

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

В. Г. Науменко, В. Г. Самойлик, Н. А. Звягинцева, Е. А. Назимко

**ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ
ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

Учебное пособие
для обучающихся образовательных учреждений
высшего профессионального образования

Донецк

2019

УДК 622.794.7(075.8)

ББК 33.4я7

Н34

Рекомендовано Учёным советом
 ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»
 в качестве учебного пособия для обучающихся образовательных учреждений высшего
 профессионального образования
 (Протокол № 5 от 28.06.2019 г.)

Рецензенты:

Борщевский Сергей Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительства зданий, подземных сооружений и геомеханики ГОУВПО «ДОННТУ»;

Выговская Даниэла Даниловна – кандидат технических наук, доцент кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» ГОУВПО «ДОННТУ».

Авторы:

Науменко В.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк),

Самойлик В.Г., кандидат технических наук, доцент кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк),

Звягинцева Н.А., старший преподаватель кафедры «Обогащение полезных ископаемых» ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет» (г. Донецк),

Назимко Е.И., доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экология моря» ФГБОУ «Керченский государственный морской технологический университет» (г. Керчь).

Науменко, В. Г.

Н34 Обезвоживание продуктов обогащения полезных ископаемых : учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / В. Г. Науменко, В. Г. Самойлик, Н. А. Звягинцева, Е. И. Назимко ; ГОУВПО «ДОННТУ». – Донецк : ДОННТУ, 2019. – 183 с. : ил., табл.

ISBN

В учебном пособии приведены сведения о различных способах обезвоживания продуктов обогащения. Изложены теоретические основы процессов обезвоживания, описан принцип действия различных типов обезвоживающего оборудования. Приведены сведения о водно-шламовых схемах обогатительных фабрик.

Большое внимание в работе уделено особенностям обезвоживания продуктов обогащения в центробежном поле, под действием избыточного давления и разрежения. Изложены теоретические основы термического обезвоживания, приведены сведения о конструкциях сушильных установок. Учебное пособие предназначено для студентов специальности 21.05.04 "Горное дело" специализации "Обогащение полезных ископаемых" стационарной и заочной формы обучения.

УДК 622.794.7(075.8)

ББК 33.4я7

ISBN

© В.Г. Науменко, В.Г. Самойлик, Н.А. Звягинцева, Е.И. Назимко, 2019
 © ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», 2019

Содержание

Введение.....	5
Глава 1. Классификация способов механического обезвоживания.....	6
1.1. Общие сведения о процессах обезвоживания.....	6
1.2. Виды влаги.....	6
1.3. Классификация продуктов по содержанию влаги.....	10
Глава 2. Дренажное оборудование.....	15
Глава 3. Фильтрование.....	27
Глава 4. Конструкции вакуум – фильтров.....	35
4.1. Дисковые вакуум-фильтры.....	35
4.2. Барабанные фильтры.....	42
4.3. Ленточные вакуум-фильтры.....	46
Глава 5. Вспомогательное оборудование процесса фильтрования. Вакуумные системы.....	51
Глава 6. Фильтр-прессы.....	57
6.1. Классификация фильтр-прессов.....	57
6.2. Вертикальные фильтр-прессы.....	63
6.3. Горизонтальные фильтр-прессы.....	68
6.4. Ленточные фильтр-прессы.....	73
Глава 7. Обезвоживание в центробежном поле. Центробежное фильтрование.....	80
7.1. Центробежная сила и причины ее возникновения.....	80
7.2. Конструкции фильтрующих центрифуг.....	87
7.2.1. Инерционные центрифуги.....	87
7.2.2. Шнековые центрифуги.....	89
7.2.3. Вибрационные центрифуги.....	92
Глава 8. Обезвоживание в центробежном поле. Центробежное осаждение.....	96
8.1. Принцип действия осадительных центрифуг.....	96
8.2. Конструктивные особенности осадительных центрифуг..	99
8.3. Промышленные типы осадительных центрифуг.....	102
8.4. Факторы управления процессом центробежного осаждения.....	106
Глава 9. Гидроциклоны.....	111
9.1. Распределение потоков в гидроциклоне.....	111

9.2. Факторы, влияющие на работу гидроциклона.....	114
9.3. Выбор типоразмера гидроциклона.....	118
Глава 10. Гравитационное осаждение (сгущение).....	122
10.1. Сущность процесса гравитационного осаждения.....	122
10.2. Сущность процессов коагуляции и флокуляции.....	127
10.2.1. Свойства флокулянта.....	129
10.2.2. Свойства суспензии.....	130
10.2.3. Условия контакта флокулянта с суспензией.....	133
Глава 11. Конструкции сгустителей.....	135
11.1. Удельная площадь сгущения.....	135
11.2. Радиальные сгустители.....	136
11.3. Сгуститель со взвешенным слоем.....	140
11.4. Цилиндроконические сгустители.....	141
11.5. Тонкослойные (пластинчатые, ламельные) сгустители...	142
Глава 12. Баланс воды по фабрике. Водно-шламовые схемы.....	150
12.1. Баланс воды по обогатительной фабрике.....	150
12.2. Классификация водно-шламовых схем (ВШС).....	153
12.3. ВШС для коксующихся углей.....	155
12.4. Накопление шламов при многократном использовании оборотной воды.....	157
Глава 13. Термическое обезвоживание.....	159
13.1. Теоретические основы процесса.....	159
13.2. Материальный баланс сушильной установки.....	162
13.3. Диаграмма $I-d$ для теоретической и практической су- шилки.....	163
Глава 14. Конструкции сушилок.....	168
14.1. Способы сушки.....	168
14.2. Барабанная сушилка.....	169
14.3. Трубы-сушилки.....	174
14.4. Сушилки кипящего слоя.....	176
Перечень литературы.....	180

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве случаев полезные ископаемые обогащают в водной среде, потому получаемые продукты обогащения содержат значительное количество воды и не пригодны для транспортирования и дальнейшего применения. Для удаления воды (влаги) из продуктов обогащения применяют ряд операций, называемых в общем случае обезвоживанием. В более широком смысле под обезвоживанием понимают процесс отделения жидкой фазы от твёрдой.

Обезвоживанием называют процесс удаления воды из полезного ископаемого или из продукта обогащения. Ему могут подвергаться не только конечные, но и промежуточные продукты обогащения, осуществляемого обычно в водной среде. Причинами обезвоживания являются: необходимость снижения затрат на транспортирование продуктов обогащения (концентратов), необходимость организации на фабрике полного водооборота с целью снижения себестоимости продукции и охраны окружающей среды.

Различают процессы механического и термического обезвоживания. К механическому обезвоживанию относятся: дренирование, центробежное обезвоживание, сгущение и фильтрование, к термическому – сушка.

Задачами процесса обезвоживания являются: 1) доведение товарных продуктов до кондиционной влажности (6-9%) в соответствии с требованиями потребителей и из условий транспортирования; 2) осветление оборотной воды, т.е. снижение содержания в ней твёрдой фазы до необходимого уровня, что позволит использовать воду в технологическом процессе многократно.

Целью настоящего учебного пособия – более подробно ознакомить студентов специальности «Горное дело» обучающихся по специализации «Обогащение полезных ископаемых» с теоретическими основами процессов обезвоживания продуктов обогащения, кондиционирования и очистки сточных вод. Конструкциями, техническими характеристиками и эксплуатационными данными применяемых для этой цели оборудование и аппараты, методами их технологического расчёта.

Глава 1

КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

1.1 Общие сведения о процессах обезвоживания

При обогащении в основном используются мокрые процессы. Расход воды при обогащении составляет 3-5 м³/т обогащаемого сырья. Для дальнейшей переработки таких продуктов из них необходимо удалить влагу.

Обезвоживанием называют процесс удаления воды из полезного ископаемого и продуктов его обогащения.

Задачами процессов обезвоживания являются:

- 1) доведение товарных продуктов до кондиционной влажности (6-9%) в соответствии с требованиями потребителей;
- 2) осветление оборотной воды, т.е. снижение содержания в ней твердой фазы до необходимого уровня, что позволит использовать воду в технологическом процессе многократно.

В горном деле применяются в основном механические и термические методы обезвоживания [1, 2].

Процессы механического обезвоживания, т.е. разделения твердой и жидкой фаз, основаны на двух физических принципах (рис. 1.1):

- 1) фильтрование – выделение жидкости из массы твердого материала; при этом жидкость движется относительно твердой фазы;
- 2) осаждение – выделение твердого материала из массы жидкости; при осаждении твердые частицы движутся относительно жидкости.

1.2 Виды влаги

Показателем, по которому оценивается качество обезвоживания, является влажность.

Влажность – отношение массы воды в продукте к массе сырого продукта. Рабочая влажность определяется по формуле:

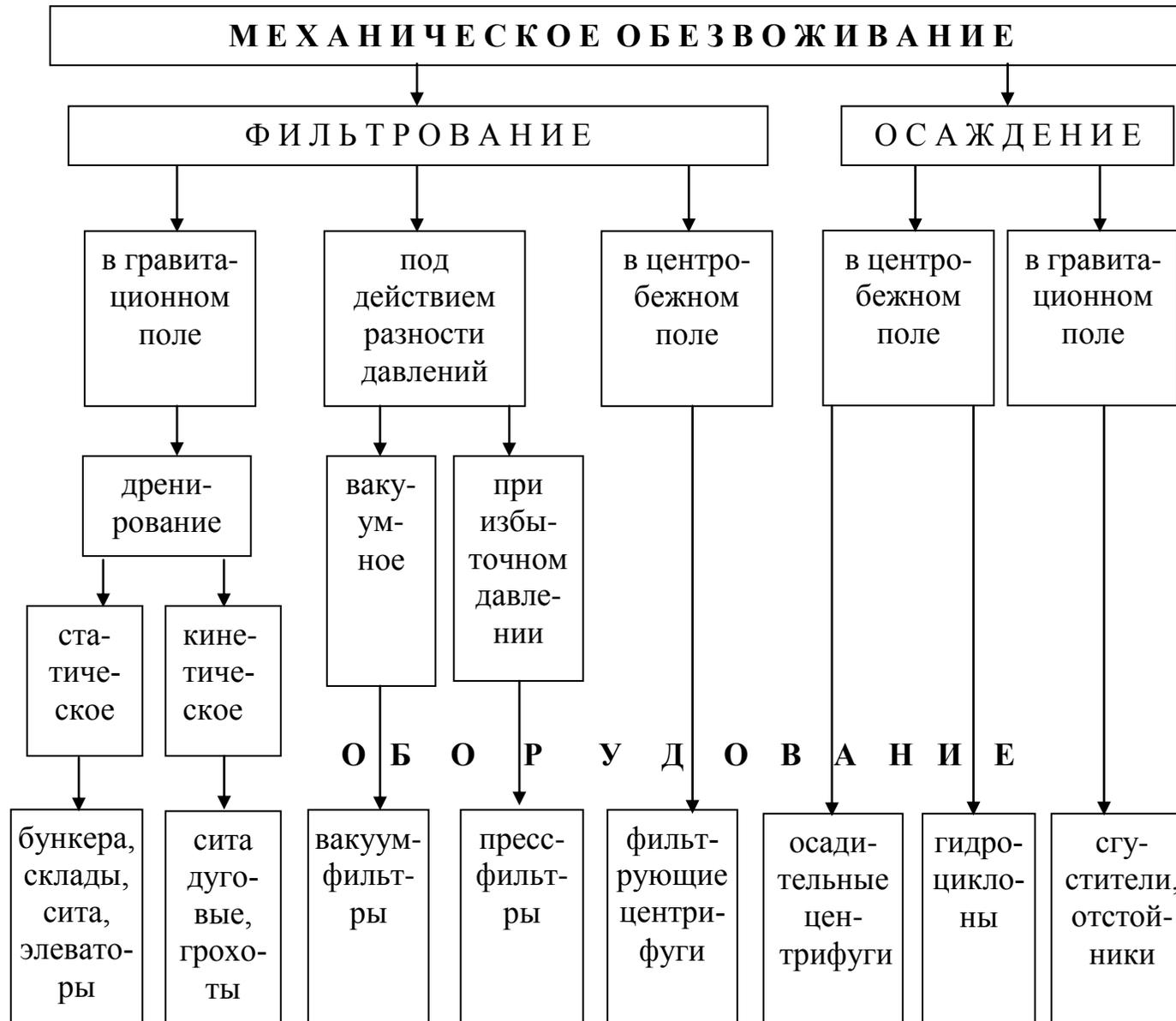


Рис. 1.1. Классификация способов механического обезвоживания

$$W^* = [q_{H_2O} / (q_{H_2O} + G)] \cdot 100, \%,$$

где q_{H_2O} – масса воды, кг;

G – масса сухого материала, кг.

Влажность подразделяют на рабочую, лабораторную и внешнюю, между которыми соблюдается следующее соотношение:

$$W_{вн} = W^* - W_{л.}$$

На процессы удаления влаги из материалов значительное влияние оказывает энергия связи молекул воды с поверхностью твердого.

Чем больше энергия связи жидкости с поверхностью твердого, тем труднее эту жидкость отделить. На энергетическом принципе основана классификация форм связи влаги с материалом по П. А. Ребиндеру [1]:

- 1) химическая связь (кристаллизационная);
- 2) физико-химическая связь (адсорбционная или гигроскопическая влага);
- 3) физико-механическая (капиллярная, гравитационная влага).

В соответствии с этой классификацией влага разделяется на следующие виды (рис. 1.2):

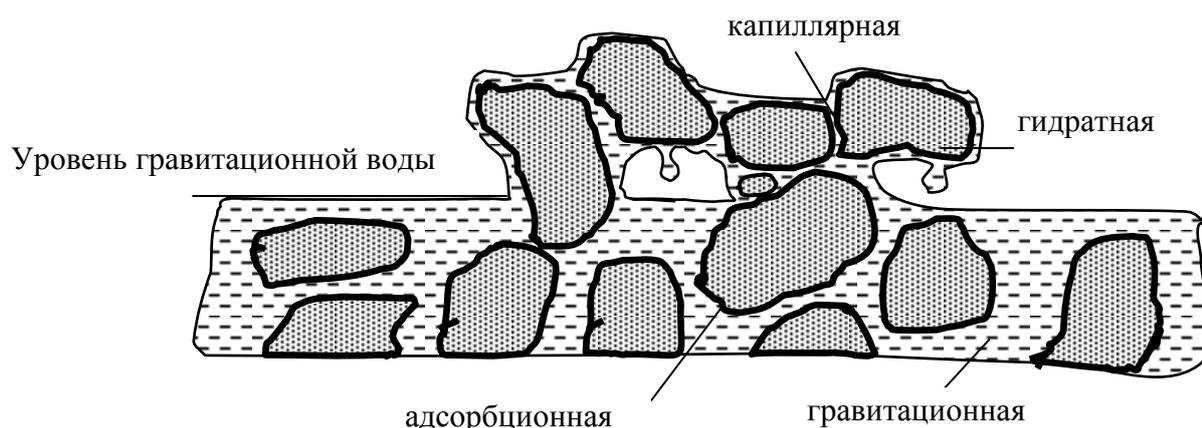


Рис. 1.2. Разновидности влаги в зависимости от ее связи с поверхностью твердой фазы

1. *Химическая или связанная влага (внутренняя)* – это влага, которая содержится в кристаллической решетке некоторых минералов в виде гидроксильных ионов в гидратах и в виде молекул воды в кристаллогидратах.

2. *Адсорбированная (пленочная) влага* – удерживается на поверхности в виде гидратных пленок силами адсорбции. Подразделяется на:

- гигроскопическую;
- прочно связанную;
- адгезионную.

Гигроскопическая влага образует на поверхности частиц тонкие пленки воды, удерживаемые силами адсорбции, и заполняет структурные поры и трещины в частицах. Эта влага обладает рядом аномальных свойств: большей плотностью, повышенной вязкостью, пониженной температурой замерзания, пониженной способностью к растворению. Различия в физических свойствах гигроскопической и свободной влаги объясняются наличием значительных электростатических сил притяжения диполей воды к ионам на поверхности твердых частиц. Наблюдается строгая ориентация диполей воды, что затрудняет их движение по сравнению с движением молекул свободной влаги.

Над слоем гигроскопической влаги в водной среде образуется слой *прочно связанной влаги*, для которой характерна пониженная растворяющая способность, отсутствие электропроводности и повышенная плотность.

Адгезионная влага образует над пленками прочно связанной влаги более толстые пленки толщиной до 100 диаметров молекулы воды, которые удерживаются силами адсорбции, но менее прочно. Ориентация диполей воды относительно поверхности твердого уже менее правильная, вследствие этого аномальные свойства адгезионной влаги проявляются слабее. Плотность адгезионной влаги – $1,25 \text{ г/см}^3$; она обладает пониженной растворяющей способностью и пониженной температурой замерзания. Наибольшее количество адгезионной влаги в 2-4 и более раза превышает количество гигроскопической влаги при максимальной гигроскопичности среды. Адгезионная влага занимает промежуточное положение между прочно связанной и свободной влагой.

3. **Капиллярная влага** – заполняет капиллярные промежутки, образующиеся между частицами, или поры внутри самих частиц твердого и удерживается в них силами капиллярного давления. Капиллярные силы возникают на границе соприкосновения трех фаз – твердой, жидкой и газообразной и создаются поверхностным натяжением на искривленной поверхности (мениске) жидкости в капилляре. Капиллярная влага подвижна в материале и зависит от размеров капилляров и условий смачивания водой их поверхности.

Капиллярное давление определяется по формуле Лапласа:

$$P = 2\sigma \cdot \cos \theta / r,$$

где σ – поверхностное натяжение на границе вода-воздух, Н/м;

θ – краевой угол смачивания, градус;

r – радиус капилляра или кривизна поверхности, м.

4. **Гравитационная влага** – это свободная влага, которая заполняет все промежутки между частицами и перемещается под действием силы тяжести.

Капиллярная и свободная влага удаляются механическими и термическим методами обезвоживания. Оказывают максимальное отрицательное влияние на такие показатели как грохотимость, смерзаемость и транспортабельность продуктов.

1.3 Классификация продуктов по содержанию влаги

В зависимости от содержания воды продукты обогащения делятся на следующие классы:

1. **Обводненные (жидкие)** – содержат более 40% воды, обладают подвижностью жидкости, представляют собой механическую смесь твердого и воды. Это – слив мельниц, отсадочных машин.

2. **Мокрые** – 15-40% влаги, не обладают подвижностью жидкости. Содержат все виды влаги. Получаются после обезвоживания жидких продуктов. Содержат в себе остатки гравитационной влаги, а также адсорбированную и капиллярную влагу.

3. **Влажные** – 5-15% влаги. В них нет гравитационной влаги. Получаются после обезвоживания мокрых продуктов. Не обладают

текучестью. В них не содержится свободной гравитационной влаги, а присутствует лишь некоторое количество капиллярной, пленочной и гигроскопической влаги.

4. *Воздушно-сухие* – сыпучие продукты. Получаются после высушивания на воздухе влажных продуктов. В них содержится только гигроскопическая влага. Влажность не превышает 5%.

5. *Сухие* – получают в результате термической сушки при условии испарения из материала большей части гигроскопической влаги. Практически не содержат влаги.

Влажные материалы в зависимости от форм связи и содержания влаги делятся на:

- 1) коллоидные,
- 2) капиллярно-пористые,
- 3) капиллярно-пористые коллоидные.

В коллоидных материалах влага осмотически связана и поглощена. При удалении влаги они значительно сжимаются в объеме (например, желатин). В капиллярно-пористых влага связана капиллярными силами (например, рудные концентраты, кварцевый песок, каменные угли). Капиллярно-пористые коллоидные – содержат влагу всех форм связи (торф, молодые бурые угли).

Влагоудерживающая способность материалов зависит от удельной поверхности частиц и от энергии, расходуемой на взаимодействие с водой.

Удельная поверхность бывает двух видов:

- 1) массовая удельная поверхность – поверхность, приходящаяся на единицу массы;
- 2) объемная удельная поверхность – поверхность, приходящаяся на единицу объема.

Различают также внешнюю и внутреннюю поверхности, которые в сумме дают полную поверхность. Внешняя – геометрическая поверхность частиц; внутренняя – суммарная поверхность микропор и микротрещин. Чем больше поверхность материала и степень смачивания, тем больше влаги может удерживать этот материал и тем труднее ее отделить.

Энергия, расходуемая на взаимодействие с водой, определяет степень смачивания твердой поверхности. Мерой смачивания служит *краевой угол* θ между смачиваемой поверхностью и поверхностью жидкости на периметре смачивания (рис. 1.3).

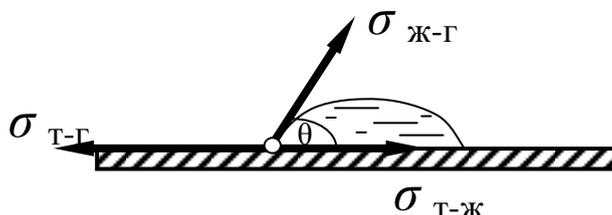


Рис. 1.3. Силы, действующие на периметре смачивания трех фаз

При равновесном смачивании краевой угол θ определяется уравнением Юнга:

$$\cos \theta = (\sigma_{m-г} - \sigma_{m-ж}) / \sigma_{ж-г}$$

где σ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз, Н/м.

Смачивание на границе раздела фаз является результатом межмолекулярного взаимодействия в зоне контакта этих фаз.

Поверхностное натяжение является термодинамической характеристикой поверхности раздела фаз. Для жидкости σ равна свободной энергии в поверхностном слое по сравнению со свободной энергией в объеме (энергии нескомпенсированных межмолекулярных сил). Это – работа образования новой поверхности, затрачиваемая на преодоление сил межмолекулярного взаимодействия (когезии) при переходе молекул вещества из объема в поверхностный слой.

Показателем влагоудерживающей способности является *максимальная молекулярная влагоемкость ММВ*, которая зависит от сил взаимодействия поверхности частиц с водой. Чем больше эти силы, тем больше толщина водных пленок, удерживаемых на поверхности частиц при механическом обезвоживании. ММВ – это максимальное количество влаги, которая не удаляется при механическом обезвоживании.

В табл. 1.1 приведена влажность продуктов обогащения углей, которая принимается в расчетах по данным практики углеобогащения [3].

Таблица 1.1. Влажность продуктов обогащения углей, принимаемая по результатам практики

Наименование продукта	Крупность, мм	Влажность продуктов, %, после обезвоживания:				
		элеваторы	грохоты	центрифуги	вакуум-фильтры	фильтр-прессы
Продукты отсадки:						
Концентрат	13-150	-	6-12	-	-	-
Концентрат (марка А)	6-13	-	7-9	-	-	-
Концентрат	0,5-13	18-22	14-16	8-10	-	-
Промпродукт	13-150	9-14	7-13	-	-	-
Промпродукт	0,5-13	19-23	15-17	8-12	-	-
Отходы	13-150	10-15	8-14	-	-	-
Отходы	0,5-13	20-24	16-20	-	-	-
Продукты тяжелых сред:						
Концентрат	13-300	-	6-12	-	-	-
Концентрат (марка А)	6-13	-	7-9	-	-	-
Концентрат	0,5-13	-	14-16	8-10	-	-
Концентрат	0,5-6	-	16-18	9-10	-	-
Промпродукт	13-200	-	7-13	-	-	-
Промпродукт	0,5-13	-	15-17	7-12	-	-
Отходы	13-200	-	8-14	-	-	-
Отходы	0,5-13	-	20-24	-	-	-
Продукты флотации:						
Концентрат	0-0,5	-	-	-	23-26	-
Концентрат (марка А)	0-0,5	-	-	-	21-23	-
Отходы	0-0,5	-	-	-	-	22-30

Бóльшие значения влажности принимаются для углей меньшей степени метаморфизма. При размокаемых породах (содержание глинистых частиц больше 50%) влажность породы увеличивают на 20%.

Вопросы для самоконтроля.

