теплообмен целесообразны удаление осадка на стенках агрегата или турбулизация жидкой среды у теплообменной поверхности. В таком случае используют якорные перемешивающие устройства, внешний контур которых повторяет очертания дна и обечайки аппарата.

На рис. 78 показано якорное перемешивающее устройство, а на рис. 79 – якорный рабочий орган.

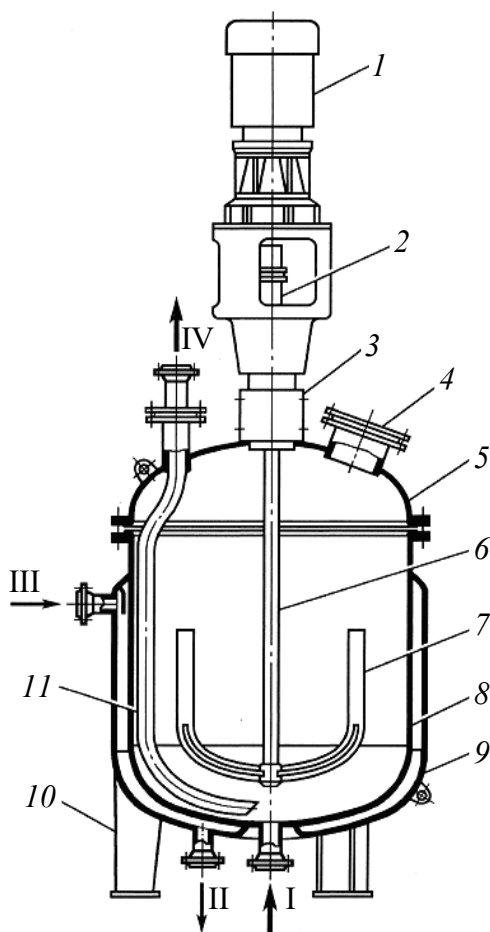


Рис. 78. Якорная мешалка:

- 1 – мотор-редуктор; 2 – муфта; 3 – уплотнение; 4 – люк; 5 – крышка; 6 – вал; 7 – якорь;
 8 – корпус; 9 – рубашка; 10 – опора; 11 – труба передавливания;
 I – исходная среда; II – выход теплоносителя (хладагента);
 III – вход теплоносителя (хладагента); IV – выход продукта



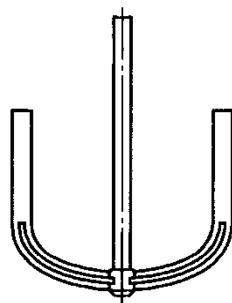


Рис. 79. Якорь

К узким местам лопастных устройств можно отнести низкую интенсивность перемешивания для густых и вязких жидких сред, а также невозможность перемешивания расслаивающихся материалов.

Для интенсивного, равномерного по объёму перемешивания при рециркуляции используют пропеллерные рабочие органы в виде двух-, трёх- или четырёхлопастного винта или пропеллера, лопасти которого по ширине последовательно расширяются и сужаются, а угол их наклона меняется (рис. 80). Они формируют интенсивное движение по оси своего вращения. Для упорядоченности циркуляции жидкой среды в смесителе пропеллер размещают в направляющей трубе или диффузоре, где жидкая среда перемещается вниз или вверх, в кольцевом зазоре между корпусом и диффузором (рис. 81). При работе такого устройства сквозь диффузор перемещается заданное количество жидкой среды.

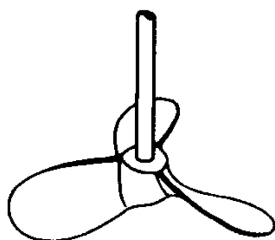


Рис. 80. Пропеллерный рабочий орган мешалки

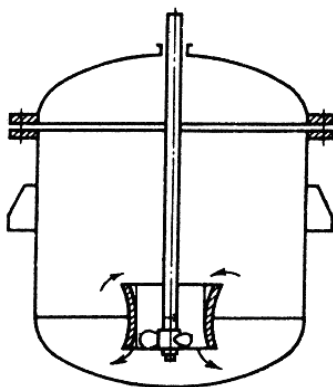


Рис. 81. Пропеллерное перемешивающее устройство с диффузором

У турбинных устройств рабочим органом является лопастное колесо (турбина), по подобию с центробежными насосами с загнутыми или прямыми лопастями. Турбины изготавливаются в открытом или закрытом испол-



нении. По принципу действия открытые турбины незначительно отличаются от лопастных перемешивающих устройств. Закрытые турбины формируют в корпусе мешалки упорядоченную циркуляцию жидкости, в особенности при использовании направляющего устройства, и обеспечивают такие условия, при которых жидкие струи, всасываемые в центре и выводимые по периферии корпуса, проникают во все части аппарата. Перемена направленности движения среды с вертикального на радиально-горизонтальное происходит при минимуме потерь кинетической энергии. Число оборотов турбин варьируется в интервале 400–2 000 в минуту.