1. Перечислите основные задачи процессов обезвоживания.
2. На каких физических принципах основаны процессы механического обезвоживания?
3. Как определяется влажность продуктов обогащения?
4. Охарактеризуйте классы продуктов обогащения в зависимости от содержания в них воды.
5. На каком принципе основана классификация форм связи влаги с материалом по П. А. Ребиндеру?
6. Укажите различия между адгезионной и адсорбционной влагой.
7. От чего зависит количество капиллярной влаги в продуктах обогащения?
8. Что является основным показателем влагоудерживающей способности?

Глава 2

ДРЕНИРОВАНИЕ

Дренаживание – процесс обезвоживания обводненных и мокрых зернистых материалов, основанный на естественном истечении жидкости через слой материала и пористую перегородку под действием силы тяжести.

Количество отфильтрованной воды зависит от режима ее движения, который может быть ламинарным, переходным, турбулентным, и определяется значением параметра Рейнольдса (Re):

$$Re = v d \rho / \mu;$$

где v – скорость движения жидкости, м/с;

d – диаметр капилляра, м;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

μ – вязкость жидкости, Па·с.

При $Re < 1$ режим движения жидкости – ламинарный, при $Re = 1-1000$ – переходный, при $Re > 1000$ режим движения жидкости – турбулентный.

Объем дреназированной воды зависит от крупности материала, его смачиваемости, давления воды и времени обезвоживания (рис. 2.1).

Чем меньше диаметр частиц, тем меньше промежутки между ними и тем больше высота капиллярного подъема жидкости, определяемая из соотношения:

$$H = 2\sigma \cos\theta / \rho g r,$$

где σ – поверхностное натяжение на границе вода-воздух, Н/м;

θ – краевой угол смачивания, градус;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

r – радиус капилляра, м.

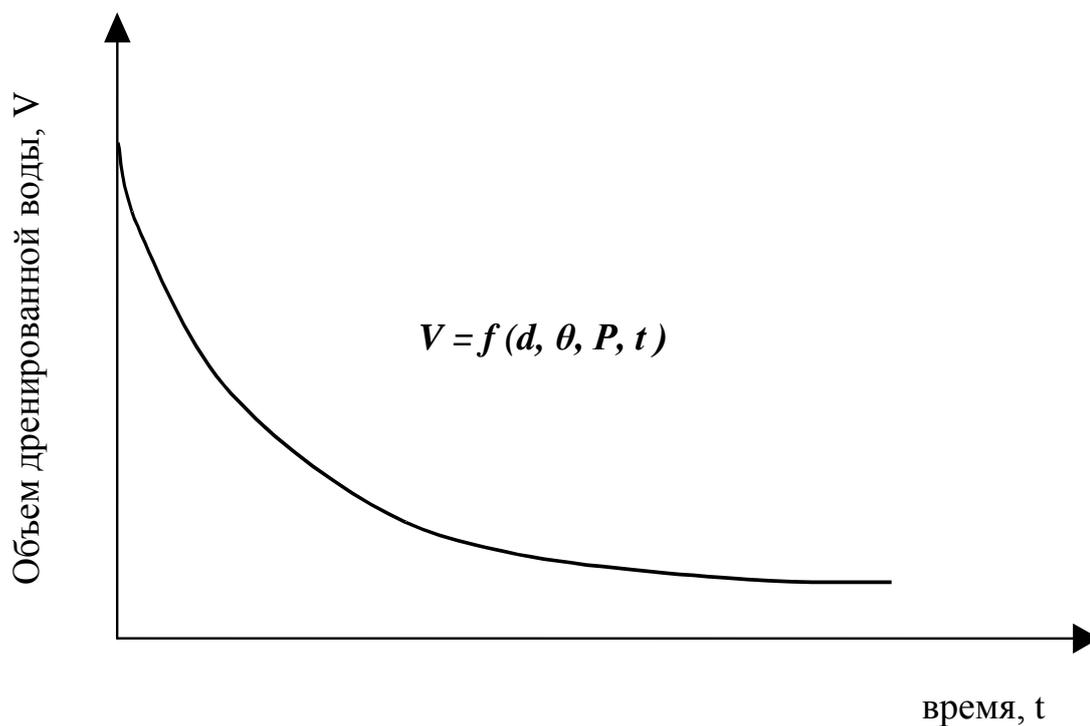


Рис. 2.1. Изменение количества дренированной жидкости с течением времени

Процесс дренирования характеризуется **скоростью фильтрации (w)**, которая определяется как отношение объема отфильтрованной жидкости к единице площади фильтрующей поверхности в единицу времени:

$$w = (1/F) dV/dt,$$

где V – объем дренированной жидкости, м^3 ;
 F – площадь дренирования (фильтрования), м^2 .

Кроме того, существует понятие удельного сопротивления фильтрующего слоя, которое обратно пропорционально среднему радиусу всех капилляров. Удельное сопротивление полностью характеризуется свойствами капилляров и является важнейшей характеристикой фильтруемости различных продуктов. Чем больше удельное сопротивление, тем ниже скорость фильтрации и больше влажность осадка.

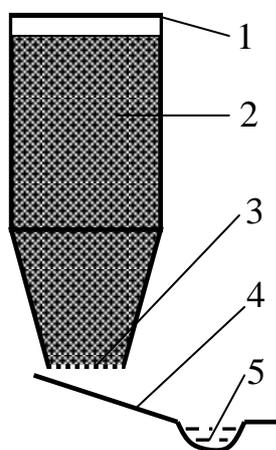
При дренировании материала в статических условиях частицы неподвижны друг относительно друга и относительно сита. Для дренирования в статических условиях характерен переходный, а затем ламинарный режим движения жидкости. При кинетическом дренировании частицы перемещаются.

Дренирование в статических условиях выполняется в обезвоживающих бункерах, на обезвоживающих конвейерах и элеваторах, в складах. Применяется для материалов крупностью более 0,5 мм и чаще используется при обогащении угля. Время обезвоживания и минимальная влажность зависят от крупности зерен и параметров (μ , σ) жидкости. Некоторую роль при дренировании играет и обсыхание материала. Оно связано с движением воздуха в пустоты вместо воды при статическом дренировании или с движением частиц при кинетическом дренировании.

Обезвоживание в бункерах применяется для крупнозернистых продуктов. Предварительно часть воды удаляется на ситах, грохотах или элеваторах. Продолжительность обезвоживания в бункерах колеблется от 4 до 20 часов в зависимости от крупности материала и его свойств.

Для обезвоживания крупного (+ 13 мм) угля достаточно 4-6 часов. За это время влажность снижается до 6-7%. Мелкий (0,5-13 мм) уголь необходимо обезвоживать в бункерах около 20 ч. За это время его влажность снижается до 10-13%. Влажность промпродукта и породы после обезвоживания в течение 12-14 часов составляет 10-14%.

Бункера состоят из отдельных ячеек прямоугольного сечения с пирамидальной нижней частью и решетчатым днищем (рис. 2.2).



- 1 – отдельная ячейка обезвоживающего бункера,
- 2 – порция обезвоживаемого материала,
- 3 – решетчатое дно,
- 4 – поддон,
- 5 – желоб для приема дренированной воды

Рис. 2.2. Схема ячейки обезвоживающего бункера

Общую вместимость обезвоживающих ячеек V определяют по формуле:

$$V = qT,$$

где q – количество продукта, которое необходимо обезвожить, т/ч,

T – время работы бункеров, час.

Работа ячеек цикличная – материал загружается, фильтруется, выгружается, бункер очищается. Время работы бункеров определяются по зависимости:

$$T = t_{\text{загр}} + t_{\text{обезв}} + t_{\text{выгр}} + t_{\text{оч}}.$$

Время загрузки одной ячейки:

$$t_{\text{загр}} = V_1 / Q,$$

где V_1 – вместимость ячейки, т ($V_1 = 80-150$ т).

На практике обычно принимают $t_{\text{загр}} = t_{\text{выгр}} + t_{\text{оч}}.$

Необходимое число ячеек бункера с учетом неравномерности работы фабрики определяют по формуле:

$$n = (V / V_1) + (1-2) = T / t_{\text{загр}} + (1-2).$$

Об окончании процесса дренирования судят по снижению объема фильтрата (рис. 2.3).

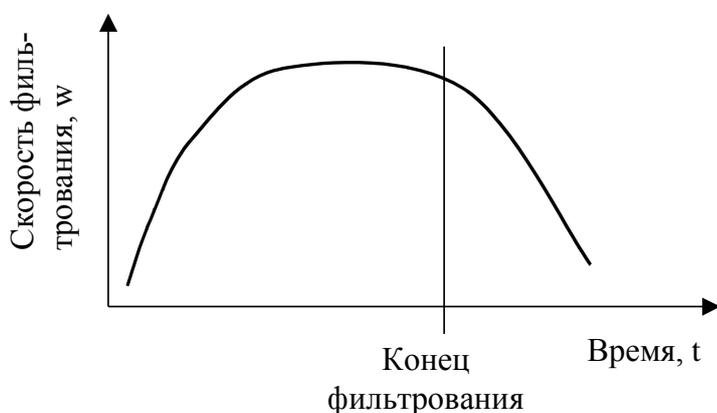
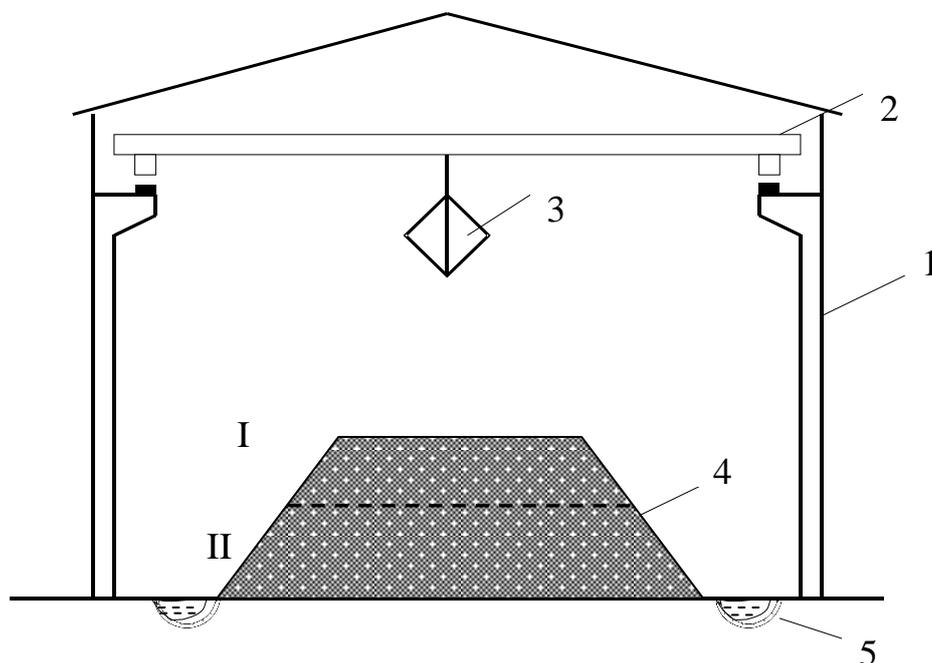


Рис. 2.3. Изменение скорости фильтрации с течением времени

Обезвоживание в дренажных складах. Склады – бетонные или железобетонные помещения больших размеров (рис. 2.4).



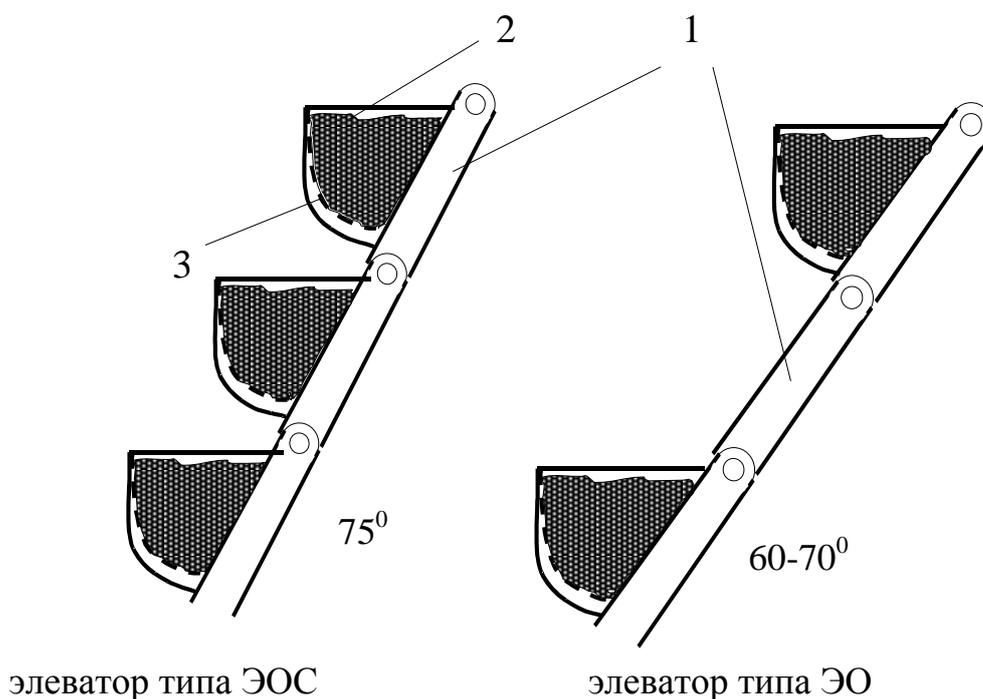
1 – помещение дренажного склада, 2 – мостовой кран, 3 – грейферный ковш, 4 – штабель материала, 5 – дренажные канавы

Рис. 2.4. Схема закрытого дренажного склада

Полы склада имеют уклон в направлении дренажных канав, проходящих по всей его длине. Материал укладывается в штабель грейферным краном. В штабеле имеются две зоны: I - верхняя – в промежутках между частицами находится воздух, и II - нижняя – между частицами находится вода. Высота нижней зоны определяется высотой капиллярного подъема жидкости. Иногда на пол укладывается дренированный слой (постель) из крупнокускового материала. Если крупность материала постели меньше или равна крупности обезвоживаемого материала, то эффективность обезвоживания выше, т.к. высота зоны капиллярного подъема не превышает высоты постели.

Эффективность обезвоживания зависит от крупности материала, его смачиваемости, высоты штабеля, наличия постели, способа укладки, времени обезвоживания. Время обезвоживания составляет 6-24 час, конечная влажность – 9-16% при начальной – 20-22%.

Обезвоживание в элеваторах. Применяется для крупнозернистых материалов. На двух тяговых цепях укрепляются ковши с перфорированными передними стенками. Вода через отверстия стекает в кожух элеватора (рис. 2.5). Для предотвращения стока воды из верхнего ковша в нижний предусматривается водоотводящая пластина. Элеваторы типа ЭО (ковши расположены через звено цепи) устанавливаются под углом $60-70^\circ$, а ЭОС (с сомкнутыми ковшами – на каждом звене цепи расположен ковш) – под углом 75° .



1 – звенья тяговой цепи, 2 – ковш, 3 – отклоняющая пластина

Рис. 2.5. Схема обезвоживающего элеватора

Эффективность обезвоживания в элеваторах зависит от крупности продуктов, высоты обезвоживающей части элеватора, скорости движения цепи и содержания твердого. Недостатки – громоздкость, высокий расход электроэнергии.

При *дренировании в кинетических условиях* частицы перемещаются друг относительно друга и относительно сита. Дренирование в кинетических условиях выполняется на неподвижных и подвижных ситах различных конструкций.

Неподвижные плоские щелевидные сита применяются для предварительного отделения части воды перед обезвоживанием на грохотах. Чтобы материал не оседал на сите, оно устанавливается под углом 25-35°, ширина сита равна ширине желоба, но не более 2 м.

Дуговые сита применяют для предварительного отвода части воды (рис. 2.6).

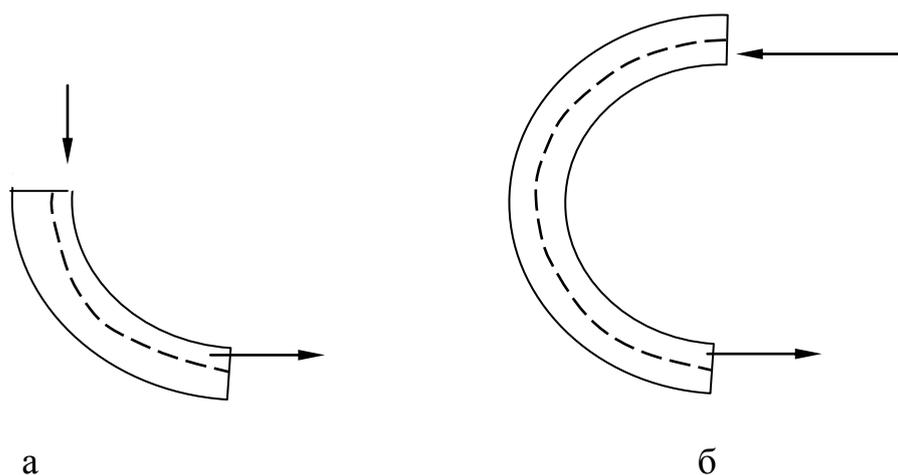


Рис. 2.6. Безнапорное (а) и напорное (б) дуговые сита

Щели располагаются перпендикулярно движению пульпы. При движении по ситам материал встречается с краем каждого поперечного колосника сита (рис. 2.7).

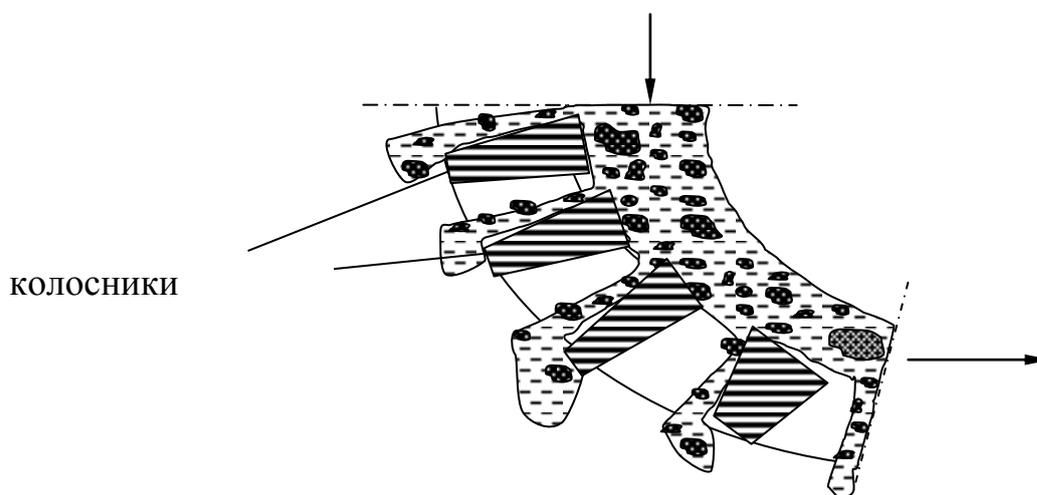


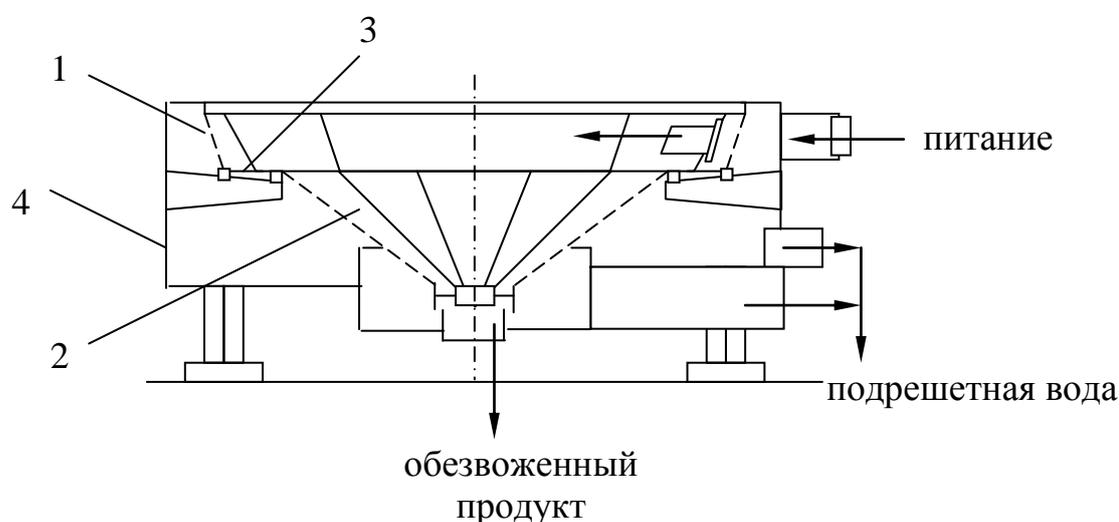
Рис. 2.7. Схема движения материала по дуговому ситам

В результате часть потока уходит под решето. Толщина слоя жидкости, отделяемого краем колосничка, равна 1/4 ширины щели.

Поэтому отделяются частицы с диаметром менее 0,5 ширины щели. Щели не забиваются. Эффективность обезвоживания невысокая. Это связано с небольшим значением центробежной силы, возникающей только в результате изменения направления движения потока при движении по криволинейной поверхности.

Для обезвоживания и классификации продуктов обогащения применяются также двухкаскадные дуговые грохоты.

Конические грохоты типа ГК. Благодаря тангенциальному подводу питания на поверхности грохота создается вращающийся поток суспензии (рис. 2.8).



1 – верхнее кольцеобразное сито, 2 – пирамидальное сито,
3 – сплошное кольцо, 4 – кожух

Рис. 2.8. Схема конусного грохота типа ГК

На кольцевой обезвоживающей поверхности в верхней части грохота образуется слой материала определенной толщины. Под действием центробежной силы здесь удаляется 80-90% воды и мелочи. Оставшаяся свободная влага удаляется в пирамидальной части грохота.

Удельная производительность ГК больше, чем у подвижных грохотов и составляет около $80 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ по суспензии и $20 \text{ т}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ по твердому. Выпускаются грохоты следующих типоразмеров: ГК-1,5, ГК-3, ГК-6. Цифры показывают площадь обезвоживающей поверх-

ности, м². Устанавливаются перед отсадочными машинами или для обезвоживания крупнозернистого шлама.

Подвижные грохоты легкого типа ГСЛ, ГРЛ, ГИСЛ. Применяются для обезвоживания крупных и мелких материалов (рис. 2.9). Для крупных классов используются двухситные грохоты.

Для получения качественного обезвоживания необходимо разрыхлять материал на сите и добиваться взаимного перемещения частиц. Тогда удаляется не только гравитационная влага, но и капиллярная, расположенная в промежутках между частицами. Это достигается при подбрасывании или вертикальном перемещении частиц вверх-вниз. Скорость колебаний сита, поэтому, должна быть значительной и изменяться по величине и направлению. В результате ускорений на пленки адгезионной воды будут действовать силы инерции. Когда величина этих сил будет больше поверхностного натяжения воды, капли будут отрываться от частиц.