На рис. 82 показаны конструктивные особенности турбинных перемешивающих устройств.

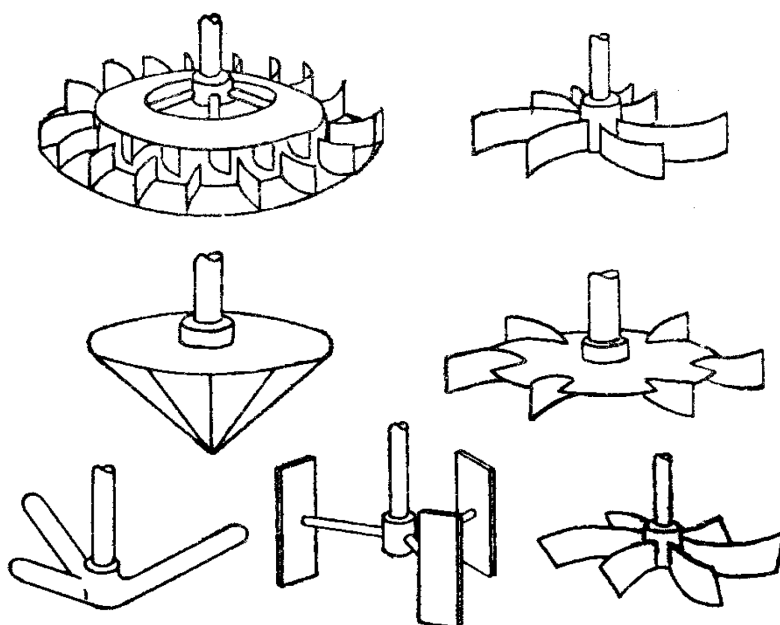


Рис. 82. Конструктивные особенности турбинных устройств

Низкоскоростные ленточные и шнековые устройства используют при перемешивании неньютоновских жидких сред с высокой вязкостью (рис. 83).

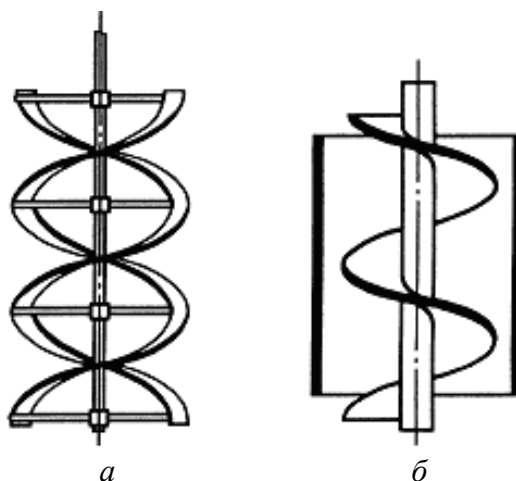


Рис. 83. Перемешивающие устройства:
а – ленточное; б – шнековое



5.2.2. Барботажное перемешивание

Барботажное перемешивание используют для жидких сред с малой вязкостью. Сравнительно простая конструкция данных даёт возможность проектировать такие аппараты для больших объёмов обрабатываемого материала, устанавливать антикоррозионную футеровку при обеспечении эксплуатационной надёжности. Для барботирования используют преимущественно воздух и водяной пар, однако возможно применение и других газообразных сред при строгом контроле взрывоопасности получаемых смесей во время контакта перемешиваемого материала с газами.

Внизу аппаратов размещают перфорированные трубы (барботёр) *1* (рис. 84*а*) для равномерного распределения газовой или паровой фазы по сечению аппарата. Площадь поперечного сечения выходных отверстий для газа должна быть существенно меньше площади сечения коллектора для подвода газовой фазы, что обусловлено необходимостью её равномерного распределения по всем отверстиям. Часто для этой цели выходные отверстия барботёра имеют различные диаметры с их увеличением на концах. Возможна установка реактора для отведения тепла экзотермических химических реакций. К примеру, корпус *2* снабжают охлаждающей рубашкой *3*.