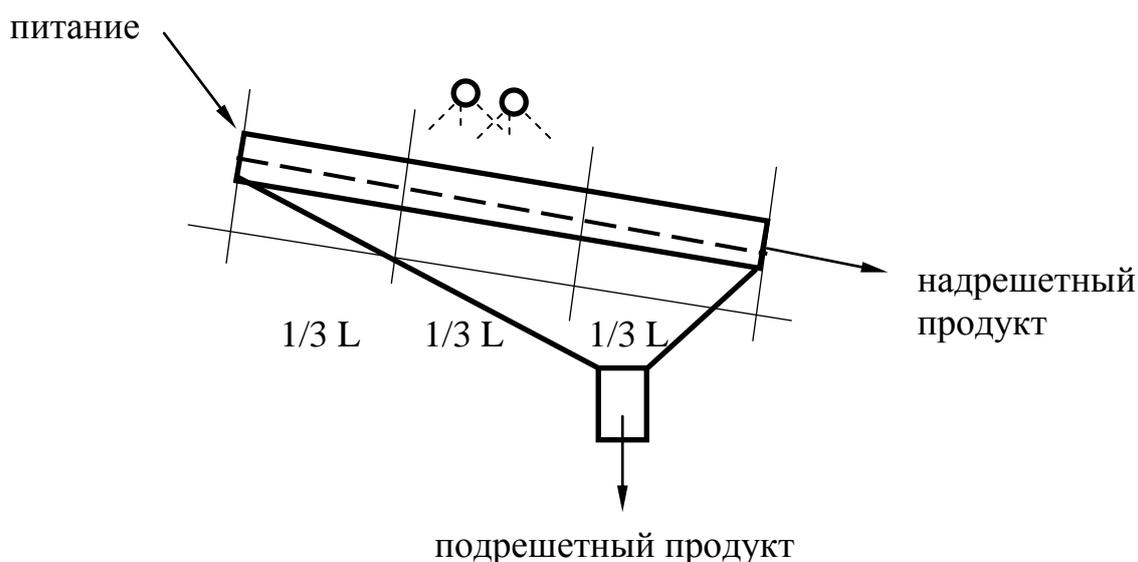


Рис. 2.9. Промывка материала на обезвоживающем грохоте

Но большие ускорения вредны:

- 1) из-за хрупкости частиц;
- 2) они могут вызвать подъем и массы гравитационной воды вместе с частицами, особенно в начале грохота, когда материал еще представляет собой пульпу.

Это ведет к переизмельчению материала или к увеличению времени обезвоживания.

Показатель вертикального перемещения частиц определяется как:

$$U = (n^2 a / 90\,000) (\sin (\alpha + \beta) / \cos \beta),$$

где n – частота колебаний,

a – размах колебаний (амплитуда),

α – угол наклона сита,

β – угол, под которым действует возбуждающая сила.

Вертикальные перемещения начинаются при $U = 1$. Высота подъема частиц над ситом тем больше, чем больше U . Обычно $1,4 < U < 4-5$.

Особенно трудно обезвоживать материал, содержащий частицы, близкие по размерам к коллоидным (глина). Для таких материалов используется промывка водой, что снижает влажность и зольность надрешетного продукта.

Процесс обезвоживания на грохоте можно разделить на 3 этапа:

1 этап ($1/3L$) – предварительное обезвоживание. Твердая фаза осаждается на сите, основная масса воды удаляется через слой материала и отверстия сита.

2 этап ($1/3L$) – промывка. Здесь на грохот подается вода из брызгал и отмывается основная масса тонких и глинистых частиц. Эффективность промывки зависит от конструкции брызгал и их расположения, расхода воды.

3 этап ($1/3L$) – окончательное обезвоживание. Здесь удаляются остатки свободной и капиллярной влаги. В течение этапов 2 и 3 происходит попеременное разрыхление и уплотнение осадка. В результате переформирования структуры разрушаются капилляры в осадке и удаляется капиллярная влага.

В последнее время появились высокочастотные грохоты типа ГВЧ. Особенностью их является повышенная частота вибраций сита при той же амплитуде. Это обеспечивает возможность достижения высоких значений ускорений и, соответственно, сил инерции, действующих на частицы. На этих грохотах возможно обезвоживание частиц класса 0,2-3 мм из состояния пульпы с содержанием твердого 30-40% до влажности порядка 25%.

Оригинальное конструктивное решение имеют грохоты типа «Банан» с переменным углом наклона просеивающей поверхности (рис. 2.10). Разгрузочная часть сита грохота имеет отрицательный угол наклона, т.е. она приподнята по отношению к остальной поверхности сита. Это увеличивает время нахождения материала на сите и эффективность обезвоживания.

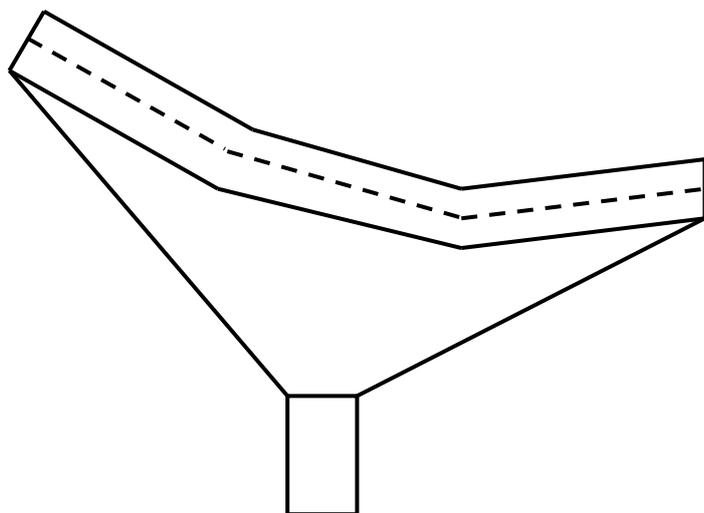


Рис. 2.10. Принципиальная схема грохота «банан»

Удельная производительность грохотов и влажность надрешетного продукта зависят от диаметра отверстий сита и крупности материала.

Т.к. время обезвоживания и минимальная влажность зависят от вязкости и поверхностного натяжения воды, то эффективность обезвоживания можно повысить химическим (обработка ПАВ) или механическим путем (подача воды для промывки; обдувка сжатым воздухом).

Вопросы для самоконтроля.

1. Перечислите основные факторы, влияющие на скорость дренирования.
2. Как определяется скорость фильтрации?
3. На каком оборудовании выполняется дренирование в статических условиях?
4. Как вычисляется необходимое число ячеек обезвоживающего бункера?
5. Укажите различия в конструкции обезвоживающих элеваторов ЭО и ЭОС.

6. На каком оборудовании выполняется дренирование в кинетических условиях?
7. Опишите принцип работы конусного грохота.
8. Охарактеризуйте 3 этапа обезвоживания на грохотах.

Глава 3

ФИЛЬТРОВАНИЕ

Фильтрованием называется процесс истечения жидкости через слой осадка под действием разности давлений.

Схема процесса фильтрования в общем случае имеет следующий вид (рис. 3.1).

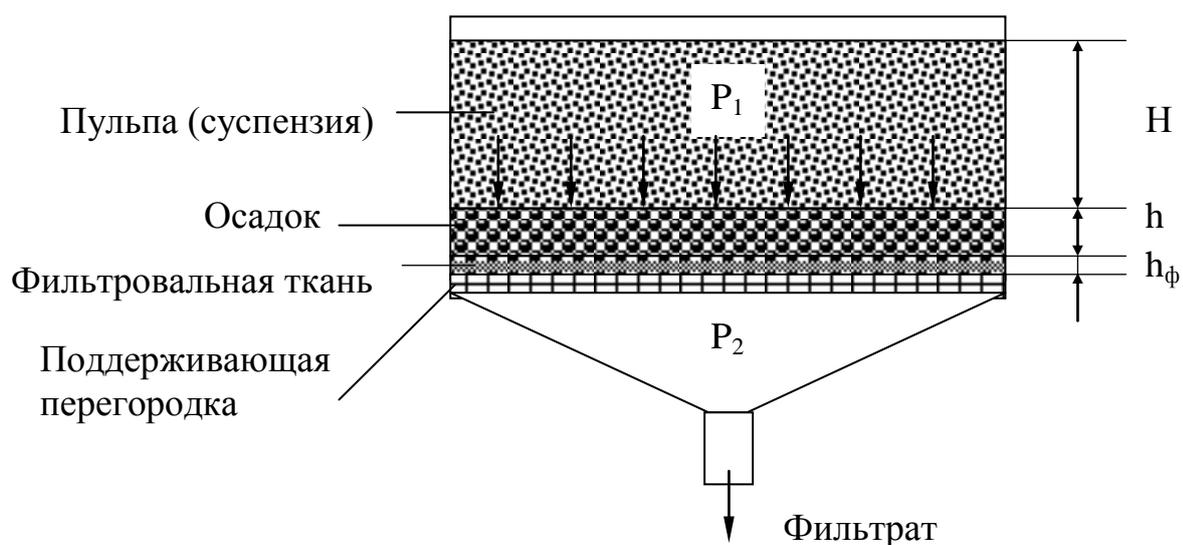


Рис. 3.1. Схема процесса фильтрования под действием перепада давлений

Под действием разности давлений $\Delta P = P_1 - P_2$ жидкость проходит через поры ткани, а твердая фаза задерживается. С течением времени высота слоя сuspension H будет уменьшаться, а толщина осадка h увеличиваться. Фильтрование будет идти, пока не установится равенство $H=0$. В этот момент h будет max . Толщина фильтровальной ткани постоянна.

При ламинарном режиме течения жидкости по капиллярам скорость фильтрации определяется по закону Дарси:

$$W = K j,$$

где K – коэффициент фильтрации,
 j – гидравлический градиент:

$$j = \Delta P / \delta_{жс} h,$$

где ΔP – перепад давлений на входе и выходе из пористого слоя (сопротивление пористого слоя);

h – высота слоя материала.

Коэффициент фильтрации K характеризует одновременно свойства пористой среды и свойства жидкости и зависит от пористости, размера и формы частиц, вязкости [4, 5].

Для характеристики фильтрационных свойств среды, независимо от рода жидкости, формулу для скорости фильтрации можно представить в виде:

$$w = C / \mu \cdot \Delta P / h,$$

где C – проницаемость пористой среды, м^2 .

Проницаемость – гидродинамический параметр пористой среды, который зависит от внешних нагрузок, приложенных к сжимаемой пористой среде.

Различают два типа осадков – *сжимаемые* и *несжимаемые*. К сжимаемым осадкам относятся материалы коллоидной структуры. Они изменяют свою пористость под действием приложенного давления и плохо фильтруются (глина, торф).

Несжимаемые осадки имеют зернистую или кристаллическую структуру и при фильтровании сохраняют ее жесткость и пористость независимо от давления. Хорошо фильтруются и имеют низкую влажность.

Фильтрацию можно рассматривать как течение жидкости через капилляры (рис. 3.2).

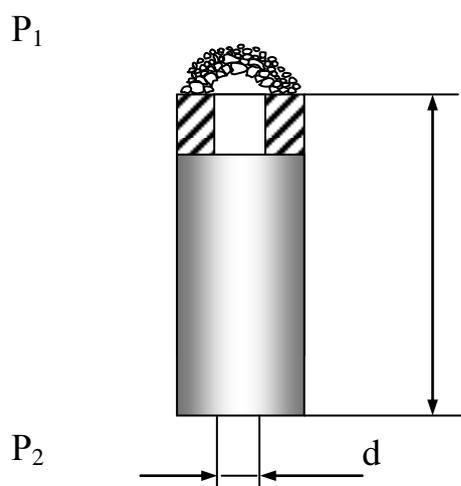


Рис. 3.2. Капилляр с образовавшимся на входе сводом из твердых частиц

Рассматривая капилляры как серию каналов, можно применить закон Пуазейля для установившегося ламинарного движения

вязкой несжимаемой жидкости по трубе круглого сечения. По закону Паузейля объем воды, протекающей через сечение капиллярной трубки в единицу времени ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$V = \pi / 128 \cdot \Delta P d^4 / l \mu,$$

где ΔP – разность давлений у входа в капилляр и на выходе из него;

d – диаметр капилляра;

l – длина капилляра;

μ – вязкость жидкости.

Скорость фильтрации будет определяться следующей формулой:

$$w = V / F = V 4 / \pi d^2 = \pi / 128 \cdot \Delta P d^4 / l \mu \cdot 4 / \pi d^2 = \Delta P d^2 / 32 l \mu.$$

Выражение $d^2 / 32 l = 1/R$, откуда $R = 32 l / d^2$ характеризует сопротивление движению воды, возникающее в капиллярной трубке. Тогда:

$$w = \Delta P / \mu R.$$

Сопротивление R складывается из сопротивлений осадка R_{oc} и фильтрующей поверхности R_{ϕ} :

$$R_{oc} = r_{oc} h; R = r_{oc} h + R_{\phi},$$

где $r_{oc} h$ – удельное сопротивление слоя осадка единичной толщины;

h – толщина слоя осадка;

R_{ϕ} – сопротивление фильтрующей поверхности.

Удельное сопротивление полностью характеризуется свойствами капилляров и зависит от крупности частиц. Тогда:

$$w = \Delta P / \mu (r_{oc} h + R_{\phi}).$$

Высота осадка зависит от объема фильтрата V и объема осадка V_{oc} . При фильтровании пульпы постоянной плотности отношение объема осадка к объему фильтрата постоянно и определяется как:

$$\alpha = V_{oc} / V.$$

Этот параметр называют *удельным объемом осадка*.

Отсюда:

$$V_{oc} = \alpha V.$$

Тогда толщина осадка будет:

$$h = V_{oc} / F = \alpha V / F.$$

После подстановки получим:

$$\Delta P / \mu (r_{oc} \alpha V / F + R_{\phi}) = (1 / F) dV / dt,,$$

$$\Delta P F / \mu (r_{oc} \alpha V / F + R_{\phi}) = dV / dt,$$

$$\Delta P F^2 / \mu (r_{oc} \alpha V + R_{\phi} F) = dV / dt,$$

$$\Delta P F^2 dt = \mu (r_{oc} \alpha V + R_{\phi} F) dV,$$

$$dt = (\mu / \Delta P F^2) \cdot (r_{oc} \alpha V dV + R_{\phi} F dV);$$

$$\int V dV = V^2 / 2 .$$

После интегрирования получим:

$$t = (\mu r_{oc} \alpha / \Delta P F^2) \cdot V^2 / 2 + (\mu R_{\phi} F / \Delta P F^2) \cdot V + C,$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

$$A_1 = \mu R_{\phi} / \Delta P F; \quad A_2 = \mu r_{oc} \alpha / 2 \Delta P F^2,$$

$$t = A_1 V + A_2 V^2 + C.$$

A_1 и A_2 называются константами фильтрования. При $t = 0$, $C = 0$, т.к. $V = 0$.

Представим уравнение в виде:

$$t / V = A_2 V + A_1.$$

Функция $t/V = f(V)$ представляет собой зависимость типа $y = ax + b$. Эту зависимость строят после проведения экспериментов и на ее основе определяют константы фильтрования A_1 и A_2 (рис. 3.3).

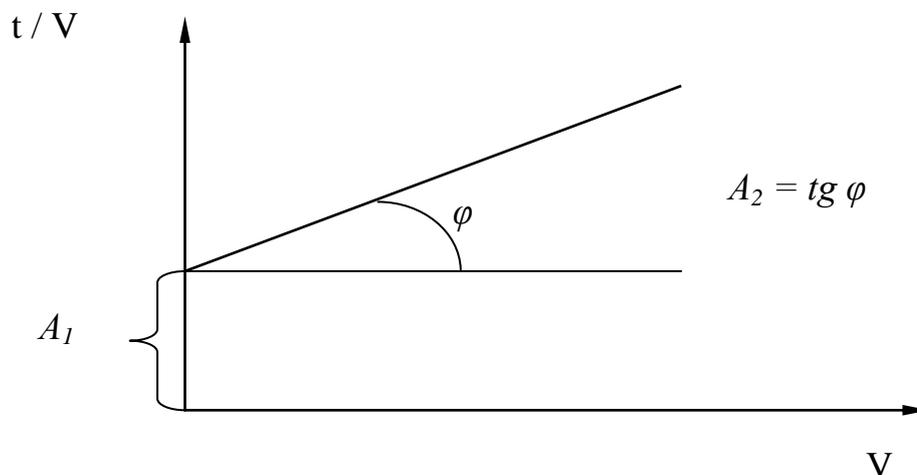


Рис. 3.3. Экспериментальная характеристика фильтруемости осадка

Для сжимаемых осадков из-за сужения каналов фильтрации снижается пористость осадка, сопротивление осадка увеличивается. Т.е. зависимость между скоростью фильтрации и давлением нелинейная. Экспериментально определено, что

$$r_{oc} = r' \cdot P^n,$$

Здесь r' – удельное сопротивление данного осадка при $P = 1$ кг/см².

При этом давлении можно пользоваться формулой для несжимаемого осадка. Но при больших давлениях (в фильтр-прессах) в выведенные формулы вместо r_{oc} подставляется $r' \cdot P^n$.

Тогда уравнение фильтрации для сжимаемых осадков имеет вид:

$$dV/dt = \Delta P F^2 / \mu (r' \cdot P^n \alpha V + R_\phi F).$$

На эффективность процесса фильтрования влияют: содержание твердого в суспензии, крупность твердой фазы, значение перепада давлений ΔP , частота вращения рабочего органа фильтра, свойства фильтрующей перегородки.

Содержание твердого (C , %) влияет на толщину осадка h , влажность W^r , удельную производительность q . Увеличение плотности пульпы в питании фильтра приводит к увеличению удельной производительности, влажности и толщины осадка (рис. 3.4).

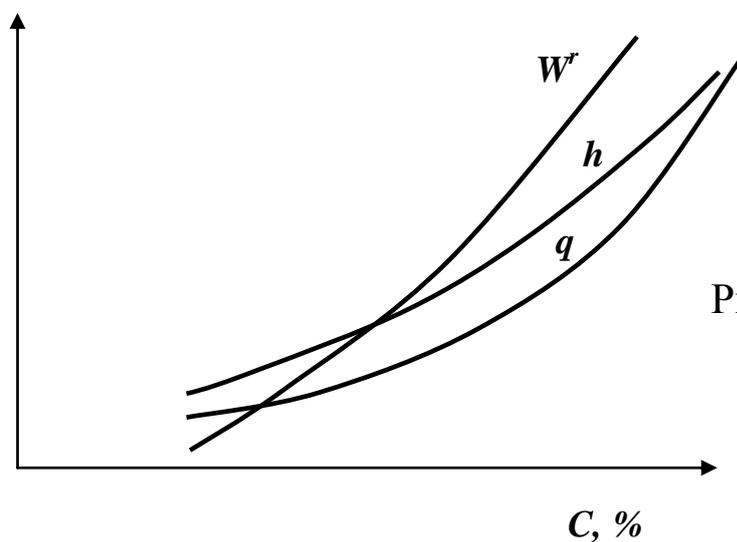


Рис. 3.4. Влияние содержания твердого на параметры фильтрации

Кроме того, в плотной суспензии наблюдается меньшее расслоение в ванне фильтра по крупности, поэтому получается осадок более равномерный по гранулометрическому составу, чем в разбавленных суспензиях.

Крупность частиц твердой фазы суспензии, поступающей на фильтрацию, также существенно влияет на параметры процесса. Увеличение содержания тонких классов в питании фильтра приводит к повышению влажности осадка и снижению удельной производительности, так как с уменьшением крупности увеличивается удельная поверхность частиц, а, следовательно, и их влагоудерживающая способность.

Влияние разрежения (перепада давления ΔP) на процесс фильтрации выражается зависимостью:

$$\Delta P_1 / \Delta P_2 = (Q_1 / Q_2)^2,$$

где Q_1 и Q_2 – производительность фильтра при перепадах давления, соответственно ΔP_1 и ΔP_2 .

При фильтровании целесообразно использовать более низкое разрежение в зоне фильтрации и более высокое в зоне подсушки осадка. Повышение вакуума в зоне подсушки увеличивает количе-

ство отсасываемого воздуха, что способствует снижению влажности осадка.

Частота вращения рабочего органа: при ее снижении увеличивается время фильтрования и просушки осадка, снижается его влажность, но падает производительность.

Нагрев пульпы понижает вязкость и поверхностное натяжение, а также вызывает некоторую флокуляцию мелких частиц. Это увеличивает скорость фильтрации и снижает влажность.

Фильтрующие перегородки бывают следующих видов [5, 6]:

- сетки (металлические и плетеные);
- ткани (хлопчатобумажные, шерсть, синтетические, стеклотканевые, комбинированные).

Фильтрующие перегородки должны удовлетворять требованиям:

- 1) эффективно задерживать твердое;
- 2) иметь небольшое гидравлическое сопротивление;
- 3) легко регенерироваться;
- 4) быть прочными и износостойкими.

Роль перегородки значительна в начальный период фильтрования, когда начинается отложение первых слоев осадка. Далее осадок выполняет функции фильтрующей перегородки, а перегородка служит опорой для осадка.

Толстые жесткие ткани легче засоряются, чем тонкие гибкие. Ворсистые и многослойные хлопчатобумажные ткани лучше задерживают частицы при сохранении достаточной проницаемости, чем гладкие и металлические сетки. Здесь проницаемость высокая, но недостаточна задерживающая способность.

Ткани забиваются не только тончайшими частицами, но и отложениями из водной части пульпы. Отложения располагаются в углублениях ткани и между нитями, образуя флокулы. Эти образования не разрушаются при промывке или распускании ткани.

На интенсивность засорения фильтровальных тканей влияет:

- 1) крупность фильтруемых частиц;
- 2) степень агрегации частиц (развитие процессов коагуляции);
- 3) природа ткани;
- 4) знак и величина зарядов частиц и волокон ткани;
- 5) мажущие свойства твердого (зависят от размера, формы и степени гидратации частиц).

Синтетические фильтроткани засоряются в меньшей степени, чем хлопчатобумажные. Это объясняется тем, что волокна синтетических тканей гладкие, а их гидрофобность почти не снижается в процессе работы.

Для предотвращения засорения фильтротканей и улучшения процесса фильтрации применяют поверхностно-активные вещества, полиспирты и другие реагенты.

Вопросы для самоконтроля.

1. Опишите схему процесса фильтрации под действием перепада давления.
2. Что такое «проницаемость пористой среды»?
3. Типы осадков. Вывод уравнения фильтрации для несжимаемых осадков.
4. Как определяется удельный объем осадка?
5. Укажите основные факторы, влияющие на процесс фильтрации.
6. Как влияет содержание твердого в питании фильтра на параметры его работы?
7. Основные требования, предъявляемые к фильтрующим перегородкам.
8. Факторы, влияющие на интенсивность засорения фильтровальных тканей.

Глава 4

КОНСТРУКЦИИ ВАКУУМ – ФИЛЬТРОВ

Для обезвоживания флотационных концентратов и крупнозернистых шламов применяются вакуум-фильтры непрерывного действия: дисковые, барабанные и ленточные. В практике наибольшее распространение получили дисковые фильтры.

4.1 Дисковые вакуум-фильтры

Общий вид наиболее производительного вакуум-фильтра «Сибирь» показан на рис. 4.1.

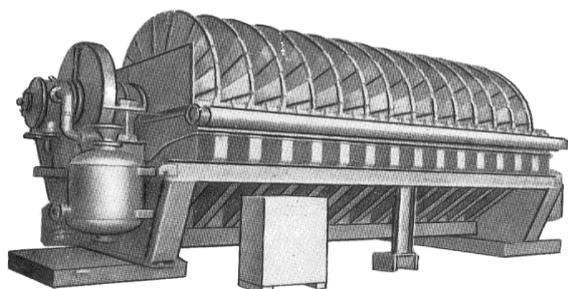


Рис. 4.1. Общий вид дискового вакуум-фильтра «Сибирь»

Дисковые вакуум-фильтры имеют ванну, в которой выше уровня пульпы расположен горизонтальный вал (рис. 4.2).

На валу вертикально расположены диски, собранные из отдельных пустотелых секторов, обтянутых фильтровальной тканью. Вал фильтра имеет проточки (каналы) по всей длине и ячейки, к которым присоединяются секторы. Число секторов может быть 12-16-18, число дисков от 1 до 14.

При вращении дисков каждый ряд секторов через каналы ячейкового вала сообщается с различными полостями распределительной головки, прижатой к торцам вала. При этом секторы последовательно проходят зоны набора осадка (фильтрования), просушки осадка, отдувки, регенерации фильтроткани. Зоны набора и просушки осадка соединены с вакуум-проводом, зоны отдувки и регенерации – с линией сжатого воздуха.

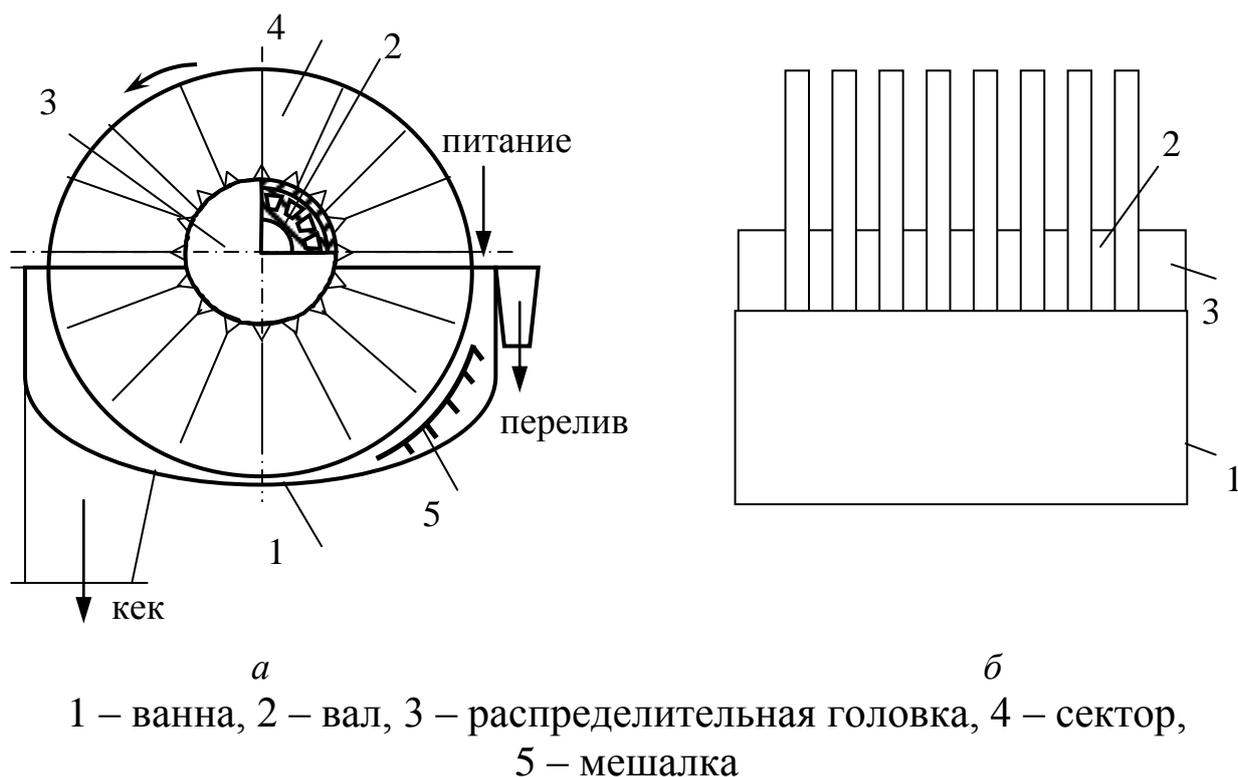
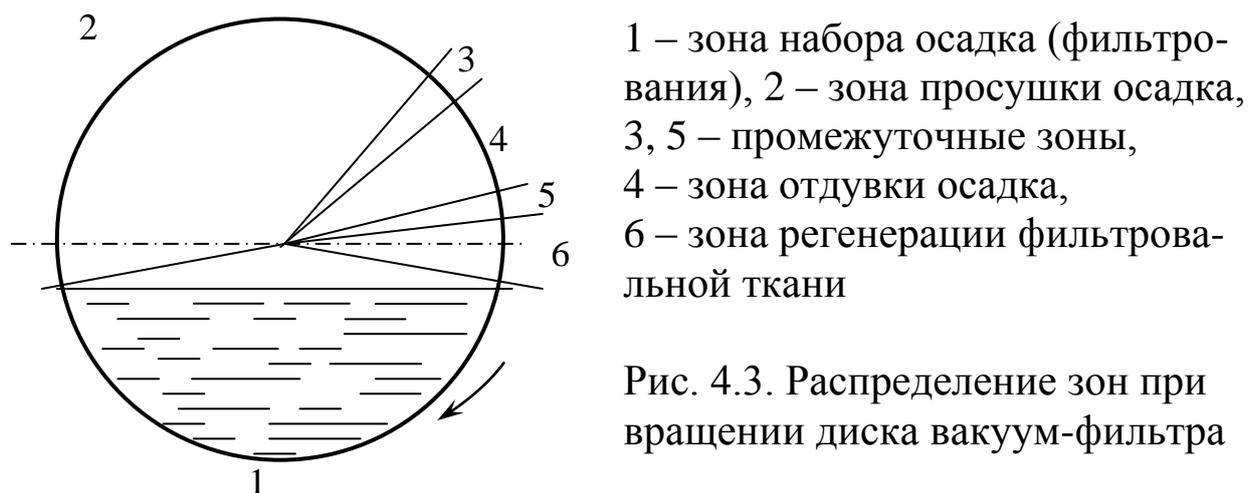


Рис. 4.2. Поперечный разрез (*a*) и продольный вид (*б*) дискового вакуум-фильтра

Схема распределения зон представлена на рис. 4.3.



В зоне фильтрования под действием разрежения происходит набор осадка на секторы и просасывание жидкости через слой осадка и фильтровальную ткань. Фильтрат собирается во внутренней полости секторов, откуда по каналам в ячейковом валу и через

распределительную головку удаляется в сборник фильтрата. В зоне просушки вместе с остатками воды в слой осадка засасывается также и воздух. В зоне отдувки осадок отделяется от фильтроткани сжатым воздухом и разгружается в карманы ванны. Для облегчения отделения осадка в кармане, куда он разгружается, имеются специальные ножи. Сжатый воздух подается с помощью клапана мгновенной отдувки. В зоне регенерации фильтроткань продувается воздухом или промывается водой.

Между зонами набора и просушки осадка устроена промежуточная зона, которая позволяет поддерживать две ступени вакуума – более низкий в зоне всасывания и более высокий в зоне обезвоживания. Остальные промежуточные зоны необходимы для того, чтобы сектор не попадал одновременно в зону действия вакуума и сжатого воздуха. Вакуум в зонах набора и просушки устанавливается в зависимости от свойств материала. Например, при плотной пульпе при высоком вакууме в зоне набора может набраться толстый слой осадка, который не успеет просушиться. На угольных пульпах поддерживают более высокий вакуум в зоне набора, часто работают с одинаковым вакуумом.

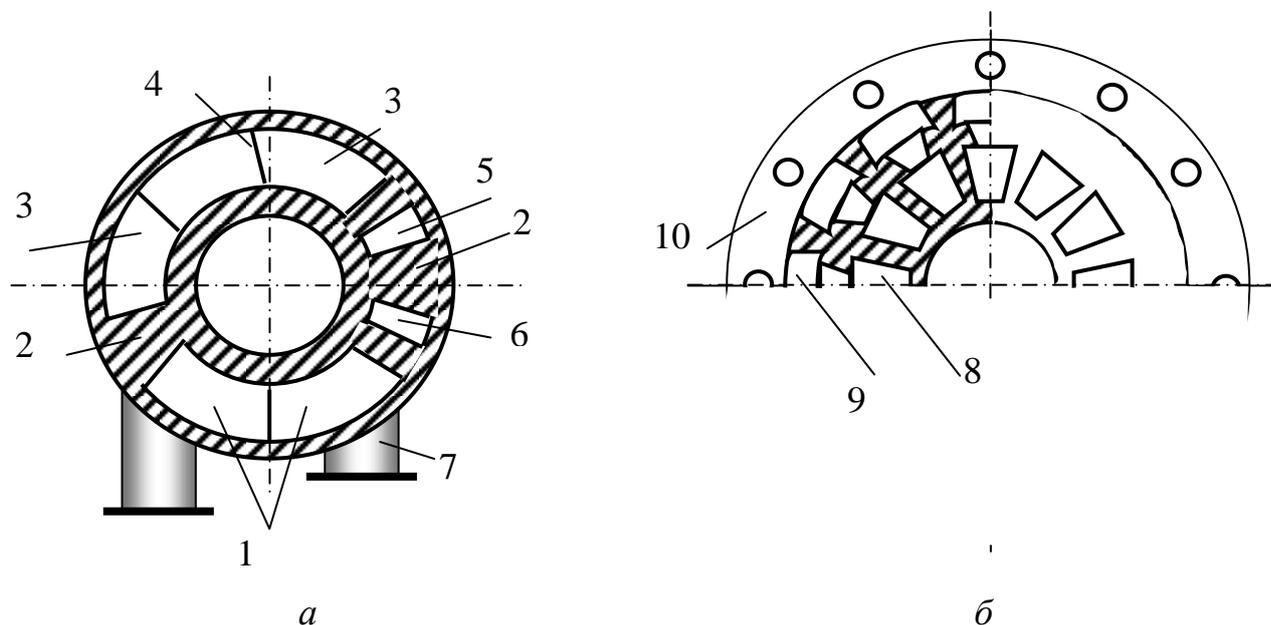
Фильтры с 2-6 дисками имеют 1 распределительную головку, а с 8 и более – 2. Распределительные головки примыкают к торцам ячейкового вала, на котором укрепляется подвижная ячейковая шайба, а на головке – неподвижная шайба. Это предохраняет головку и торец вала от истирания. Отверстия шайбы совпадают с отверстиями каналов ячейкового вала и с полостями распределительной головки. Устройство распределительной головки и ячейкового вала показано на рис. 4.4.

Срок службы фильтров рассчитан на 10 лет, коэффициент технического использования – 0,98.

Для обезвоживания продуктов обогащения используются дисковые вакуумные фильтры типа ДОО (Д – дисковый вакуум-фильтр; О – общего назначения; О – сьем осадка отдувкой сжатым воздухом). Они предназначены для разделения суспензий, содержащих до 70% весовых твердого с плотностью твердой фазы до 5000 кг/м³ и образующих нерастрескивающийся, и не требующий промывки осадок.

Уникальность конструкции дисковых вакуум-фильтров ДОО заключается в большой фильтровальной поверхности, при сравни-

тельно небольших занимаемых площадях. Это обеспечивает фильтрам ДОО высокую производительность, что в свою очередь, определяет фильтры ДОО самым эффективным фильтровальным оборудованием среди вакуум-фильтров.

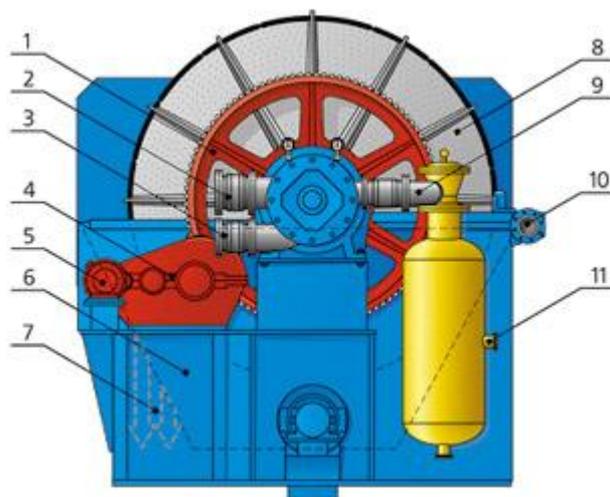


1 – полость вакуума, 2 – мост разделения зон, 3 – полость вакуума в зоне просушки, 4 – ребро жесткости, 5 – подача сжатого воздуха (отдувка), 6 – подача сжатого воздуха (регенерация ткани), 7 – штуцеры для отвода фильтрата, 8 – каналы вала, 9 – место установки секторов (горловина), 10 – соединительный фланец

Рис. 4.4. Устройство распределительной головки (а) и вала (б) фильтра

Влажность получаемого кека, в зависимости от гранулометрического состава твердой фазы суспензии (на продуктах ультратонкого помола при добавлении поверхностно-активных реагентов), может достигать 8,7-9,0% при производительности от 400 до 2000 кг/м² площади фильтра [7].

На рис. 4.5 представлены основные узлы вакуум-фильтров ДОО, а в табл. 4.1 – технические характеристики фильтров ДОО.



1 – шестерня привода, 2 – отдувка (съем осадка), 3 – отвод фильтрата, 4 – редуктор привода, 5 – двигатель, 6 – корыто, 7 – выгрузка осадка, 8 – фильтровальные диски, 9 – сушка осадка, 10 – труба подачи суспензии, 11 – к вакуум-насосу

Рис. 4.5. Вакуум-фильтр ДОО

Таблица 4.1. Технические характеристики вакуум-фильтров ДОО

Тип фильтра	ДОО 16	ДОО 32	ДОО 50	ДОО 63	ДОО 80 «Укра- ина»	ДОО 100	ДОО 160	ДОО 160 «Дон- басс»	ДОО 250
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Площадь по- верхности фильтрования, м ²	16	32	50	63	80	100	160	160	250
Диаметр дис- ков, м	2,5	2,5	2,5	2,5	2,7	2,5	3,2	3,75	3,75
Установленная мощность, кВт	1,49	3,46	5,3	6,9	3,9	8,0	13,0	11,0	13,0
Рабочее дав- ление, МПа	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085	0,085
Габаритные размеры, мм									

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
• длина	2800	3600	4400	5500	6640	7400	7400	7200	9500
• ширина	3200	3200	3200	3200	3230	4000	4400	4300	4400
• высота	3300	3300	3300	3300	2950	4100	4500	4100	4600
Масса (без приводов), кг	4540	6300	8500	10100	10710	15180	24000	24890	32500

Специалистами ОАО "Бердичевский машиностроительный завод "Прогресс" разработана конструкция новых дисковых вакуумных фильтров с трубчатым ячейковым валом и литым чугунным валом увеличенного проходного сечения "ПРОГРЕСС-ДОО" площадью поверхности фильтрования 63 м² и 100 м².

Основными преимуществами данных фильтров являются:

- увеличенные проходные сечения каналов вала, позволившие значительно увеличить производительность фильтров;
- изготовление головок распределительных с увеличенным проходным сечением (Ду 350);
- введение в конструкцию распределительных и ячейковых шайб полностью или частично изготовленных из полиамидных материалов, увеличило их износостойкость более чем в 5 раз;
- изготовление трубчатого ячейкового вала сварной конструкции позволило повысить ремонтпригодность фильтра;
- применение пластиковых секторов "Tamfelt", с повышенным проходным сечением и выходным диаметром штуцера, увеличивает удельную производительность фильтра.

Повышенные требования к влажности конечного продукта обезвоживания привели к созданию напорных дисковых фильтров, работающих с перепадом давлений от 2 до 6 бар.

Гипербарические фильтры фирмы ANDRITZ SEPARATION имеют удельную производительность в 10 раз выше, чем в обычных вакуумных фильтрах [8]. Дисковый фильтр размещается в герметически закрытом напорном резервуаре (рис. 4.6). Разгрузка кека осуществляется через специальный шлюз.

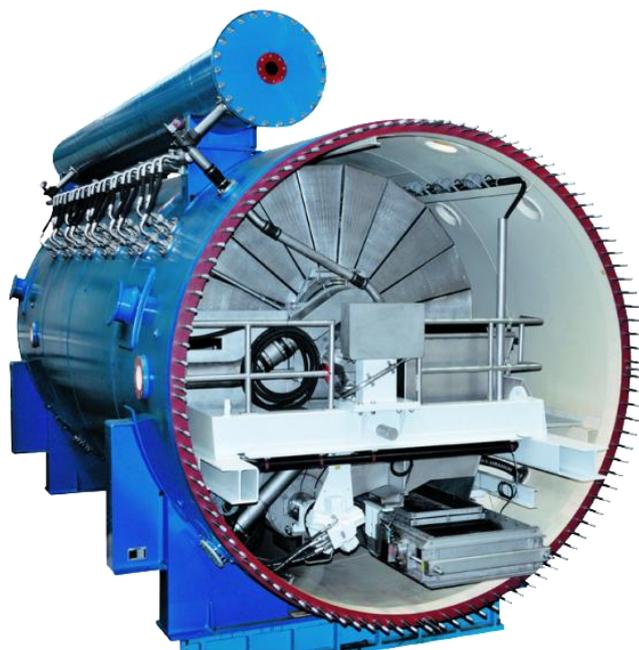


Рис. 4.6. Напорный дисковый фильтр ANDRITZ HBF

При давлении фильтрации до 6 бар напорные фильтры HBF позволяют обезвоживать большие объемы очень тонких суспензий с высоким сопротивлением фильтрации и получать минимальную остаточную влажность. Высокая удельная производительность позволяет максимально сократить нужную площадь фильтрации. На рис. 4.7 представлена компоновка напорного фильтра.



Рис. 4.7. Компоновка напорного фильтра HBF

Преимущества напорных фильтров перед обычными вакуум-фильтрами:

- максимально низкая остаточная влажность 15-18%;
- высокая производительность;
- чистый фильтрат;
- небольшая площадь расположения установки.

Технические характеристики напорных дисковых фильтров приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Типоразмеры фильтров под давлением

Тип	НBF 72 m ²	НBF 96 m ²	НBF 120 m ²	НBF 168 m ²
Производительность по твердому, т/ч	45-55	55-65	70-80	100-110
Количество дисков, шт.	6	8	10	12
Диаметр диска, м	3	3	3	3,3
Диаметр резервуара, м	4,2 или 4,8	4,2 или 4,8	4,2 или 4,8	4,8
Длина резервуара, м	8,28	9,48	10,68	12,58

4.2 Барабанные фильтры

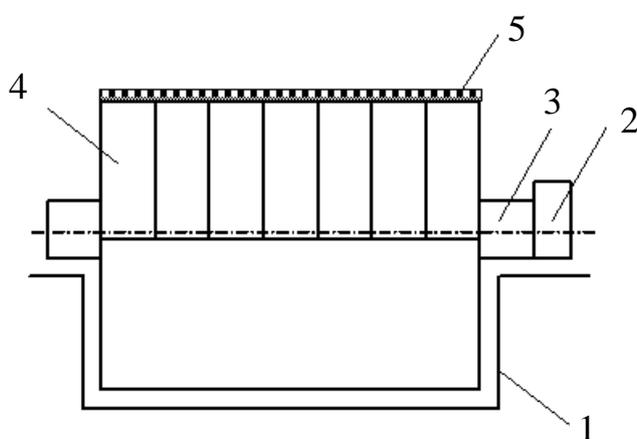
Для фильтрования тонких осадков применяют барабанные фильтры.

В зависимости от конструктивного исполнения они подразделяются на:

- фильтры вакуумные барабанные ячейковые с наружной фильтрующей поверхностью с ножевым съемом осадка;
- фильтры вакуумные барабанные ячейковые с наружной фильтрующей поверхностью со съемом осадка сходящим полотном;
- фильтры вакуумные барабанные с внутренней фильтрующей поверхностью.

Барабанный вакуумный фильтр с наружной фильтрующей поверхностью с ножевым съемом осадка (рис. 4.8) по принципу действия аналогичен дисковому.

Пространство барабана разделено по окружности на разоб-щенные секции (ячейки) – в ребрах между ячейками имеются пазы, в которые при экипировке барабана закладывают резиновые шнуры, уплотняя фильтровальную перегородку. Каждая ячейка имеет отводящий канал с выходом на торцовую поверхность цапфы барабана. К этой поверхности прижата неподвижная распределительная головка. Ячейки при вращении барабана последовательно сообщаются с камерами распределительной головки.



1 – корыто, 2 – распределительная головка, 3 – цапфа, 4 – ячейка, 5 – фильтровальная ткань

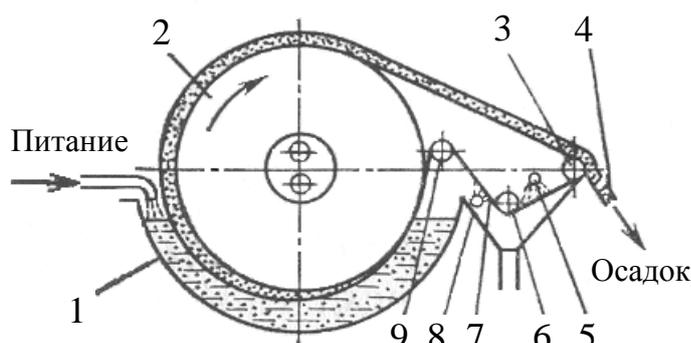
Рис. 4.8. Барабанный вакуум-фильтр с наружной фильтрующей поверхностью

Для съема образующегося на поверхности барабана осадка на корыте установлен нож. Кроме того, в зоне съема осадка ножом происходит его отдувка сжатым воздухом через распределительную головку. В корыто опущена мешалка, которая поддерживает твердую фазу суспензии во взвешенном состоянии. Вращение барабана и качание мешалки осуществляется от приводов. Привод барабана обеспечивает бесступенчатое регулирование скорости вращения барабана в диапазоне 1:10.

Барабанные вакуумные фильтры с наружной фильтрующей поверхностью с ножевым съемом осадка общего назначения **типа БОН** выпускаются в широком диапазоне площади фильтрации (от 1 до 30 м²) с диаметрами барабана от 1,0 до 2,6 м.

Барабанные фильтры вакуумные ячейковые с наружной фильтрующей поверхностью со съемом осадка сходящим по-

лотном эффективны для работы с трудно фильтруемыми суспензиями, у которых твердая фаза быстро забивает илом фильтровальную ткань. Конструкция и принцип действия в целом аналогичен фильтрам типа БОН. Основное отличие заключается в том, что фильтровальная перегородка не закреплена на поверхности барабана (рис. 4.9).



1 – ванна, 2 – барабан, 3 – разгрузочный ролик, 4 – нож, 5 – брызгала, 6 – промывной ролик, 7 – фильтровальная ткань, 8 – лоток, 9 – направляющий ролик

Рис. 4.9. Схема работы барабанного вакуум-фильтра со сходящим полотном

Она изготовлена в виде замкнутого полотна и охватывает барабан в зонах фильтрования, промывки и просушки осадка. В зоне съема осадка полотно переходит на систему роликов, огибает их, сбрасывает осадок, а затем промывается и снова поступает на барабан со стороны его погружения в суспензию. Ролики обеспечивают равномерное натяжение полотна, предотвращают образование на нем складок и сход его с барабана. Таким образом осуществляется непрерывная и эффективная регенерация фильтровального полотна на каждом обороте барабана. Это позволяет обеспечить стабильную работу фильтра и значительно увеличить срок службы фильтровального полотна.

Общий вид барабанного вакуум-фильтра со сходящим полотном представлен на рис. 4.10.