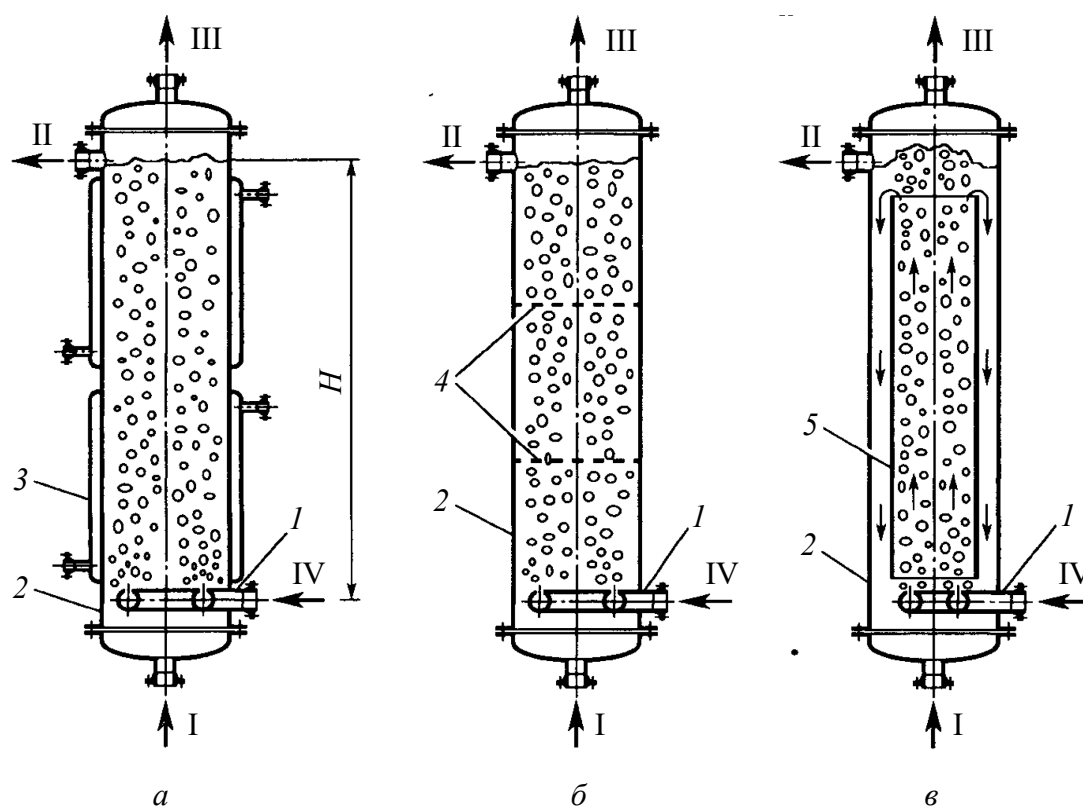


Рис. 84. Схемы барботажных аппаратов:

а – пустотелых; *б* – секционированных; *в* – газлифтных;

1 – барботёр; *2* – корпус; *3* – охлаждающая рубашка;

4 – секционные перегородки; *5* – циркуляционная труба;

I – поток исходной жидкой среды; *II* – поток отходящей жидкой среды;

III – отходящий газ; *IV* – газ

Пропускная способность таких установок ограничена скоростью газового потока, отнесённой к площади проходного свободного сечения, которая не должна превышать 0,1 м/с. При росте скорости увеличивается содержание газа в смеси, что ведёт при определённом объёме обрабатываемой среды к росту общего объёма установки. Кроме этого, в таком варианте появляются крупномасштабные пульсации давления, приводящие к вибрации установки.

Данные аппараты выполняют пустотелыми или разбитыми на секции по высоте горизонтальными перегородками с перфорацией 4, которые предназначены для промежуточного распределения газа и снижения продольной циркуляции жидкой среды (рис. 84б).

Для упорядочения перемещения жидких сред при перемешивании формируются восходящий или нисходящий потоки в центре установки (рис. 84в) или наоборот – у её стенок, что обеспечивается, к примеру, за счёт размещения в центральной части аппарата циркуляционной трубы 5, функционирующей по газлифтному принципу. При подводе газовой фазы в аппарат образуемая газожидкостная смесь в циркуляционной трубе имеет плотность меньшую, чем у жидкости, что и приводит к циркуляции за счёт разности плотностей.

5.2.3. Гидравлические способы перемешивания

При гидравлических способах перемешивания используют статические и циркуляционные смесительные устройства.

Статические смесительные аппараты широко применяются, в частности, при получении и обработке синтетических волокон и пластических масс, очищении отходящих газовых смесей, питьевой и сточной воды и т. д. Эффективность смешивания, малые капитальные и эксплуатационные расходы, низкие энергопотребление и габариты, отсутствие движущихся узлов и деталей являются преимуществами статических смесительных установок.