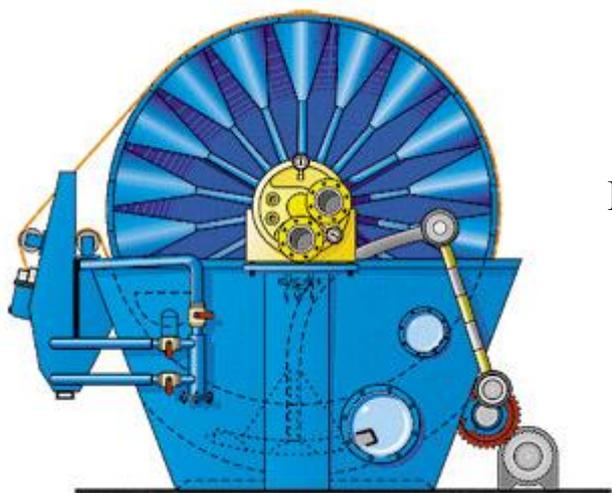


Рис. 4.10. Общий вид барабанного вакуум-фильтр со сходящим полотном БОП

Технические характеристики барабанных вакуум-фильтров типа БОП приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3. Технические характеристики барабанных вакуум-фильтров типа БОП

Тип фильтра	Площадь фильтрации, м ²	Диаметр барабана, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, кг
БОП 5-1,8-1	5	1,8	2900x3000x2600	2950
БОП 10-1,8-1	10	1,8	4000x3000x2600	3600
БОП 20-2,4-1	20	2,4	5000x4000x3700	7800
БОП 30-2,4-1	30	2,4	6200x4000x3700	9300
БОП 40-3,0-1	40	3,0	6245x3900x3300	11470
БОП 60-3,75-1	60	3,75	8000x543x 4075	21360
БОП 80-3,75-1	80	3,75	9800x5750x4075	29350

Пример условного обозначения:

БОП 20-2,4-1У

Б – барабанный фильтр;

О – общего назначения;

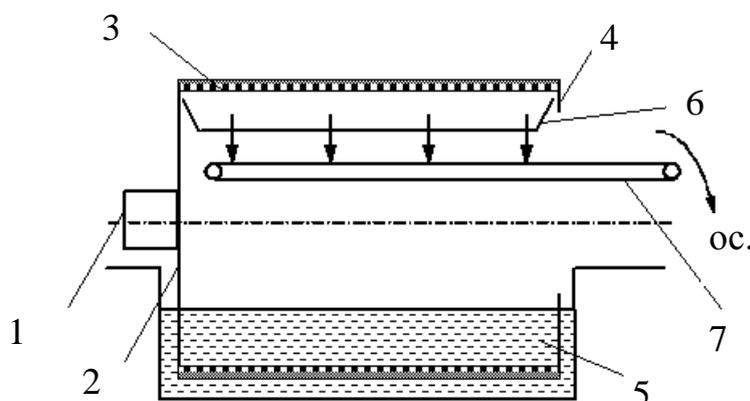
П – сьем осадка сходящим полотном с системой непрерывной регенерации ткани;

20 – поверхность фильтрования, м²;

2,4 – диаметр барабана, м;

1 – номер модели;

Барабанный вакуум-фильтр с внутренней фильтрующей поверхностью (рис. 4.11) работает по такому же принципу, как и фильтры с наружной фильтрующей поверхностью. Применяется для пульп с высоким содержанием быстрооседающей твердой фазы.



1 – распределительная головка, 2 – глухая крышка, 3 – фильтровальная ткань, 4 – кольцевой борт, 5 – пульпа, 6 – воронка, 7 – конвейер

Рис. 4.11. Барабанный вакуум-фильтр с внутренней фильтрующей поверхностью

Барабанные вакуум-фильтры с внутренней фильтрующей поверхностью представляют собой горизонтальный цилиндр (барабан), закрытый с одной стороны сплошной стенкой, а с другой – кольцевым бортом. Внутренняя поверхность барабана имеет ячейки, покрытые фильтровальной тканью. Суспензия заливается внутрь барабана и заполняет его нижнюю часть до уровня, соответствующего высоте кольцевого борта. При вращении барабана на каждой ячейке последовательно протекают операции фильтрации и просушки осадка воздухом. Промывка осадка не проводится. В верхней части барабана осадок отдувается воздухом и падает на транспортер или другое устройство для его удаления. Ткань регенерируется продуваемым через нее воздухом или паром.

4.3 Ленточные вакуум-фильтры

Ленточные вакуум-фильтры предназначены для разделения, преимущественно, быстроосаждающихся суспензий с твердой фа-

зой неоднородной крупности и могут быть использованы в тех случаях, когда при фильтровании под вакуумом образуется слой осадка толщиной не менее 4 мм за время не более 4 минут.

Ленточный вакуумный фильтр типа ЛОН с ножевым съемом осадка состоит из бесконечной дренажной ленты, натянутой между приводным и натяжным барабаном (рис. 4.12).

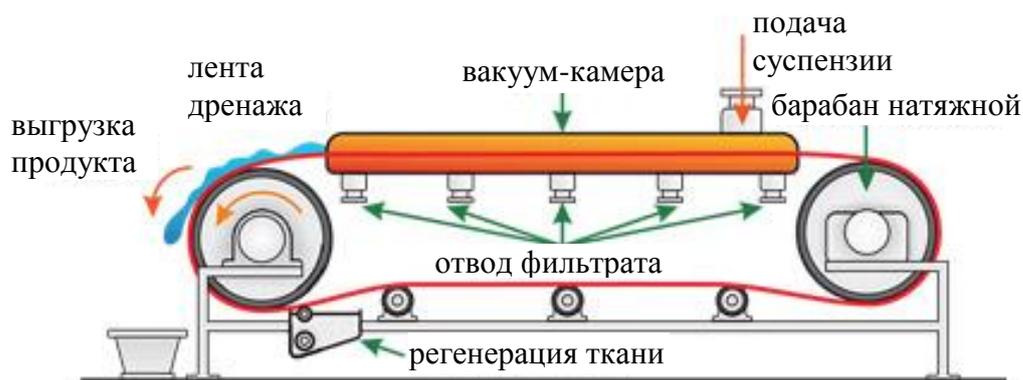
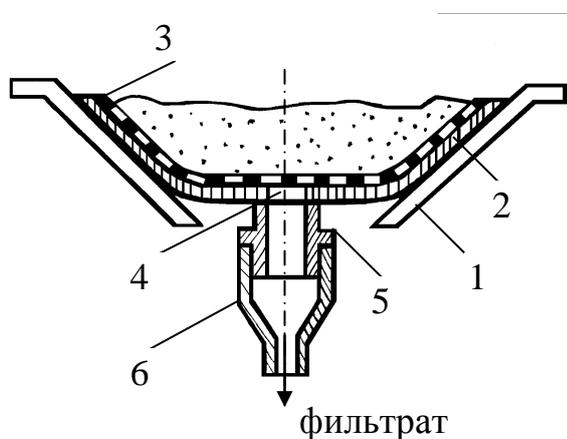


Рис. 4.12. Схема работы ленточного вакуумного фильтра типа ЛОН

Верхняя ветвь ленты при своем движении скользит по вакуумному столу, имеющему отдельные разобщенные камеры. Нижняя ветвь ленты опирается на поддерживающие ролики. При переходе с натяжного барабана на плоскость стола отгибающиеся борта ленты поднимаются по боковым направляющим, и она принимает форму желоба (рис. 4.13).



1 – желоб, 2 – прорезиненная лента, 3 – фильтровальная ткань, 4 – отверстие в прорезиненной ленте, 5 – втулка, 6 – штуцер для отвода фильтрата

Рис. 4.13. Поперечный разрез ленточного фильтра

Суспензия подается на фильтровальную поверхность по лотку. Фильтрат проходит через фильтровальную перегородку и по дренажным каналам ленты отводится в первую вакуум-камеру. Образовавшийся осадок может быть промыт промывной жидкостью. Промывной фильтрат отводится через вторую и следующие вакуум-камеры.

При дальнейшем движении ленты осадок просушивается, отделяется от ткани при переходе на приводной барабан и падает на нож. На нижней ветви ленты фильтровальная ткань регенерируется жидкостью.

Дренажная лента резиноканевая, состоит из тканевых прокладок с резиновыми прослойками между ними. Рабочая поверхность ленты рифленая. Поперечные рифления сообщаются с продольным углублением посередине ленты. Через сквозные отверстия в ленте углубления сообщаются с полостями вакуум-камер.

Оптимальное обезвоживание обеспечивается за счет регулирования скорости вращения ленты с помощью преобразователей частоты переменного тока.

Ленточные вакуум-фильтры ЛОН характеризуются высокой надежностью, конструктивной простотой и легкостью обслуживания. Технические характеристики фильтров приведены в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Технические характеристики фильтров ЛОН

Технические характеристики	ЛОН 1,8	ЛОН 4,5	ЛОН 7,5	ЛОН 10	ЛОН 12
1	2	3	4	5	6
Площадь поверхности фильтрования, м ²	1,8	4,5	7,5	11,8	14,1
Перепад давления, МПа	0,084				
Длина вакуум-камеры, м	3,6	9,0	7,5	9,3	11,3
Ширина фильтрующей ленты, м	500	500	1250	1250	1250
Мощность привода, кВт, не более	4	5,7	11	12,5	15

Окончание таблицы 4.4

1	2	3	4	5	6
Габаритные размеры, мм, не более					
длина	5230	11720	8960	13500	14600
ширина	2170	2130	3150	3240	3240
высота	1435	1600	2100	2800	2590

В ленточных вакуумных фильтрах типа ЛОП фильтрование осуществляется через сходящее фильтровальное полотно (рис. 4.14). Отделение осадка производится в камере разгрузки путем критического перегиба фильтроткани. На нижней ветви ленты фильтровальная ткань регенерируется жидкостью [7, 10].

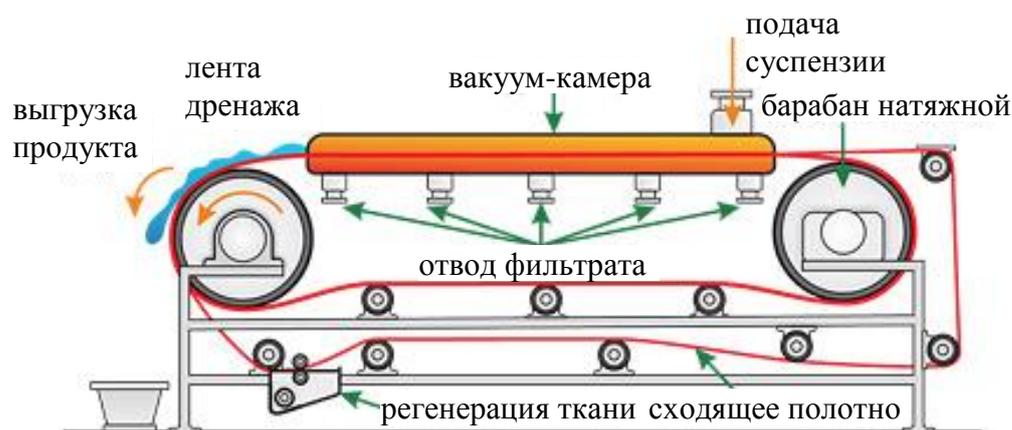


Рис. 4.14. Схема работы ленточного вакуумного фильтра типа ЛОП

Для обеспечения эффективности процесса фильтрования, равномерных показателей влажности и стабильной производительности, в зоне загрузки устанавливается уровнемер, который регулирует подачу исходной суспензии на фильтр путем регулирования оборотов привода насоса, или путем позиционирования положения запорной арматуры на подаче суспензии (в зависимости от типа фильтра). Технические характеристики фильтров типа ЛОП приведены в табл. 4.5.

Таблица 4.5. Технические характеристики фильтров ЛОП

Технические характеристики	ЛОП 4,5	ЛОП 10	ЛОП 12	ЛОП 15	ЛОП 30	ЛОП 60
Площадь поверхности фильтрования, м ²	4,5	40	12	15	30	60
Перепад давления, МПа, не более	0,05					
Мощность привода, кВт, не более	6,0	6,3	11,0	11,55	23,1	41,5
Габаритные размеры, мм, не более						
длина	12500	9720	11720	13720	10735	23900
ширина	2300	3830	3830	3830	5350	7320
высота	2000	1890	1890	1890	3550	3340

Вопросы для самоконтроля.

1. Область применения и устройство дисковых вакуум-фильтров.
2. Охарактеризуйте зоны дискового вакуум-фильтра.
3. Объясните устройство распределительной головки и вала.
4. В чем заключается основное отличие гипербарических фильтров от обычных вакуум-фильтров?
5. На какие виды подразделяются барабанные вакуум-фильтры в зависимости от конструктивного исполнения?
6. Опишите принцип действия барабанного вакуум-фильтра со сходящим полотном.
7. Для чего предназначены ленточные вакуум-фильтры?
8. Опишите принцип действия ленточного вакуумного фильтра типа ЛОН.

Глава 5

ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ. ВАКУУМНЫЕ СИСТЕМЫ

Для создания разрежения в процессе фильтрования применяются водокольцевые насосы, которые вместе с воздухом засасывают и воду (ВВН). Для отдувки сжатым воздухом применяются воздуходувки ВК – водокольцевые, и более экономичные – турбовоздуходувки.

Фильтрат и воздух, просасывающийся через осадок в зоне просушки, направляется в ресивер – приемник для разделения двухфазной системы на газ и жидкость. Ресивер выполнен в виде вертикального цилиндрического резервуара (рис. 5.1).

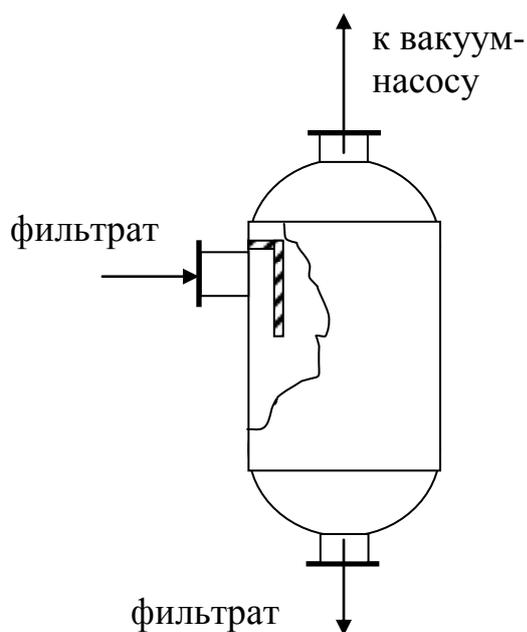


Рис. 5.1. Гравитационно-инерционный ресивер

Разделение смеси происходит под действием гравитационно-инерционных или центробежных сил в зависимости от радиальной или тангенциальной подачи потока. В отечественной практике применяются гравитационно-инерционные ресиверы. В ресивере поток резко снижает скорость за счет увеличения объема и изменения направления движения. Наталкиваясь на отбойник, поток разделяется.

Для предохранения вакуум-насосов от попадания в них жидкости и конденсированных паров из ресивера применяются барометрические конденсаторы – ловушки. Их устанавливают между ресивером и вакуум-насосом выше ресивера. Устройство ловушек аналогично ресиверу.

Ловушка сбоку соединена одной трубой с ресивером через его крышку, а другой трубой – с вакуум-насосом. Для стекания остат-

ков фильтрата служит барометрическая труба длиной 10 м, которая заглублена в гидрозатвор.

Гидрозатвор – приемник прямоугольного сечения объемом около 1 м³. Гидрозатвор заполнен водой, в которую заглублена на 350-400 мм барометрическая труба от ловушки или ресивера, если удаление фильтрата осуществляется самотеком. Из гидрозатвора фильтрат переливается в зумпф фильтрата.

Перечисленное выше оборудование объединяется в вакуумную систему фильтра. Применяются вакуумные системы с удалением фильтрата самотеком или насосами. Применение той или другой вакуумной системы зависит от компоновки оборудования. При самотечном удалении фильтрата необходимо расположение фильтра и ресивера на высоте 10-12,5 м (рис. 5.2).

Между ресивером и вакуум-насосом часто устанавливают ловушку. Такая система проста, но для нее необходима высота, также есть опасность зашламовывания гидрозатворов.

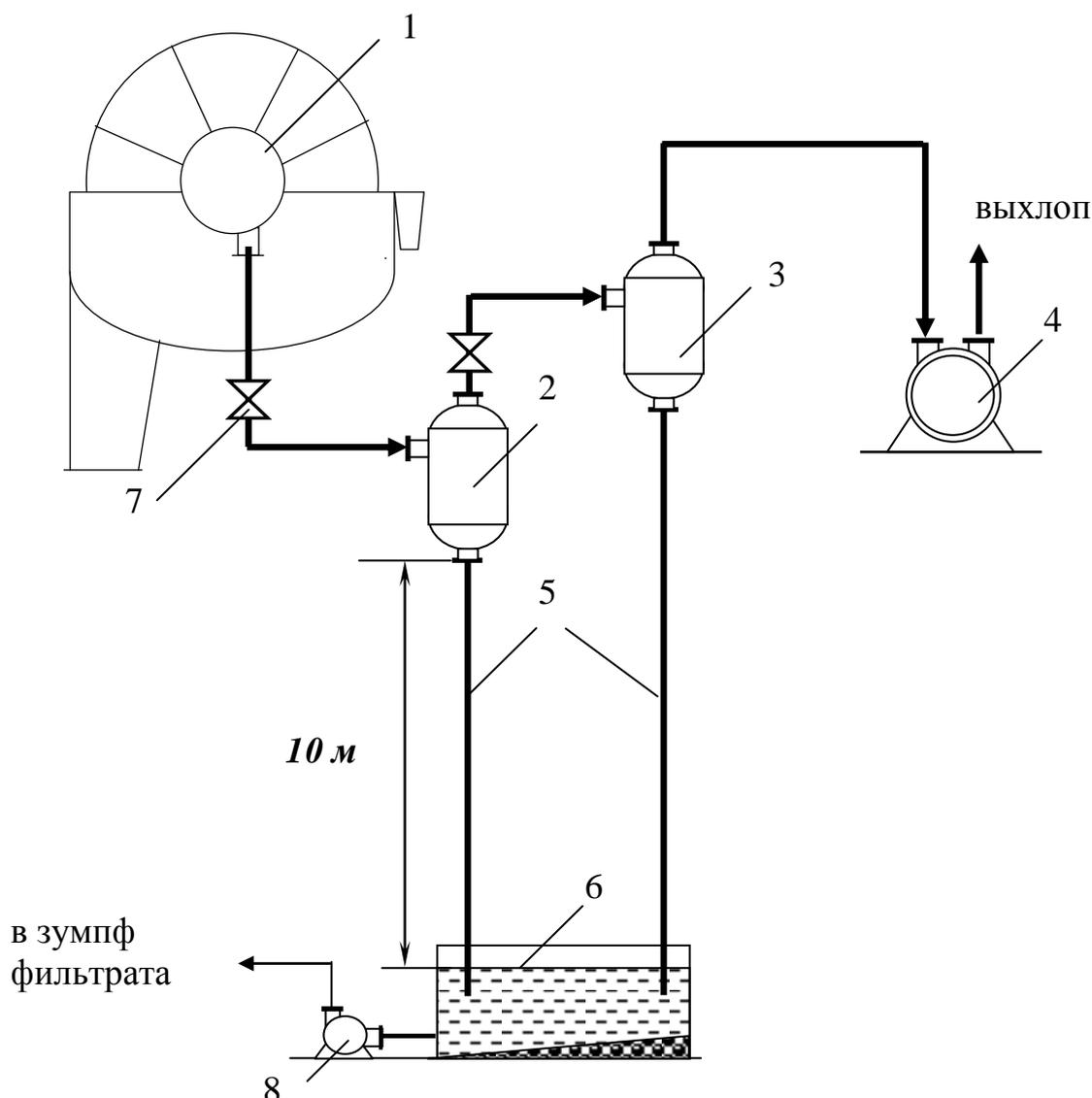
При удалении фильтрата насосами нет необходимости в установке фильтров на высоте (рис. 5.3).

Но в такой системе имеются следующие недостатки, усложняющие ее эксплуатацию:

1. При обезвоживании мелкого концентрата требуется значительное разрежение. В этом случае насосы необходимо устанавливать много ниже ресивера.
2. Необходимо контролировать уровень фильтрата в ресивере.
3. Необходимы дополнительные капитальные затраты.
4. При использовании двух ступеней вакуума в зоне набора осадка и в зоне просушки система значительно усложняется и требует большого количества дополнительного оборудования.

При раздельном отводе фильтрата из зон набора осадка и просушки вакуумная система усложняется, т.к. на каждый ресивер необходимо установить свой центробежный насос, а к ним еще предусмотреть по 1 резервному (рис. 5.4).

В зависимости от того, на сколько фильтров установлен один ресивер вакуумные системы подразделяются на общую, групповую и индивидуальную.



1 – головка вакуум-фильтра, 2 – ресивер, 3 – барометрический конденсатор (ловушка), 4 – вакуум-насос, 5 – барометрическая труба, 6 – гидрозатвор, 7 – задвижки, 8 – центробежный насос

Рис. 5.2. Вакуумная система с самотечным удалением фильтрата из ресивера и ловушки

Применение той или другой системы зависит от конкретных условий, т.к. каждая из них имеет свои достоинства и недостатки. Например, в случае использования общей системы при прорыве сетки на одном из фильтров, для выполнения ремонта необходимо отключать все фильтры. При индивидуальной системе резко увеличивается количество вспомогательного оборудования, но повышается надежность работы.