На рис. 85 приведена статическая смесительная установка при ламинарном режиме течения, в том числе для смешивания сред с высокой вязкостью или смесей со значительно различающейся вязкостью компонентов.

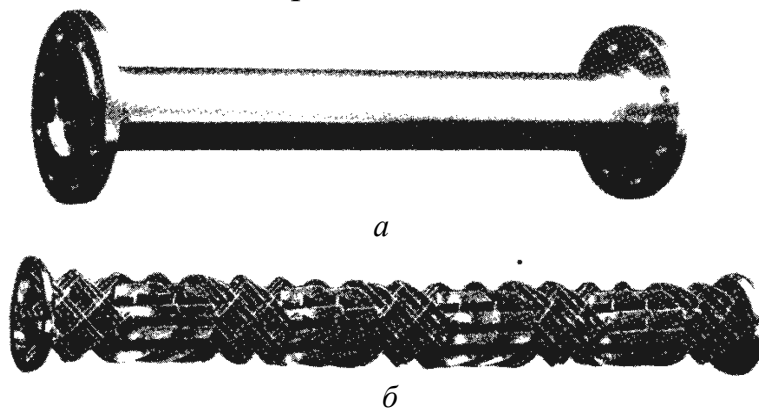


Рис. 85. Статическая смесительная установка фирмы Sulzer для ламинарного течения среды:
а – корпус смесителя; б – устройство для перемешивания

Установка скомпонована из корпуса (рис. 85а), в котором размещено устройство для перемешивания (рис. 85б), представляющее собой ряд повторяющихся модулей, повернутых относительно друг друга на 90° , каждый из которых собран из ряда перекрестных сваренных полос; ширина и угол их наклона, число модулей по длине потока выбираются из условия заданной степени однородности потока, выходящего из смесителя.

Статический смеситель (рис. 86) используется в основном для турбулентного режима течения среды, в частности, для смешения жидких сред с низкой вязкостью или диспергирования взаимно нерастворимых жидких компонентов. Такие аппараты применяются для обессоливания сырой нефти при смешении с менее минерализованной водой.

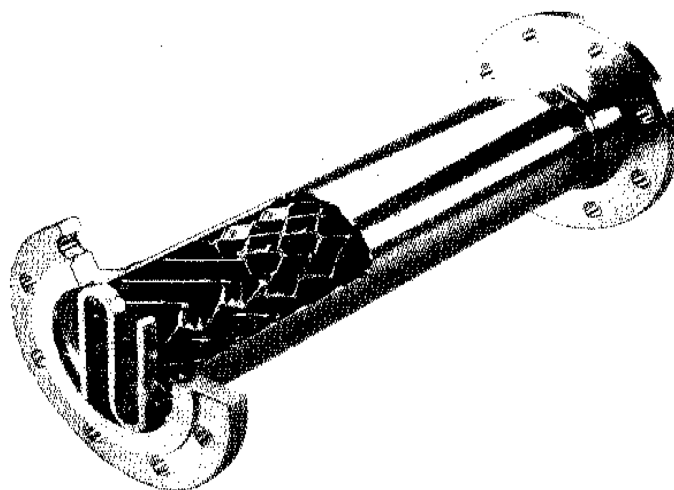


Рис. 86. Статическая смесительная установка фирмы Sulzer
для турбулентного течения среды

Для очистки питьевой и сточной воды используют аппараты, где направляющие перегородки не контактируют друг с другом и всесторонне открыты потоку среды (рис. 87). Для эффективного использования очищенной воды в неё целесообразно добавлять заданное количество кислоты или щелочи, а при её нейтрализации может наблюдаться образование суспензий тонкодисперсными включениями гидроксидов металлов, которые сложно отделить от воды. Для оседания частичек в таком случае в водные стоки добавляют флокулянты, причём расходы смешиваемых сред существенно различаются, что требует использования эффективного устройства для смешивания при снижении возможности его засорения. В таком варианте применяют установки из пластмасс (полипропилена, фторопласта).



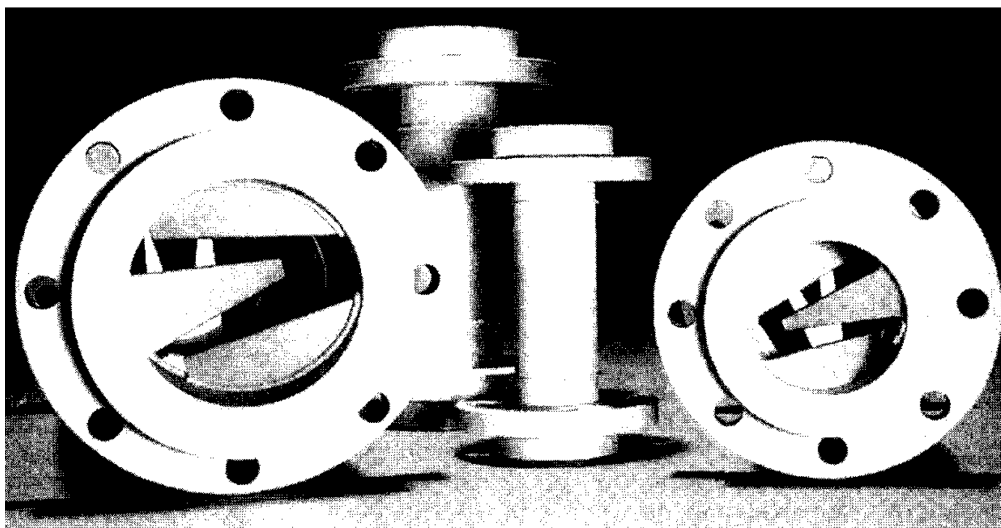


Рис. 87. Статические полипропиленовые установки фирмы Sulzer для перемешивания сред с возможным образованием осадка

Широко используются циркуляционные смесители, включающие ёмкость *1*, центробежный насос *3*, откачивающий жидкую среду из нижних слоёв и подводящий её посредством разбрызгивателя *2* на свободную поверхность, организуя замкнутую циркуляцию (рис. 88*а*). Для усиления эффекта турбулентности в ёмкости иногда размещают решётку или трубопровод с перфорацией, что даёт возможность более равномерно распределить жидкую среду по поперечному сечению ёмкости.

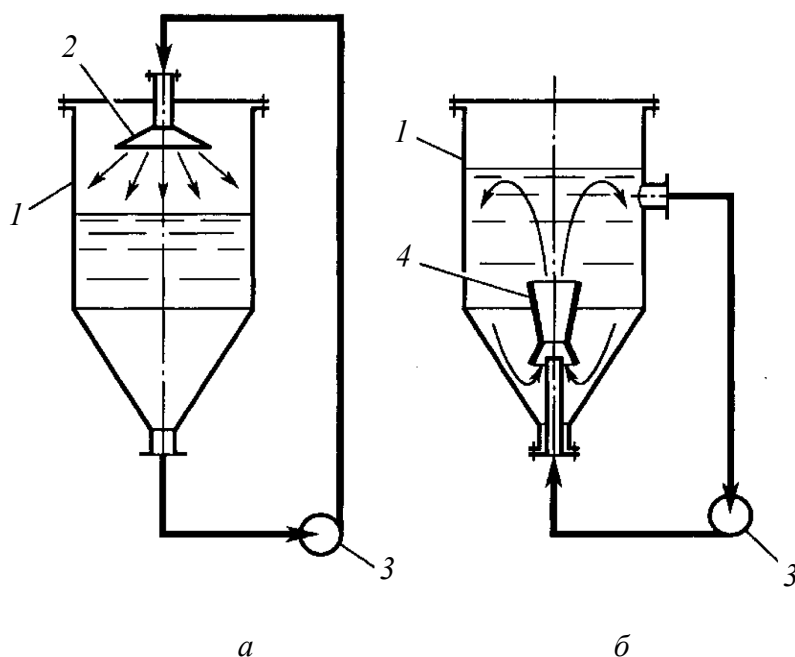


Рис. 88. Циркуляционные смесительные аппараты:
а – с циркуляционным насосом; *б* – с циркуляционным насосом и эжектором;
1 – ёмкость; *2* – разбрызгиватель; *3* – циркуляционный насос; *4* – эжектор



Интенсивность перемешивания возрастает при использовании циркуляционного насоса, связанного с эжектором (рис. 88б). Жидкая среда сверху из ёмкости направляется в эжекторное сопло. Выходящий из него поток захватывает жидкость, окружающую эжектор, и образованная смесь выводится вверх. Внутри жидкостного объёма к внешнему контуру циркуляции, создаваемому насосом, добавляются внутренние токи, что повышает эффективность перемешивания.

Тесты для контроля знаний

1. *Чем определяется эффективность процесса перемешивания при образовании суспензий или эмульсий?*

- А. Степенью превращения или расходом реагента.
- Б. Равномерностью распределения дисперсной фазы.
- В. Отношением коэффициентов теплоотдачи при перемешивании и без него.
- Г. Отношением коэффициентов массоотдачи при перемешивании и без него.