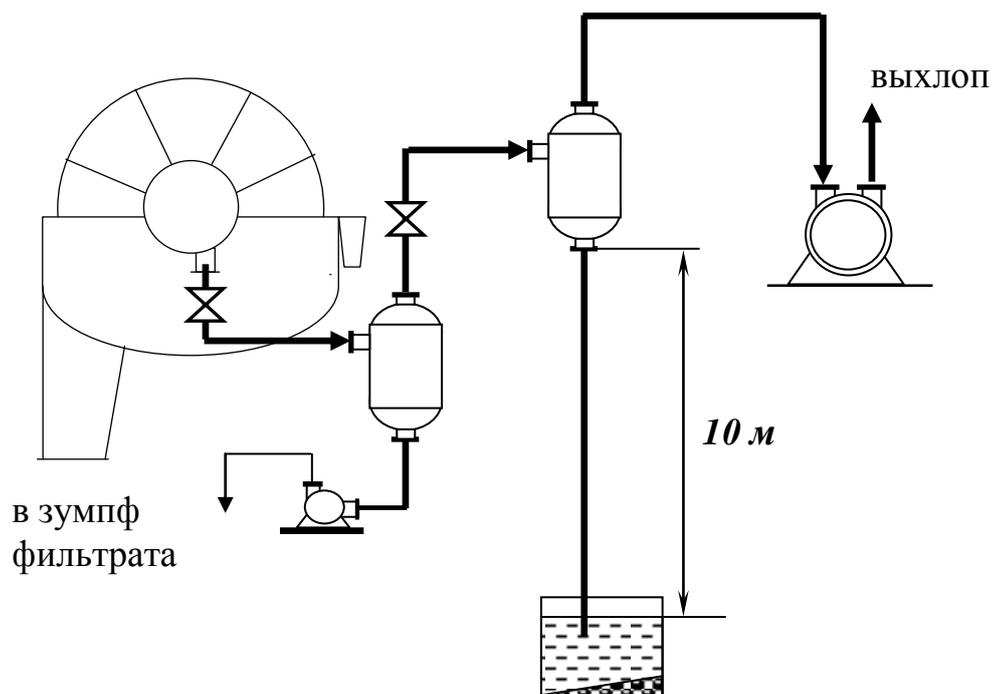


Рис. 5.3. Вакуумная система с удалением фильтрата насосами

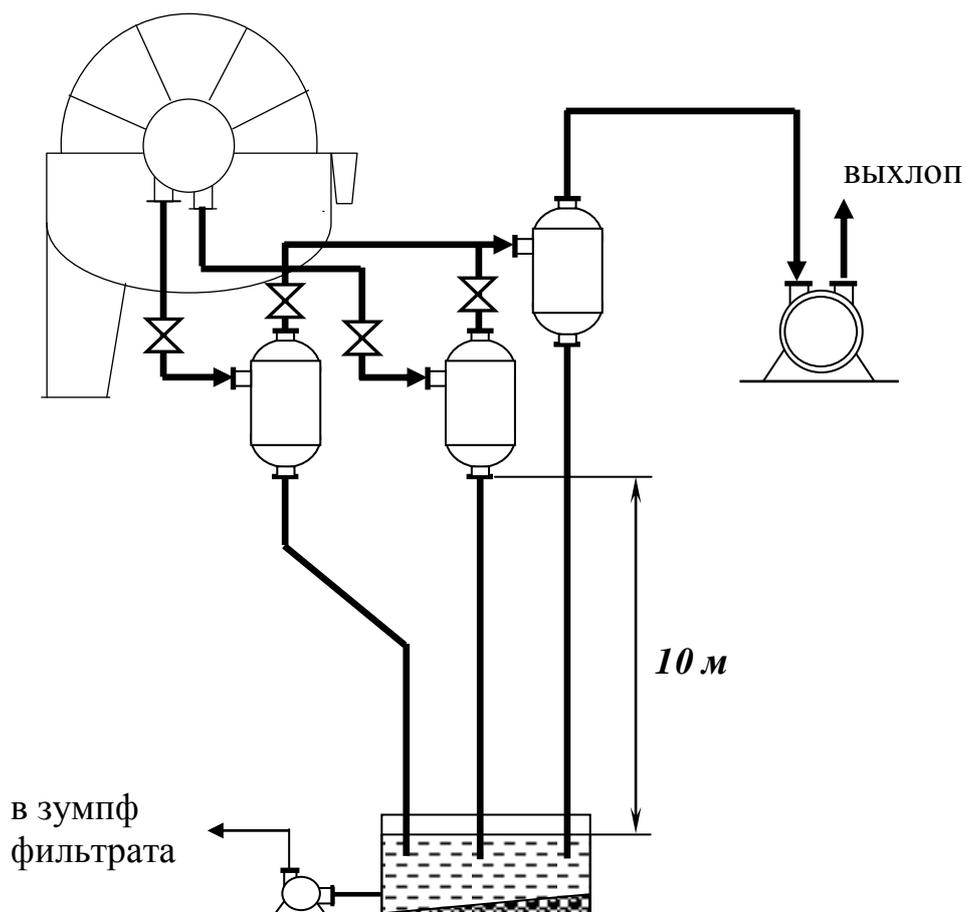
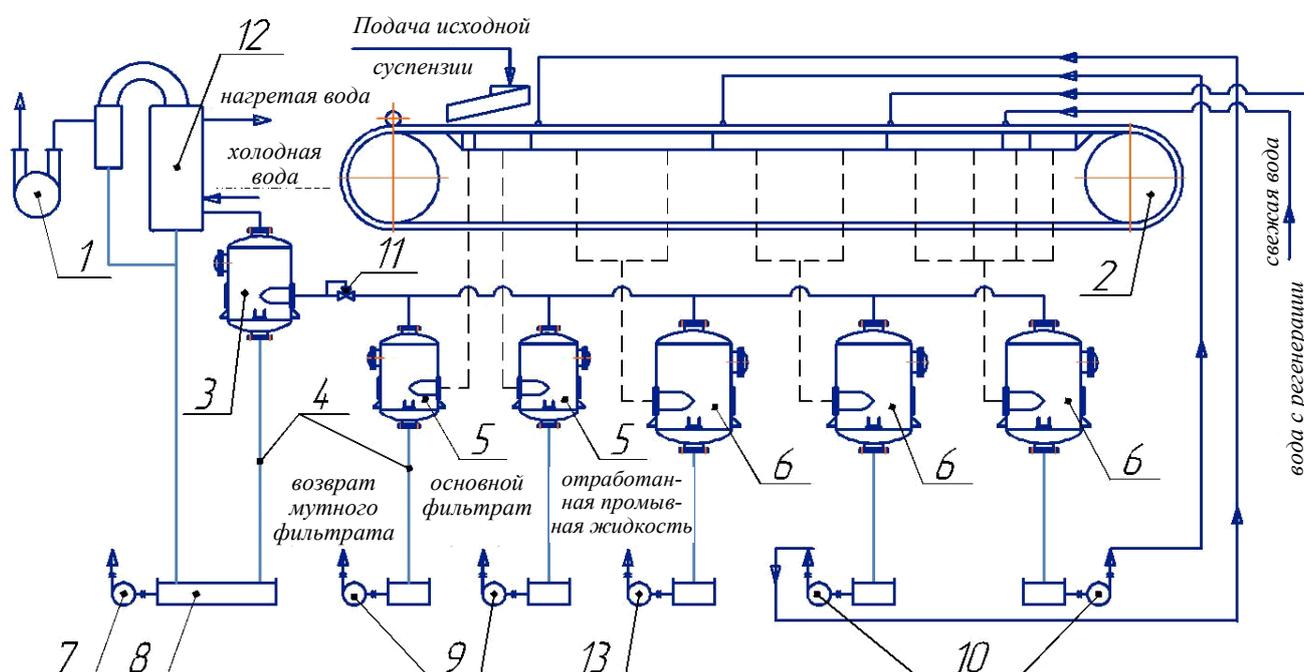


Рис. 5.4. Вакуумная система с удалением фильтрата насосами при разных степенях вакуума в зоне набора осадка и в зоне просушки

В ленточных вакуум-фильтрах система обвязки основного оборудования из-за наличия нескольких разделенных зон фильтрования имеет более сложный характер.

Для обеспечения работы фильтра и организации промывки осадка, фильтр может комплектоваться элементами вакуумной системы, в зависимости от технологических требований (отвода порции мутного фильтрата, отдельного отвода промывных жидкостей, гашения парообразования) согласно нижеприведенной принципиальной схеме (рис. 5.5).



1 – вакуум-насос, 2 – ленточный вакуум-фильтр, 3 – ресивер-ловушка (каплеуловитель), 4 – барометрический столб, 5 – ресивер-ловушки отвода мутного и основного фильтрата, 6 – ресивер-ловушки отвода промывной жидкости, 7 – насос отвода жидкости каплеуловителя, 8 – бак гидрозатвора, 9 – насос отвода мутного и основного фильтрата, 10 – насос подачи циркуляционной промывной жидкости, 11 – задвижка вакуумная, 12 – конденсатор, 13 – насос отвода отработанной промывной жидкости

Рис. 5.5. Типовая схема обвязки ленточного вакуум-фильтра

Вопросы для самоконтроля.

1. Опишите устройство и принцип работы гравитационно-инерционного ресивера.
2. Для чего в вакуумной системе вакуум-фильтра применяется гидрозатвор?
3. Какие ограничения существуют для применения вакуумной системы с самотечным удалением фильтрата из ресивера и ловушки?
4. Охарактеризуйте достоинства и недостатки вакуумной системы с удалением фильтрата насосами.
5. Опишите типовую схему обвязки ленточного вакуум-фильтра.

Глава 6

ФИЛЬТР-ПРЕССЫ

Фильтр-прессы применяются при фильтровании суспензий, шламов и мелких отходов.

Принцип работы всех фильтр-прессов при всем многообразии конструкций одинаков. В фильтр-прессах фильтрование происходит в вертикальных или горизонтальных камерах, образуемых фильтровальными плитами, перфорированные, ребристые или рифленые, стенки которых обтянуты фильтротканью. При сжатии плит в образующиеся камеры под давлением до полного заполнения камер, при этом жидкая фаза проходит через фильтроткань, и на ней формируется осадок. При необходимости осуществляется продувка осадка сжатым воздухом. Разгрузка осадка (кека) производится под действием силы тяжести после раздвижения фильтровальных плит и раскрытия фильтровальных камер.

6.1 Классификация фильтр-прессов

Существуют различные конструкции фильтр-прессов, которые отличаются друг от друга по различным признакам. В общем случае их классификацию можно представить в следующем виде.

1. По характеру работы фильтр-прессы подразделяются на аппараты *периодического и непрерывного действия*. К аппаратам непрерывного действия относятся ленточные фильтр-прессы.

2. По направлению перемещения фильтровальных плит фильтр-прессы разделяют на *горизонтальные* (рис. 6.1, а) и *вертикальные (башенные)* (рис. 6.1, б).

3. В зависимости от устройства фильтровальных камер различают *рамные, камерные, мембранные, камерно-мембранные, рамно-мембранные* фильтр-прессы.

Фильтровальные камеры образуются углублениями двух прижатых друг к другу соседних фильтровальных плит, подвижно закрепленных к направляющим и точно совмещаемых друг с другом периметрами.



Рис. 6.1. Фильтр-пресс горизонтальный (а) и вертикальный (б)

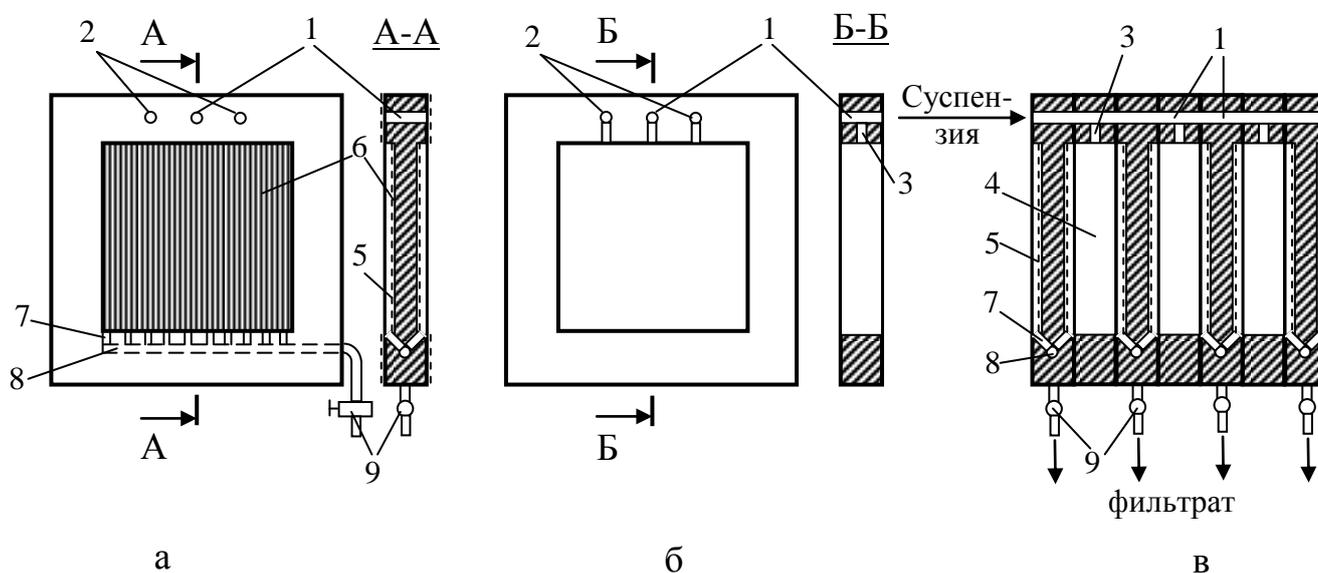
Будучи сжаты специальным механизмом, фильтровальные плиты герметично прилегают краями друг к другу образуя набор фильтровальных камер, который принято называть «пакет». Фильтровальные плиты с обеих сторон покрыты фильтровальными полотнами, а также имеют каналы для поступления фильтруемой суспензии и для отвода фильтрата.

Фильтровальные камеры рамного фильтр-пресса составлены из двух типов плит: рамных и фильтровальных (рис. 6.2). Рама ограничивает фильтровальную камеру, соседние фильтровальные плиты с дренажем для отвода фильтрата закрывают её с обеих сторон. Толщина рамной плиты определяет толщину фильтр-прессного коржа – обычно она колеблется в пределах 10-50 мм. По потоку, проходящему через фильтровальное полотно, надетое на фильтровальную плиту, фильтрат через дренаж отводится в каналы, просверленные внутри плиты и выводится из фильтр-пресса наружу.

Фильтровальные камеры на камерном фильтр-прессе образуются при сдвиге друг к другу двух соседних фильтровальных плит (рис. 6.3). В плоской части плит находится выемка с дренажной системой. Общая глубина выемок обеих соседних плит определяет толщину конечного фильтр-прессного коржа. Эта толщина обычно колеблется в пределах 15-50 мм.

Суспензия чаще всего подаётся через центральное отверстие. Профильтрованная жидкость по потоку, проходящему через фильтровальное полотно, отводится через дренаж по поверхности

плит и далее по просверленным внутри плиты канальцам выводится из фильтр-пресса наружу.

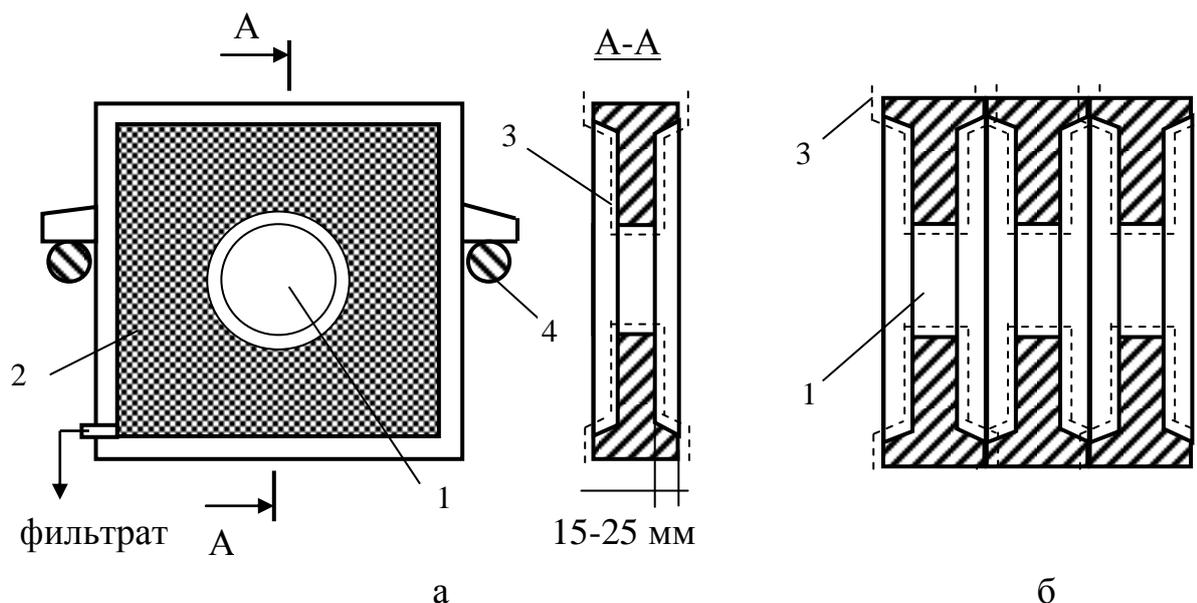


1 – отверстия в плитах и рамах для подачи суспензии; 2 – отверстия в плитах и рамах для подачи промывной жидкости; 3 – отводы для прохода суспензии внутрь рам; 4 – фильтровальная камера; 5 – фильтровальное полотно; 6 – рифленая дренажная поверхность плит; 7 – каналы для выхода фильтрата и промывной жидкости; 8 – центральные каналы в плитах для сбора фильтрата и промывной жидкости; 9 – кран

Рис. 6.2. Устройство фильтровальных плит (а), рам (б) и схема фильтровальных камер рамного фильтр-пресса в сборе (в)

Рабочее пространство мембранного фильтр-пресса образуют камеры, ограниченные двумя соседними плитами с углублением в центральной части. В отличие от камерных плит дренаж для отвода фильтрата размещён на подвижных мембранах, служащих для сжатия и «отжима» фильтруемого коржа.

Для прижимного усилия мембран используется напорная вода или сжатый воздух. После заполнения фильтр-пресса суспензией один из этих носителей подаётся в пространство под мембраной и последующий за этим сдвиг мембраны сжимает корж и вытесняет оставшуюся жидкость. Она проступает сквозь фильтровальное полотно и выводится из фильтр-пресса наружу.



1 – центральное отверстие, 2 – нарифления на поверхности плиты, 3 – фильтровальное полотно, 4 – опорная штанга

Рис. 6.3. Устройство фильтровальной плиты камерного фильтр-пресса (а) и схема фильтровальных камер в сборе (б)

Толщина фильтровальной камеры перед сжатием обычно составляет 30-50 мм, прижим мембраны снижает её чаще всего на 20-40%.

Суспензия подаётся центральным или угловым подводящим каналом, который проходит через весь пакет плит. Фильтрат отводится через дренаж на поверхности мембран (под фильтровальным полотном) и далее через просверленные внутри плит каналы из фильтр-пресса наружу.

Общий вид мембранной фильтровальной плиты без фильтровального полотна представлен на рис. 6.4. Мембрана герметично закреплена по периметру фильтровальной плиты (рис. 6.4, а), повторяет её рельеф, форму углубления (рис. 6.4, б), а также имеет все отверстия, соответствующие отверстиям плиты, герметично с ними совмещенные.



Рис. 6.4. Мембранная фильтровальная плита с мембраной из эластомера с центральным подводом суспензии

В камерно-мембранных фильтр-прессах фильтровальные камеры образованы чередующимися камерными и мембранными фильтровальными плитами, а в *рамно-мембранных фильтр-прессах* – рамами и мембранными фильтровальными плитами.

4. По типу системы подвески плит фильтр-прессы бывают *с верхней и с боковой подвеской*. При вертикальной подвеске (рис. 6.5, *а*) применяют одну верхнюю центральную направляющую балку (в основном П-образного сечения). При боковой подвеске (рис. 6.5, *б*) применяют боковые опоры – две горизонтальные направляющие, расположенные вдоль продольной оси фильтр-пресса по бокам пакета плит. Верхняя подвеска плит конструктивно сложнее, но обеспечивает некоторые преимущества по сравнению с боковой подвеской. Отсутствие боковых направляющих облегчает доступ оператора к плитам во время выгрузки осадка и при замене фильтровальных полотен.

5. Давление фильтрации внутри фильтр-пресса может достигать величины в 15 бар и более. В течение процесса фильтрации плиты должны быть достаточно плотно прижаты друг к другу, чтобы была обеспечена герметичность фильтровальных камер. Для этого используется поршень, в качестве головки которого выступает подвижная металлическая плита, площадь и форма рабочей по-

верхности которой соответствуют площади и форме фильтровальной плиты, достаточно прочная для сообщения равномерного давления сжатия всему пакету плит.



а



б

Рис. 6.5. Фильтр-пресс с верхней (а) и с боковой (б) подвеской фильтровальных плит

По механизму сжатия фильтровальных плит фильтр-прессы подразделяются на аппараты с *ручным, электромеханическим и электрогидравлическим приводом*.

6. По системе отвода фильтрата из фильтровальных плит фильтр-прессы подразделяются на аппараты с *открытым и закрытым способом отведения фильтрата*.

При открытом способе отводные каналы ведут из фильтровальной камеры наружу, через отверстия на боковых ребрах фильтровальной плиты. К отверстиям монтируют короткие отводные колена, по которым фильтрат стекает в сборные желоба, смон-

тированные вдоль боков фильтр-пресса, заканчивающиеся фланцами.

При закрытом способе отведения фильтрата отводные каналы ведут из фильтровальной камеры в общий сквозной отводной канал, который образуется соответствующими прилегающими отверстиями фильтровальных плит и проходит через весь пакет. Канал заканчивается фланцем для присоединения трубопровода.

6.2 Вертикальные фильтр-прессы

Данный тип фильтр-прессов характеризуется горизонтальным расположением фильтровальных плит (рис. 6.6). Такая конструкция позволяет использовать бесконечное фильтровальное полотно для механизированной выгрузки осадка, что позволяет полностью автоматизировать процесс фильтрации.

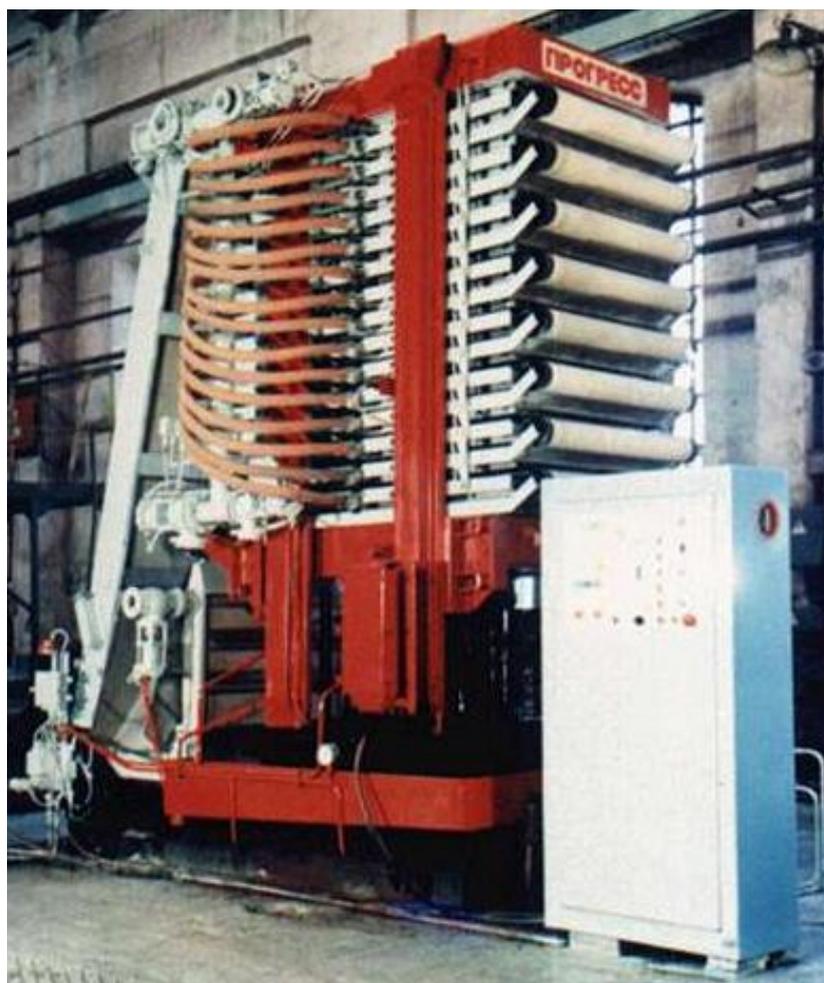


Рис. 6.6. Общий вид камерного фильтр-пресса КМП

Полностью автоматизированные **камерные фильтр-прессы КМП** предназначены для фильтрования суспензий, содержащих от 10 до 1500 кг/м³ взвешенных частиц и образующих осадки с большим гидравлическим сопротивлением. Позволяет оптимизировать режим работы путем изменения толщины осадка в диапазоне от 5 до 32 мм.

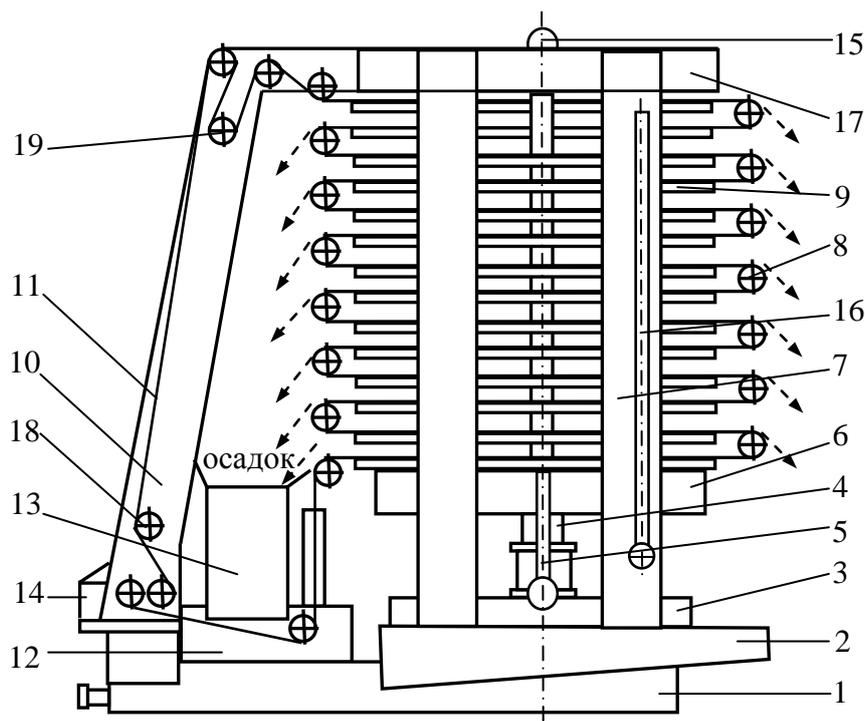
Сохранив все преимущества ранее выпускаемого фильтр-пресса ФПАКМ, фильтр-пресс КМП приобрел новые конструкторские разработки:

- гидравлический механизм зажима плит;
- систему автоматического управления и контроля;
- механизм натяжения фильтровального полотна.

Фильтр-пресс состоит из набора горизонтально расположенных фильтрующих плит, помещенных между упорной и нажимной плитами. На опорной плите установлен механизм гидрозажима с клиновой фиксацией, выполняющий подъем, уплотнение и опускание набора фильтрующих плит. Упорная и опорная плиты соединены стяжками (рис. 6.7).

Фильтровальная ткань в виде бесконечной ленты зигзагообразно протянута между фильтрующими плитами. Передвижение фильтровальной ткани с целью выгрузки осадка и ее регенерации осуществляет привод передвижки ткани, содержащий приводной и прижимной ролики. Приводной ролик получает вращение от электродвигателя через клиноременную передачу и редуктор. В камере регенерации установлены оросительные трубки для струйной промывки ткани и ножи (скребки) для ее очистки. Натяжение ткани осуществляется механизмом натяжения, закрепленным на приводе передвижки ткани и упорной плите. Цепи и закрепленный на них механизм натяжения ткани получают движение от гидромотора.

Ролик регулировки ткани предназначен для устранения смещения фильтровальной ткани относительно фильтрующих плит. Опорная плита, поддон, камера регенерации и привод передвижки ткани установлены на общей раме. На одной из стяжек установлен коллектор для подачи воды на диафрагмы.



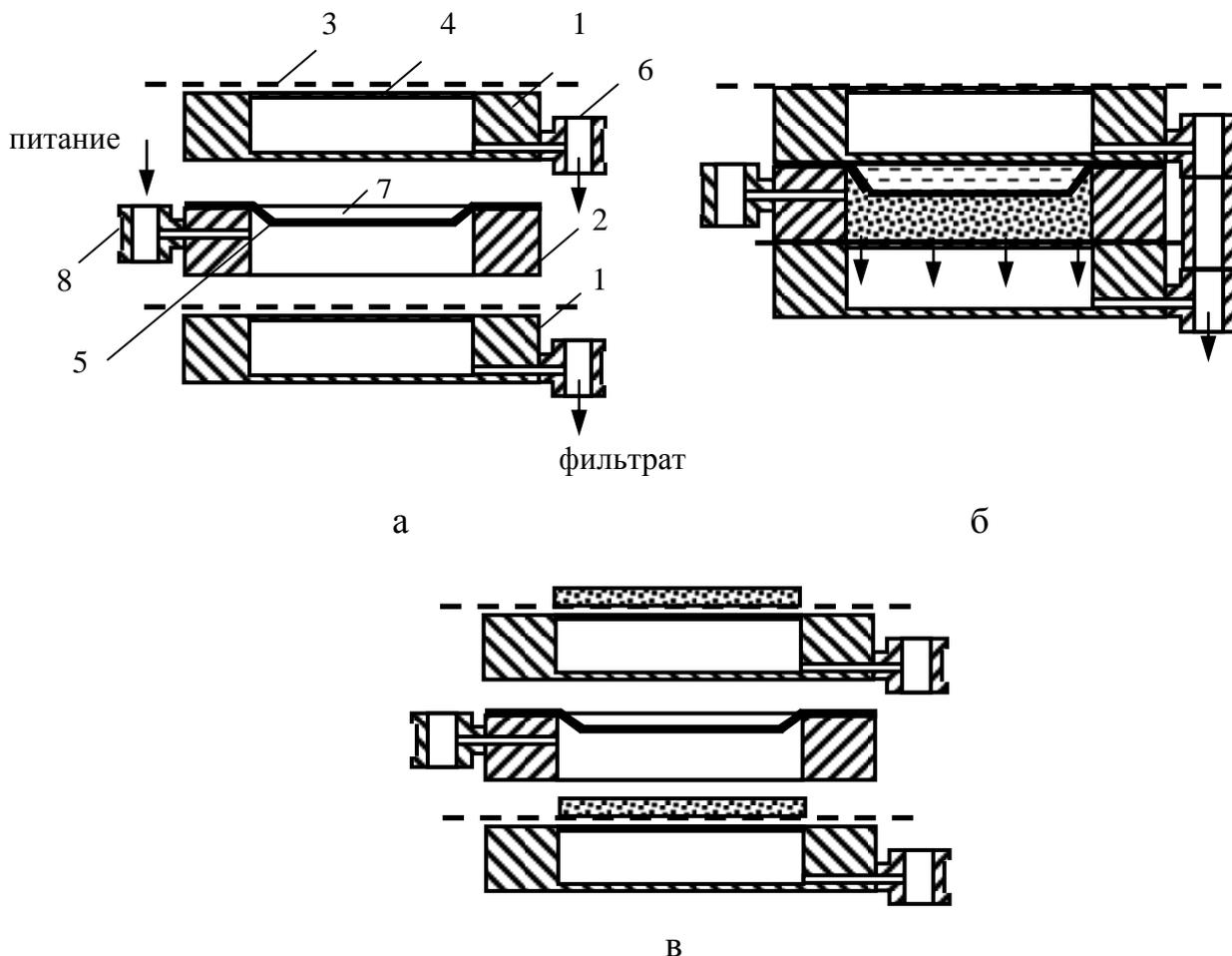
1 – рама; 2 – поддон; 3 – плита опорная; 4 – механизм зажима; 5 – коллектор слива; 6 – плита нажимная; 7 – стяжка; 8 – ролик ткани; 9 – плита фильтрующая; 10 – механизм натяжения ткани; 11 – фильтровальная ткань; 12 – камера регенерации; 13 – двухсторонний наклонный желоб; 14 – привод передвижки ткани; 15 – коллектор подачи; 16 – коллектор отжима; 17 – плита упорная; 18 – ролик регулировки ткани; 19 – ролик натяжки ткани

Рис. 6.7. Схема камерного фильтр-пресса КМП

Фильтрующая плита состоит из двух частей: верхней – корпуса (камеры фильтрата) и нижней – рамки (камеры фильтрования) (рис. 6.8).

Корпус предназначен для сбора и отвода фильтрата и имеет днище, боковые стенки и дренажное основание в виде отдельных вкладышей. Рамка служит камерой фильтрования, в которой формируется и просушивается осадок. Между корпусом и рамкой расположена резиновая диафрагма, предназначенная для отжима (прессования) осадка. Механизм зажима сжимает комплект плит и герметизирует фильтрующие камеры. При сжатых плитах суспен-

зия под давлением поступает в нижнюю часть каждой плиты – фильтрующую камеру.



1 – корпус; 2 – рамка; 3 – фильтровальная ткань; 4 – перфорированный лист; 5 – резиновая диафрагма; 6 – коллектор отвода фильтрата; 7 – полость, в которую подается вода для отжима диафрагмы; 8 – подача питания под давлением

Рис. 6.8. Положение вертикального пресса перед сжатием (а), в процессе фильтрования (б) и при размыкании и разгрузке осадка (в)

Жидкая фаза проходит через ткань, дренажное основание и через коллектор отвода выводится из фильтра. Твердая фаза, задержанная тканью, предварительно прессуется и, если это предусмотрено технологией, промывается. Промывочная жидкость поступает в камеры через коллектор подачи, промывочный фильтрат выводится из фильтра через коллектор отвода.

После промывки осадок вновь прессуется резиновыми диафрагмами, просушивается сжатым воздухом и выгружается при раскрытии фильтр-пресса. Плиты висят на специальных сергах, при этом включается привод передвижки ткани, осадок выносятся на ткани из межплитного пространства и высыпается в течки-бункеры по обе стороны фильтра. Ткань протягивается через камеру регенерации, промывается, фильтр вновь зажимается, и рабочий цикл повторяется. Длительность технологических операций и их последовательность определяются экспериментально или по результатам эксплуатации фильтра типа КМП на аналогичной суспензии.

Технические характеристики фильтр-прессов КМП приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Технические характеристики фильтр-прессов КМП

Параметры	Для средне и трудно фильтруемых суспензий					Для легко фильтруемых суспензий		
	КМП 2,5	КМП 5	КМП 12,5	КМП 25	КМП 32	КМП 10	КМП 22	КМПм 38
Площадь поверхности фильтрования, м ²	2,5	5	12,5	25	32	10	22	38
Давление суспензии, воздуха, МПа	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Наибольшая толщина осадка, мм	5-32	5-32	5-32	5-32	5-32	5-40	5-40	5-40
Предельная нагрузка по осадку, кг/м ² ч	110	110	110	110	110	400	400	400
Габаритные размеры, мм								
длина	3150	3150	3976	3976	3840	3976	3976	4430
ширина	2215	2215	2845	2845	2845	2895	2895	4600
высота	2860	3605	3515	4635	5320	3515	4635	5260

Типоразмерный ряд башенных фильтр-прессов ПРОГРЕСС-КМПм имеет площадь фильтрования от 12,5 до 196 м².

По сравнению с КМП фильтр-прессы КМПм имеют дополнительные привода передвижки ткани, которые используются при выгрузке осадка и уменьшают нагрузку на фильтровальную ткань. Материал частей фильтра, контактирующих с продуктом, выбирается в зависимости от свойств этого продукта: углеродистая сталь, коррозионностойкие стали, титан.

Особенности фильтр-прессов башенного типа КМП и КМПм:

- полная автоматизация рабочего процесса, не требующая вмешательства обслуживающего персонала;
- возможность регулирования в широком диапазоне толщины и влажности осадка;
- оптимальные условия для регенерации ткани в процессе работы фильтра;
- разгрузка и регенерация ткани совмещены в одной операции;
- низкое потребление электроэнергии, минимальные затраты на эксплуатацию и техобслуживание;
- полное удаление осадка;
- минимальное время вспомогательных операций.

6.3 Горизонтальные фильтр-прессы

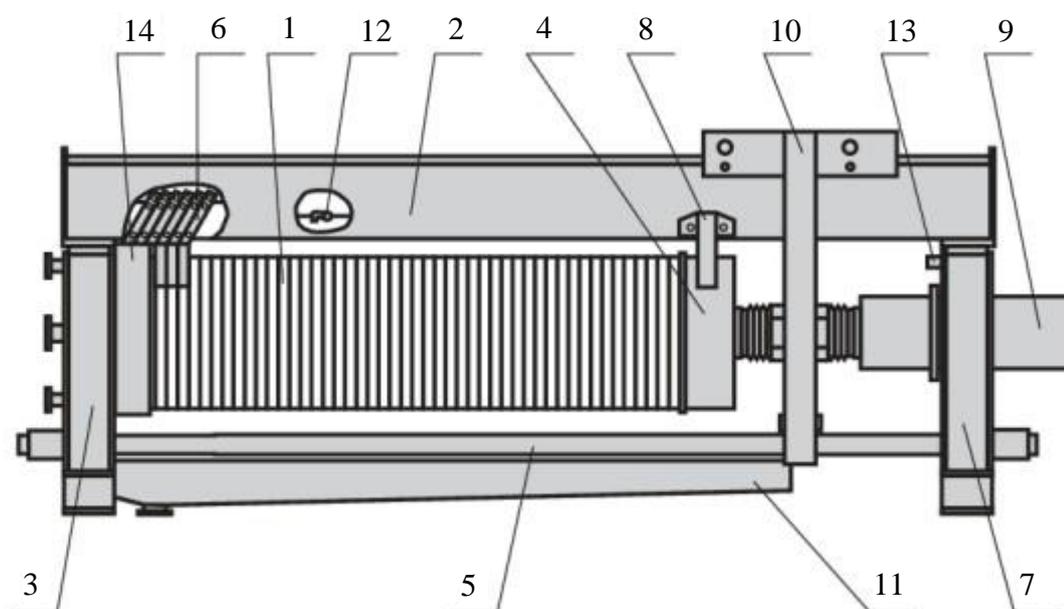
Горизонтальные фильтр-прессы, благодаря вертикальному расположению плит, отличаются развитой фильтрующей поверхностью, относительно простой конструкцией и могут быть полностью механизированы и автоматизированы.

В зависимости от назначения, они могут комплектоваться рамами, камерными, камерно-мембранными и мембранными пакетами плит, и изготавливаться на базе фильтровальных плит следующих типоразмеров: 800x800 мм, 1000x1000 мм, 1200x1200 мм, 1500x1500 мм, 1500x2000 мм, 2000x2000 мм, 2440x2440 мм с глубиной камеры от 15 до 50 мм. Наличие мембранных плит в пакете позволяет выполнять операцию «отжим осадка», которая способствует дополнительному уменьшению влажности осадка.

Подача суспензии в горизонтальный фильтр-пресс, для большинства типоразмеров фильтровальных плит, осуществляется через центральное отверстие. Возможно применение пакета плит со смещенным отверстием подачи в верхней или нижней части плит. По способу отвода фильтрата возможно изготовление фильтр-прессов с открытым и закрытым отводом.

Фильтр-прессы камерные ФКМ с верхней подвеской фильтровальных плит (рис. 6.9) состоит из комплекта полипропиленовых плит (1), подвешенных к верхней балке (2), упорной (3) и нажимной (4) плит, механизма зажима (9) и механизма перемещения фильтровальных плит (12), блока клапанов и системы автоматики на базе промышленного контроллера, позволяющей автоматически управлять механизмами фильтр-пресса, запорной арматурой и блоком клапанов.

Фильтр может оснащаться моющим устройством (10) и световым занавесом (13), обеспечивающим безопасное обслуживание.



1 – плита фильтровальная; 2 – балка верхняя; 3 – плита упорная;
4 – плита нажимная; 5 – стяжка нижняя; 6 – подвеска; 7 – стойка;
8 – кронштейн; 9 – механизм зажима; 10 – мойка; 11 – поддон; 12 –
механизм перемещения; 13 – световой занавес; 14 – защитные
шторки

Рис. 6.9. Схема фильтр-пресса ФКМ с верхней подвеской фильтровальных плит

Подвижные плиты покрыты фильтровальным полотном. При сжатии плит образуются камеры с каналами подачи фильтруемой суспензии, сжатого воздуха, промывной жидкости и отвода фильтрата.

Фильтр работает следующим образом. После зажима плит в образованные ими камеры через центральный коллектор под давлением подается суспензия. При полном заполнении камер на фильтровальном полотне формируется осадок. Фильтрат отводится по каналам наружу. Процесс фильтрования осадка продолжается до полного заполнения им всего объема камер. Затем, при необходимости, производится промывка и просушка его сжатым воздухом. После продувки центрального коллектора отодвигается нажимная плита, промежуточные плиты разжимаются поочередно. Способ передвижки плит при выгрузке осадка – в одну сторону. Осадок разгружается, после чего цикл повторяется.

Регенерация фильтрующих перегородок осуществляется при помощи передвижного моечного устройства.

Фильтр-прессы камерные ФКМ с боковой подвеской фильтровальных плит предназначены для фильтрования под избыточным давлением суспензий, содержащих от 10 до 400 кг/м³ твердых частиц. В основном применяются в малотоннажном производстве. Площадь поверхности фильтрования – от 16 до 63 м², рабочее давление – 0,6 МПа.

В промышленности выпускаются различные модификации горизонтальных фильтр-прессов:

- рамные типа РОР, РОМ, РЗР, РЗМ, ЧМ, Р1;
- камерные типа ФКМ, ФКВ, ФКО, ФОМ, ЧМ, К1, К2;
- мембранные типа ЧМ, М1, М2;
- камерно-мембранные типа ФКМ, ЧМ, МБ.

В табл. 6.2 приведены технические характеристики фильтр-прессов ФКМ с верхней подвеской фильтровальных плит, выпускаемых ПАО "Бердичевский машиностроительный завод "Прогресс" [7].

Быстродействующий камерно-мембранный фильтр-пресс типа МБ – это фильтровальный многосекционный аппарат периодического действия с максимально сокращенными фильтроваль-

ными циклами, за счёт увеличения скорости заполнения, фильтрации, прессования, просушки и выгрузки [11]. Такой фильтр-пресс за один час выполняет 5-7 полных фильтровальных циклов, в то время как обычные фильтр-прессы – не более одного.

Таблица 6.2. Технические характеристики фильтр-прессов ФКМ

Площадь поверхности фильтрации, м ²	50	63	80	100	140	160	200	500	600
Объем камерного пространства, м ³	0,78	0,97	1,23	1,49	2,07	2,40	2,98	7,46	10,8
Количество фильтровальных плит, шт.	24	30	38	46	64	74	92	104	126
Габаритные размеры, мм									
длина	6730	7150	7700	8250	9480	10180	11420	14700	18360
ширина	2840							4400	4400
высота	1950							3290	3290
Масса, т	12,5	13,2	14,0	15,5	17,6	18,4	20,4	75,0	86,0

Быстродействующий камерно-мембранный фильтр-пресс типа МБ – это фильтровальный многосекционный аппарат периодического действия с максимально сокращенными фильтровальными циклами, за счёт увеличения скорости заполнения, фильтрации, прессования, просушки и выгрузки [11]. Такой фильтр-пресс за один час выполняет 5-7 полных фильтровальных циклов, в то время как обычные фильтр-прессы – не более одного.

Увеличить скорости заполнения и фильтрации удалось за счет разделения фильтровального пакета на отдельные независимые секции и изменения одноканальной односторонней схемы подачи суспензии на двухстороннюю многоканальную. Суспензия подается во внутрь фильтровального пакета через головную, промежу-

точные и нажимную плиты фильтр-пресса. Такая схема значительно сокращает время заполнения камер, при этом идет более равномерное формирование кека без пустот и линз.

Быстродействующие фильтр-прессы снабжены камерными плитами с отжимными мембранами. Это позволяет производить операцию прессования осадка. Операция прессования осадка позволяет дополнительно удалить из осадка значительный объем остаточной жидкой фазы. Сжатие осадка критически сокращает объем пор, тем самым вытесняет часть жидкой фазы, которая при обычных условиях не удаляется даже длительной продувкой. Сократить время прессования осадка позволяет применение современных компактных высоконапорных многоступенчатых насосов.

Длительность операции выгрузки осадка значительно сокращена за счет применения многосекционной пакетной раздвижки фильтровальных плит.

Технические характеристики быстродействующих фильтр-прессов:

- отвод фильтрата: закрытый или открытый;
- площадь фильтрации: от 100 до 700 м²;
- глубина фильтровальной камеры: 40, 45, 50 мм;
- емкость фильтровальных камер: от 2 до 16 м³;
- типоразмер применяемых фильтровальных плит: 1200x1200, 1500x1500, 1600x1600, 1500x2000, 2000x2000 мм;
- количество силовых гидроцилиндров: от 1 до 4.

Данный тип фильтр-прессов используются для фильтрации суспензий и глубокого обезвоживания осадков в крупнотоннажных производствах горно-обогатительной промышленности.

Быстродействующие фильтр-прессы МБ могут с успехом заменять в производстве дисковые вакуум-фильтры при обезвоживании угольных шламов и флотоконцентратов. По данным производителя [9] они имеют ряд неоспоримых преимуществ перед дисковыми вакуум-фильтрами:

- более низкая влажность осадка на выходе: 18-26%;
- более низкие потери твердого с фильтратом: не более 3 г/л;
- энергоэффективность выше в 2-3 раза;
- простота и удобство в обслуживании;

- высокая ремонтпригодность;
- высокий уровень безопасности и аварийной защиты.

В табл. 6.3 приведены данные по производительности фильтр-прессов МБ по угольному флотоконцентрату.

Таблица 6.3. Производительность фильтр-прессов МБ по угольному флотоконцентрату

Модель	Площадь фильтрования, м ²	Производительность, т/ч	Мощность, кВт
МБ1-100/1500-1У-11-42	100	13	15
МБ1-150/1500-1У-11-42	150	20	15
МБ1-200/1500-1У-11-42	200	24	15
МБ1-250/1500-1У-11-42	250	30	15
МБ1-300/2000-1У-11-42	300	45	22
МБ1-350/2000-1У-11-42	350	51	22
МБ1-400/2000-1У-11-42	400	57	22
МБ1-450/2000-1У-11-42	450	62	22
МБ1-500/2000-1У-11-42	500	65	22
МБ1-600/2000-1У-11-42	600	80	22
МБ1-700/2000-1У-11-42	700	90	22

6.4 Ленточные фильтр-прессы

Ленточные фильтр-прессы известны со второй половины прошлого столетия. Первоначально такое фильтровальное оборудование начали изготавливать на Западе, первые образцы ленточных фильтр-прессов в бывшем СССР выпустил завод «Прогресс» (г. Бердичев) в конце 80-х годов по разработке специалистов института «НИИХИММАШ» (г. Москва).

Существует очень большое число вариантов конструктивного исполнения ленточных фильтр-прессов, однако общий принцип их действия заключается в следующем. На непрерывно движущуюся сетку с размерами ячеек порядка 0,3-0,5 мм выливается шлам, подлежащий обезвоживанию. В дальнейшем к первой ленте и к обра-

зовавшемся на ней слою осадка подводится вторая лента. Зажатый между двумя лентами осадок проходит вместе с ними между рядами роликов с постепенно уменьшающимся диаметром. Обезвоживание происходит благодаря непрерывному разрушению структуры осадка и открытию ранее труднодоступных пор, содержащих влагу.

Обязательным условием эффективной работы ленточного фильтр-пресса является то, что твердая фаза обрабатываемой суспензии должна иметь структурированную форму, позволяющую жидкости под собственным весом свободно проходить через слой осадка. В большинстве других случаев обезвоживание на ленточном фильтр-прессе невозможно без применения специально подобранного синтетического флокулянта, способного образовать из мелкодисперсной твердой фазы крупные и достаточно прочные агрегаты.

Широкое распространение в промышленности имеют *ленточные фильтр-прессы типа ЛМН* [7, 9]. Они предназначены для непрерывного механического обезвоживания осадков промышленных, бытовых сточных вод, предварительно обработанных флокулянтами.

Высокоэффективное обезвоживание осадка обеспечивается за счет последовательного воздействия на него гравитационных сил и постепенно возрастающего давления в клиновидной зоне и в зоне высокого давления. В зонах возрастающего давления механическое воздействие производится на осадок, находящийся между двумя фильтровальными сетками [12].

Схема работы ленточного фильтр-пресса ЛМН показана на рис. 6.10.

Исходная суспензия предварительно обрабатывается флокулянтами и подаётся в заливочный лоток 1, из которого поступает на движущуюся фильтровальную сетку 2. Движение сетки осуществляется от приводного барабана 3. Жидкая фаза осадка под действием сил гравитации проходит через фильтровальную сетку и отводится из фильтра. Далее осадок идет в клиновидную зону, образованную несущей его сеткой 2 и отжимающей сеткой 4. Расположенный между двумя сетками осадок проходит первоначальную зону низкого механического давления вокруг трубчатого барабана

5. Система отжима под высоким давлением образована роликами 6 с диаметром, уменьшающимся по мере перемещения осадка.

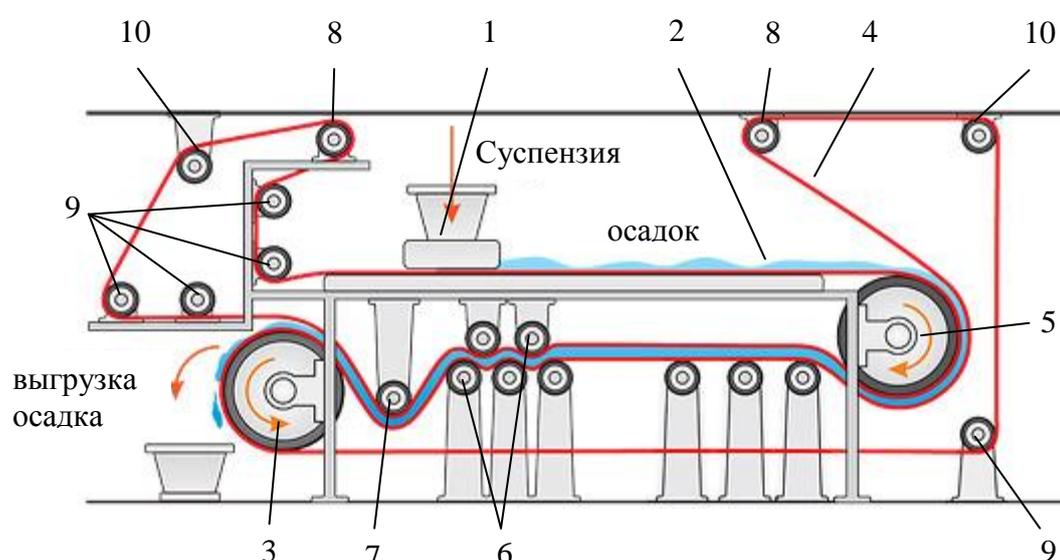


Рис. 6.10. Схема работы ленточного фильтр-пресса ЛМН

Постепенное повышение давления на осадок в зонах низкого, среднего и высокого давления оптимизирует процесс отжима и повышается эффективность системы обезвоживания. Твердая фаза остается на поверхности фильтровального полотна, а жидкая свободно проникает через фильтровальную сетку и далее через систему лотков и каналов выводится из фильтра.