2. *Как осуществляется барботажное перемешивание?*

- А. С помощью различных вращающихся устройств.
- Б. При совместном движении смешиваемых потоков в трубопроводе.
- В. За счёт пропуска газа через слой жидкости.
- Г. При совместном движении смешиваемых потоков в специальных смесителях.

3. *При каком интервале значения вязкости можно применять лопастные мешалки?*

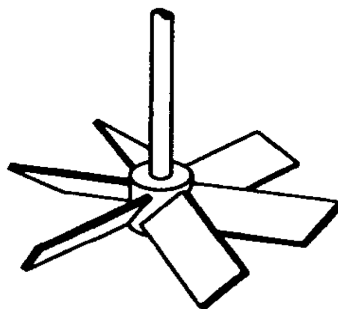
- А. До 0,01 кг/ (м·с).
- Б. От 0,01 кг/ (м·с) до 0,1 кг/ (м·с).
- В. Свыше 0,1 кг/ (м·с).
- Г. Лопастные мешалки не применяют для перемешивания жидкостей.

4. *Какие мешалки применяют для перемешивания высоковязких жидких и пастообразных сред?*

- А. Турбинные.
- Б. Ленточные.
- В. Лопастные.
- Г. Рамные.

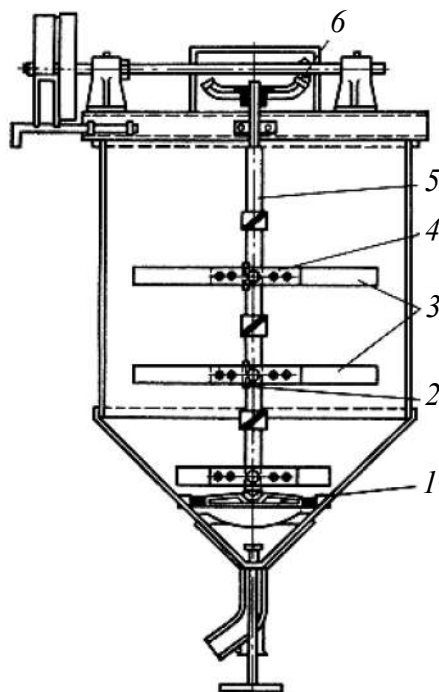


5. Перемешивающее устройство какого типа показано на рисунке?



- А. Листовое.
- Б. Лопастное.
- В. Якорное.
- Г. Рамное.

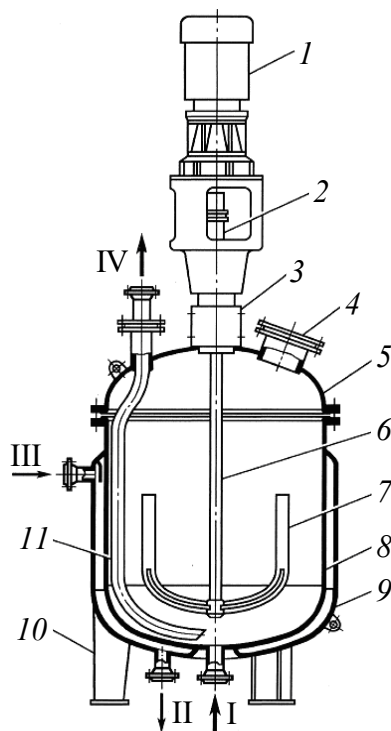
6. Какой позицией обозначено перемешивающее устройство на лопастной мешалке?



- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 6.

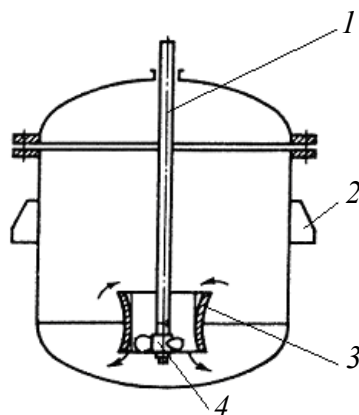


7. Конструкция какого аппарата показана на рисунке?



- А. Якорная мешалка.
- Б. Ленточная мешалка.
- В. Шнековая мешалка.
- Г. Пропеллерная мешалка.

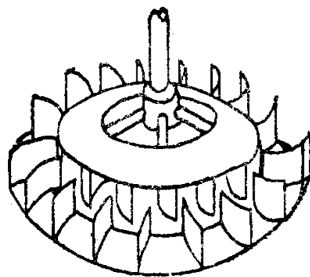
8. Какой позицией обозначен диффузор на пропеллерном перемешивающем устройстве?



- А. 1.
- Б. 2.
- В. 3.
- Г. 4.



9. *Перемешивающее устройство какого типа показано на рисунке?*



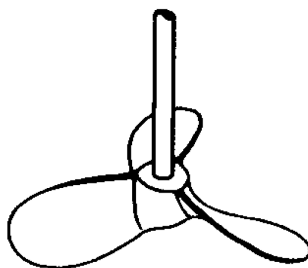
- А. Турбинное.
- Б. Пропеллерное.
- В. Лопастное.
- Г. Рамное.

10. *Перемешивающее устройство какого типа показано на рисунке?*



- А. Шнековое.
- Б. Якорное.
- В. Ленточное.
- Г. Листовое.

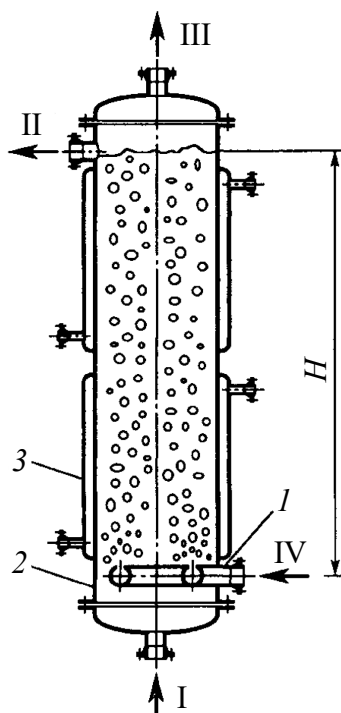
11. *Перемешивающее устройство какого типа показано на рисунке?*



- А. Турбинное.
- Б. Пропеллерное.
- В. Шнековое.
- Г. Якорное.

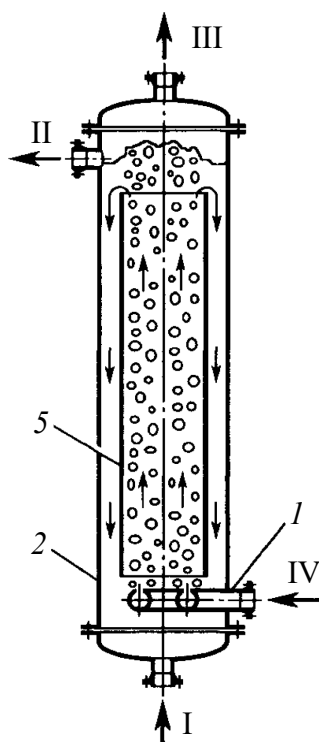


12. Каким потоком обозначена отходящая жидкость на схеме пустотелого барботажного аппарата?



- А. III.
- Б. II.
- В. I.
- Г. IV.

13. Схема какого аппарата с барботажным перемешиванием показана на рисунке?

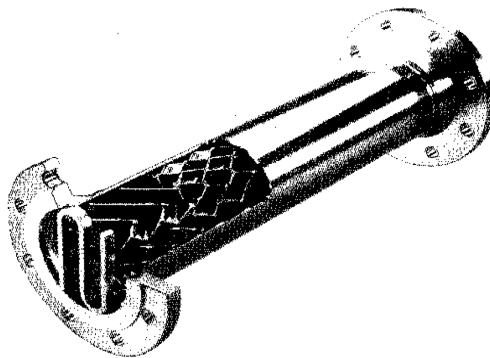


- А. Секционированного.
- Б. Пустотелого.
- В. Газлифтного.

14. *Чем ограничивается пропускательная способность установки с барботажным перемешиванием?*

- А. Скоростью газа.
- Б. Скоростью газа, отнесённой к площади его свободного сечения.
- В. Площадью свободного сечения газа.
- Г. Площадью свободного сечения газа, отнесённой к его скорости.

15. *Какой смеситель для гидравлического перемешивания жидкостей показан на рисунке?*



- А. Статический смеситель для турбулентного режима течения.
- Б. Смеситель с циркуляционным насосом.
- В. Смеситель с циркуляционным насосом и эжектором.
- Г. Статический смеситель для ламинарного режима течения.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной задачей пособия является научно-обоснованный выбор рационального способа проведения технологической операции и конструкции установки для его осуществления. Этим обеспечивается получение качественных продуктов при высоких технико-экономических показателях работы оборудования. В связи с изменением свойств продуктов в процессе обработки режим работы аппарата подчас должен быть переменным и его расчёт должен отражать кинетику процесса.

При изучении технологических процессов и оборудования особенно важен анализ явлений, развивающихся внутри материала при взаимодействии различных фаз, специфическом воздействии различных веществ на объект обработки, а также при вскрытии специфических особенностей влияния различных методов энергоподвода на протекание процесса. Очевидно, что важную роль играет исходное состояние материала и начальный импульс внешнего воздействия, от которого зависят реакция материала и развитие соответствующих внутренних полей, обуславливающих интенсивность процесса.

В связи с термолабильностью многих продуктов, особенно биологического происхождения, важно перед проведением основной операции подготовить материал к восприятию начального импульса. Поэтому существенное значение приобретают методы предварительной подготовки материала: диспергирование – гранулирование, нарезка, распыление, предварительный нагрев, воздействие ПАВ, а также комбинированный энергоподвод, повышение потенциалов переноса теплоносителя и др.

Перспективным и малоизученным вопросом при решении задач интенсификации процессов при снижении энергозатрат является применение импульсных (переменных) режимов обработки: прерывистых, осциллирующих, зональных с чередованием режимов и др. Необходимо учесть, что различные способы организации процесса вызывают специфическое воздействие на пространственно-временную эволюцию полей потенциалов переноса и на структуру материала, где основными факторами, определяющими преимущества переменных режимов, являются такие внешние параметры, как направление, мощность и длительность периодов воздействия на материал.

Исходя из вышеизложенного основное внимание в пособии уделено выбору рационального технологического оборудования, вопросам физической сущности гидромеханических процессов, логики их аналитического описания и подходов к инженерным расчётам.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Алексеев, Г. В.** Технологические машины и оборудование биотехнологий : учебник / Г. В. Алексеев, В. Т. Антуфьев, Ю. И. Корниенко. Санкт-Петербург : ГИОРД, 2015. 608 с.
2. **Баранов, Д. А.** Процессы и аппараты химической технологии : учебное пособие / Д. А. Баранов. Санкт-Петербург : Лань, 2016. 408 с.
3. **Бредихин, С. А.** Процессы и аппараты пищевой технологии : учебное пособие / С. А. Бредихин, А. С. Бредихин, В. Г. Жуков. Санкт-Петербург : Лань, 2014. 544 с.
4. **Вихман, Г. Л.** Основы конструирования аппаратов и машин нефтеперерабатывающих заводов / Г. Л. Вихман, С. А. Круглов. Москва : Машиностроение, 1978. 328 с.
5. **Владимиров, А. И.** Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки : учебное пособие / А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов, С. А. Круглов. Москва : Недра, 2002. 227 с.
6. **Вобликова, Т. В.** Процессы и аппараты пищевых производств : учебное пособие / Т. В. Вобликова, С. Н. Шлыков, А. В. Пермяков. Санкт-Петербург : Лань, 2019. 204 с.
7. **Дытнерский, Ю. И.** Процессы и аппараты химической технологии : учебник : в 2 частях / Ю. И. Дытнерский. Москва : Химия, 1995. Часть 1. Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты. 400 с.
8. **Комиссаров, Ю. А.** Процессы и аппараты химической технологии : учебник : в 5 частях / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент. Москва : Юрайт, 2019. Часть 5. 208 с.
9. **Криворот, А. С.** Конструкция и основы проектирования машин и аппаратов химической промышленности : учебное пособие / А. С. Криворот. Москва : Машиностроение, 1976. 376 с.
10. Машины и аппараты химических производств / под редакцией И. И. Чернобыльского. Москва : Машиностроение, 1974. 456 с.
11. Оборудование нефтегазопереработки, химических и нефтехимических производств : учебник : в 2 книгах / Г. В. Божко, В. Я. Борщев, Ю. И. Гусев [и др.]. Вологда : Инфра-Инженерия, 2019.
12. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии : учебник / А. И. Скобло, Ю. К. Молоканов, А. И. Владимиров, В. А. Щелкунов. Москва : Недра, 2000. 677 с.
13. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс : учебник : в 2 книгах / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов [и др.]. Санкт-Петербург : Лань, 2018.



Учебное издание

Максименко Юрий Александрович
Алексанян Игорь Юрьевич
Нугманов Альберт Хамед-Харисович
Лысова Вера Николаевна

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Учебное пособие

Издано в ФГБОУ ВО «АГТУ»,
чья система менеджмента качества в области образования, воспитания, науки и инноваций
сертифицирована DQS по международному стандарту ISO 9001:2015

Редактор Н. В. Атнагулова
Компьютерная вёрстка Е. А. Молодцовой
Дизайн обложки Е. С. Панюшкиной

Подписано в печать 30.06.2020. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 6,74. Тираж 100 экз.
Заказ 85.

Издательство АГТУ. 414056, Астрахань, Татищева, 16.