Перед съемом осадка сетки поступают на направляющий ролик 7, а затем на приводной барабан 3, где они расходятся. Обезвоженный осадок при помощи скребков удаляется с ленты и сбрасывается в устройство выгрузки. В нижней части фильтр-пресса предусмотрена система промывки (регенерации) фильтровального полотна, где происходит непрерывная очистка поверхности сетки.

Натяжение сеток достигается роликами 8, направление движения корректируется системой оборотных роликов 9. Для обеспечения правильного положения сеток используются регулирующие ролики 10.

Управление процессом обезвоживания осуществляется с помощью шкафа управления, где расположены органы управления, сигнализации и индикации. Фильтр-пресс оборудован автоматической системой натяжения лент и системой защиты от сползания,

автоматической системой промывки лент, системой автоматического поддержания давления прессования при изменениях нагрузки.

Технические характеристики ленточных фильтр-прессов типа ЛМН [9] приведены в табл. 6.4.

Таблица 6.4. Технические характеристики ленточных фильтр-прессов типа ЛМН

Модель	Ширина ленты, мм	Производительность, м ³ /ч	Расход воды, л/мин	Габаритные размеры, мм
ЛМН-500-1К	500	3-7	30-50	4200x1400x2200
ЛМН-750-1К	750	6-9	40-70	4200x1650x2200
ЛМН-1000-1К	1000	8-12	60-80	4200x1900x2200
ЛМН-1500-1К	1500	12-18	80-100	4200x2400x2200
ЛМН-2000-1К	2000	16-24	120-140	4200x2950x2200
ЛМН-2500-1К	2500	20-30	140-160	4200x3450x2200
ЛМН-3000-1К	3000	28-38	160-180	4200x3950x2200
ЛМН-4000-1К	4000	36-42	170-200	4400x4950x2300

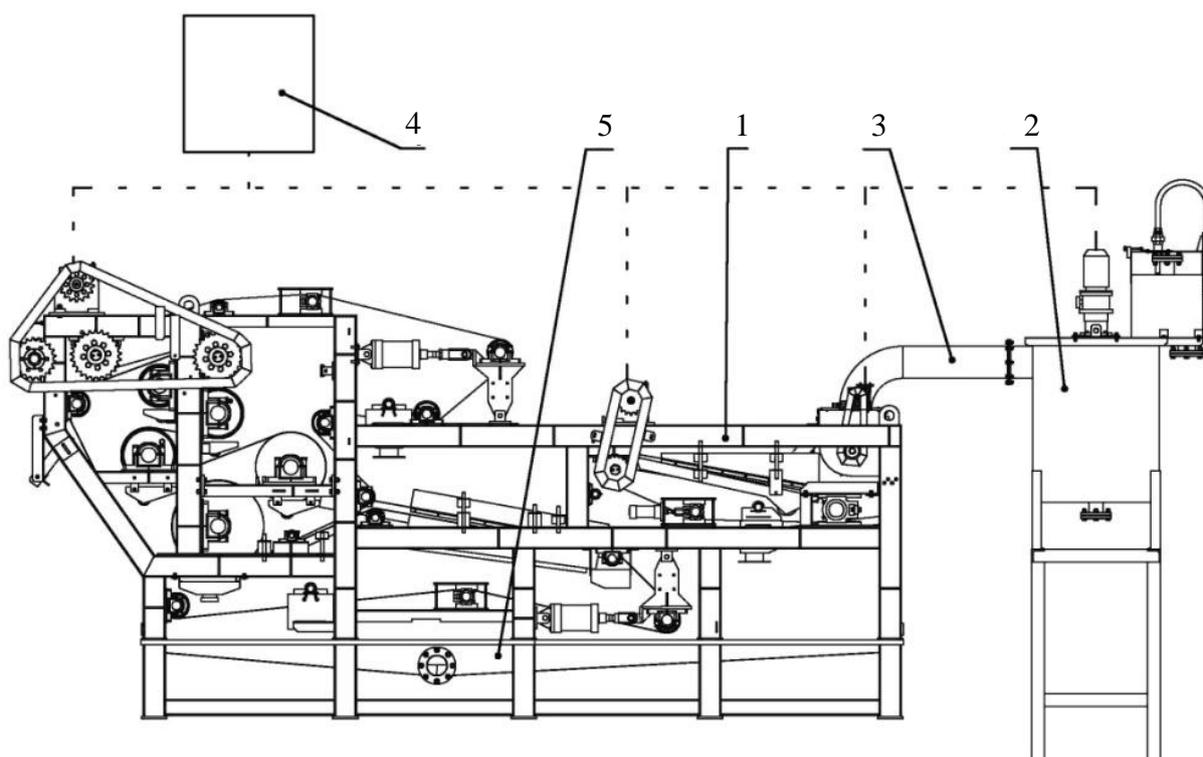
Ленточные фильтр-прессы серии ЭФП-Л производства ГК «Экополимер» [13] относятся к аппаратам непрерывного действия и предназначены для обработки осадков, суспензий и шламов методом фильтрации под давлением через полотна. При разработке конструкции ленточного фильтр-пресса за основу была принята кинематическая схема с расположением отжимных валов в вертикальной плоскости. Каждый отжимной вал оборудован лотком сбора фильтрата. Это исключает попадание фильтрата на предыдущий и последующий валы.

Общий вид фильтр-пресса ЭФП-Л представлен на рис. 6.11. Схема ленточного фильтр-пресса показана на рис. 6.12.

Типоразмеры ЭФП-Л различаются по ширине фильтрующих полотен: 1000, 2000 и 3000 мм. Выбор типоразмера ЭФП-Л обусловлен требуемой производительностью. Максимальная производительность для типоразмеров составляет 16, 35 и 52 м³/ч, соответственно.



Рис. 6.11. Общий вид ленточного фильтр-пресса ЭПФ-Л



1 – фильтр-пресс ленточный в сборе; 2 – смеситель исходного продукта и раствора флокулянта; 3 – трубная обвязка; 4 – шкаф управления; 5 – поддон

Рис. 6.12. Схема ленточного фильтр-пресса ЭПФ-Л

Для обеспечения работы фильтр-прессов применяется вспомогательное оборудование, которое, вместе с фильтр-прессом, составляет технологическую линию по обработке осадков.

Принцип действия технологической линии представлен на рис. 6.13.

Исходный осадок насосом-дозатором *10* непрерывно подается в смеситель осадка и флокулянта *4*. Одновременно насосом-дозатором *3* из станции приготовления флокулянта *2* в смеситель *4* непрерывно подается 0,1-0,2% рабочий раствор флокулянта (требуемая концентрация рабочего раствора подбирается в зависимости от свойств реального осадка и типа применяемого флокулянта).

Смеситель *4* представляет собой емкость, оборудованную механической мешалкой с электроприводом. На входе смесителя установлен промежуточный регулирующий бачок. Объем смесителя подобран таким образом, чтобы процесс флокуляции осадка завершился до его подачи в зону обезвоживания.

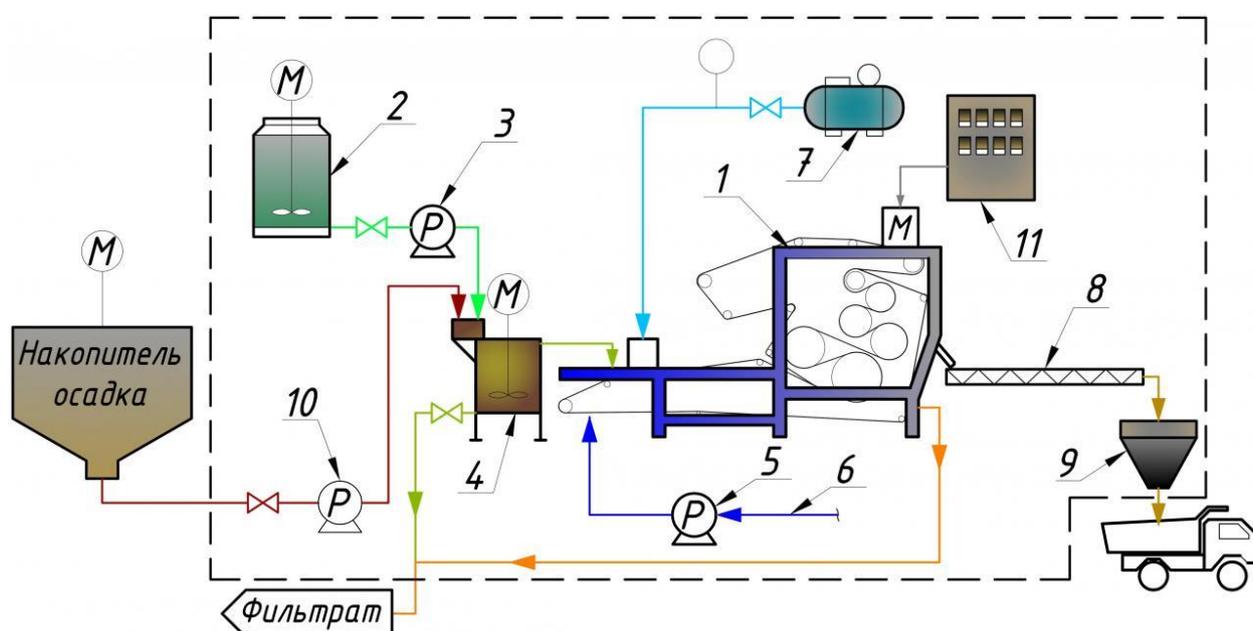


Рис. 6.13. Технологическую линию по обработке осадков на ленточном фильтр-прессе

Из смесителя *4* исходный осадок самотеком подается непосредственно на фильтр-пресс *1* (зона гравитации) или вначале на ленточный сгуститель, а затем на фильтр-пресс. Равномерное распределение осадка по всей ширине ленты обеспечивает специальное устройство – автоматический загрузчик. После гравитационной зоны осадок последовательно попадает в клиновидную зону и в зону сдвигового прессования, где происходит постепенный отжим влаги. Дальнейшее снижение влажности осадка происходит на специальном устройстве, формирующем повышенное давление

(зона дополнительного прессования). Давление прессования регулируется.

Фильтр-пресс 1 оборудован автоматической системой натяжения лент и слежения за их положением (функция защиты от «сползания» лент). Питание пневмоцилиндров системы натяжения лент и системы коррекции положения лент осуществляется сжатым воздухом от компрессора 7. Подача воды для промывки лент фильтр-пресса осуществляется от промывного насоса 5.

Диаметр валков, их количество, расположение, а также форма водоотводящих канавок и покрытие подбираются таким образом, чтобы процесс обезвоживания протекал наиболее интенсивно. Фильтрат и вода после промывки собирается с помощью сборных лотков в поддон. После обезвоживания осадок (кек) с помощью транспортера 8 подается в загрузочный бункер 9.

Управление процессом обезвоживания осуществляется с помощью шкафа управления 11, где расположены органы управления, сигнализации и индикации.

Вопросы для самоконтроля.

1. По каким параметрам классифицируются фильтр-прессы?
2. Как устроены фильтровальные камеры рамного фильтр-пресса?
3. Укажите основные различия между фильтровальными камерами на камерном и мембранного фильтр-прессе.
4. Перечислите основные конструктивные особенности вертикальных фильтр-прессов.
5. Опишите схему работы фильтровальных плит вертикального фильтр-пресса.
6. Опишите схему работы горизонтального фильтр-пресса.
7. Перечислите основные конструктивные особенности быстродействующего камерно-мембранного фильтр-пресса типа МБ.
8. Опишите схему работы ленточного фильтр-пресса ЛМН.

Глава 7

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПОЛЕ. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ФИЛЬТРОВАНИЕ

7.1 Центробежная сила и причины ее возникновения

Эффективность разделения твердой и жидкой фаз зависит от величины действующей силы. Поэтому оборудование, действие которого основано на использовании только силы тяжести, имеет ограниченные технологические возможности. С уменьшением размеров частиц, отношение величины сопротивления движению к силе тяжести становится больше. В таких случаях в дополнение к силе тяжести используется центробежная сила. В частности – центрифугирование – это процесс обезвоживания мелких и тонких продуктов под действием центробежных сил во вращающемся роторе. Делится на центробежное фильтрование и центробежное осаждение.

Центробежная сила, в противоположность силе тяжести, может регулироваться в широких пределах, т.к. ее значение определяется из соотношения:

$$F_{ц/б} = m U^2 / r,$$

где U – окружная скорость, r – радиус окружности, по которой вращается масса m .

Причиной возникновения центробежной силы является криволинейное движение, которое раскладывается на прямолинейное и движение по окружности. Второй вид движения и является источником центробежной силы.

Окружная и угловая скорости связаны зависимостью:

$$U = \omega r,$$

$$\omega = 2 \pi n / 60 = \pi n / 30,$$

где n – частота вращения, мин⁻¹.

$$U = \pi r n / 30, \quad \text{м/с.}$$

Тогда $F_{ц/б} = m U^2 / r = m \omega^2 r^2 / r = m \omega^2 r,$

или $F_{ц/б} = m \pi^2 n^2 r / 900 .$

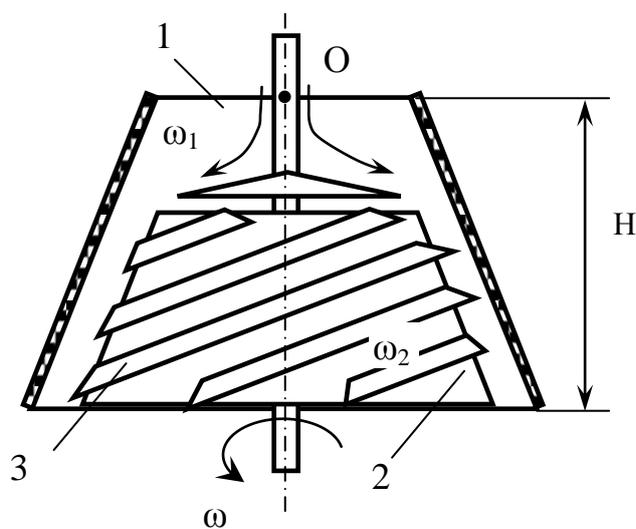
Одним из основных критериев технологической эффективности работы центрифуг является фактор разделения F_r , который определяют как отношение центробежной силы к силе тяжести:

$$F_r = F_{ц/б} / G = m \omega^2 r / mg = \omega^2 r / g.$$

Фактор разделения оказывает, во сколько раз центробежное ускорение больше ускорения силы тяжести. По значению F_r центрифуги делятся на нормальные ($F_r < 3500$) и суперцентрифуги ($F_r > 3500$). При обезвоживании продуктов обогащения применяются центрифуги с фактором разделения $F_r = 100-800$.

$$\begin{aligned} F_r &= \omega^2 r / g = \pi^2 n^2 r / 900 g = \pi^2 n^2 D / 2 \cdot 900 g = \pi^2 n^2 D / 1800g = \\ &= 9.86 n^2 D / 1800 \cdot 9.81 \approx n^2 D / 1800. \end{aligned} \quad (7.1)$$

Схема фильтрующей центрифуги со шнеком в общем случае показана на рис. 7.1.



- 1 – фильтрующий ротор,
- 2 – шнековый ротор,
- 3 – винтовой скребок (шнек)

Рис. 7.1. Схема шнековой фильтрующей центрифуги

Питание подается в пространство между фильтрующим и шнековым ротором, снабженным винтовыми скребками. Фильт-

рующий ротор имеет перфорированные стенки. Оба ротора вращаются в одном и том же направлении, но с различной скоростью. Скорость фильтрующего ротора на 3% больше:

$$\omega_1 > \omega_2.$$

Материал, находящийся в конусно-кольцевом пространстве между ротором и шнеком, подвергается действию центробежной силы. При этом происходит следующее.

1) Твердые частицы прижимаются к стенкам фильтрующего ротора и формируют осадок. Вода, свободно перемещающаяся в капиллярах, под действием центробежной силы отжимается через слой осадка и отверстия сита.

2) Далее скорость фильтрации снижается, т.к. оставшаяся влага находится на поверхности частиц в местах их контакта друг с другом и удерживается молекулярными и капиллярными силами.

3) Скорость фильтрации снижается до минимальной. Вода постепенно перетекает внутри осадка под действием центробежной силы и воздушного потока, проходящего через слой осадка. По мере продвижения вниз материал все больше обезвоживается и в момент достижения края ротора выгружается из центрифуги как сыпучий продукт.

Максимальная скорость фильтрования отмечается ближе к месту загрузки (т. O на рис. 7.1) и снижается по мере продвижения материала по ротору к месту разгрузки.

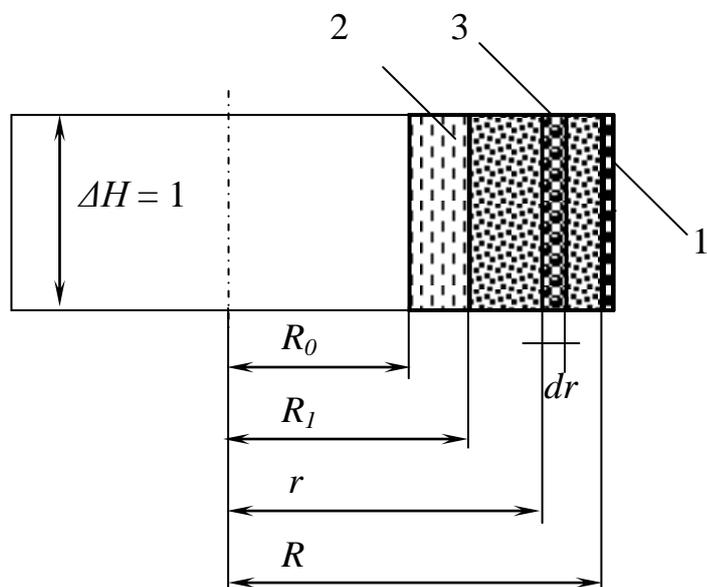
Полный цикл центробежного фильтрования условно делят на три этапа:

1) формирование осадка, 2) объемное уплотнение, 3) механическая сушка осадка.

Полный цикл фильтрования длится не более 2 секунд.

Процесс центробежного фильтрования происходит в более сложных условиях по сравнению с обычным фильтрованием, т.к. форма осадка и фильтрующей перегородки искривленная. Следовательно, площадь фильтрования зависит от радиуса вращения. Кроме того, на уплотнение осадка влияют гравитационные силы и гидростатическое давление вращающейся жидкости. Считают, что жидкость, находящаяся в роторе, ведет себя как твердое тело и вращается с постоянной угловой скоростью. Рассмотрим схемати-

ческий отрезок элементарного продольного сечения ротора центрифуги с высотой $\Delta H = 1$ (рис. 7.2).



1 – фильтрующий ротор,
2 – суспензия,
3 – элементарный слой осадка толщиной dr

Рис. 7.2. Состояние осадка в роторе центрифуги (продольный разрез)

Вследствие малой высоты отрезка ΔH наклоном образующей конического ротора пренебрегаем.

Центробежная сила, возникающая при вращении элементарного кольца суспензии массой dm , внутренним радиусом r , толщиной dr , будет:

$$dF_{ц/б} = \omega^2 r dm,$$

$$dm = \Delta ds dr,$$

где Δ – плотность жидкости, ds – площадь элементарного кольца радиусом r .

Тогда
$$dF_{ц/б} = \omega^2 r \Delta ds dr.$$

Статическое давление, развиваемое жидкостью под действием центробежного поля, определяется как:

$$dP_{ц/б} = dF_{ц/б} / ds = \omega^2 r \Delta dr = \Delta \omega^2 r dr.$$

$$P_{ц/б} = \int dP_{ц/б} = \int \Delta \omega^2 r dr = \Delta \omega^2 \int r dr.$$

При $\int x dx = x^2 / 2$, и $\int f(x) dx = F(b) - F(a)$ получим:

$$\int r dr = r^2 / 2,$$

т.е.
$$P_{у/б} = \Delta \omega^2 (R^2 - R_0^2) / 2.$$

При выводе основного уравнения центробежного обезвоживания, которое показывает зависимость скорости обезвоживания от различных параметров, приняты следующие допущения:

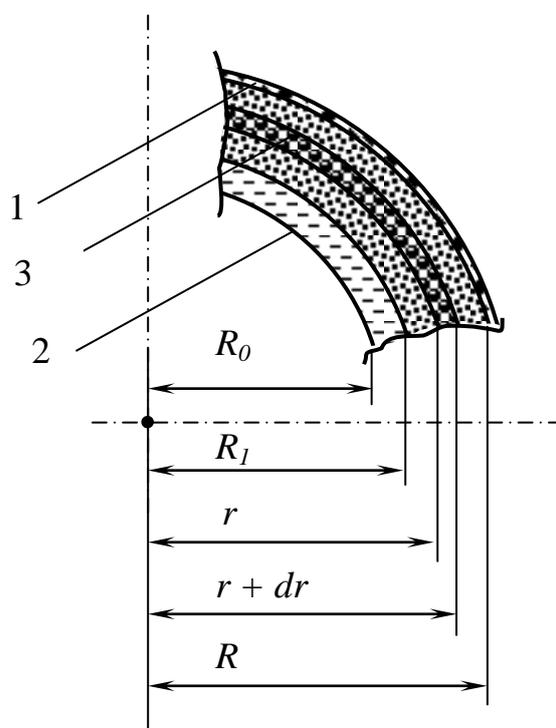
1) пренебрегаем действием силы тяжести, т.к. центробежная сила превышает ее в 400 и более раз;

2) не учитываем прирост гидростатического давления при движении жидкости в радиальном направлении через слой осадка, т.к. толщина слоя осадка составляет около 0,2 радиуса ротора;

3) считаем, что течение жидкости в радиальном направлении ламинарное.

4) считаем, что сопротивление фильтрующей перегородки в течение всего цикла фильтрования не изменяется.

Рассмотрим поперечный разрез материала в роторе (рис. 7.3).



1 – стенка фильтрующего ротора,
2 – суспензия,
3 – элементарный слой осадка

Рис.7.3. Поперечный разрез слоя осадка на стенке ротора

Суспензия проходит через слой осадка и стенку ротора. Скорость фильтрования через отверстия стенки ротора определится как:

$$w_p = \Delta P_p / \mu f_p h_p,$$

где ΔP_p – потери давления жидкости при ее фильтровании через отверстия ротора, μ – вязкость жидкости, f_p – удельное сопротивление сита ротора, h_p – толщина сита ротора.

Отсюда
$$\Delta P_p = w_p \mu f_p h_p.$$

Скорость фильтрации жидкости через слой осадка толщиной dr будет:

$$w_{oc} = \Delta P_{oc} / \mu f_{oc} dr,$$

где ΔP_{oc} – потери давления жидкости при фильтрации через слой осадка.

Отсюда
$$\Delta P_{oc} = w_{oc} \mu f_{oc} dr.$$

Фильтрование под действием центробежного поля будет осуществляться до тех пор, пока давление, развиваемое жидкостью при вращении, не станет равным потерям напора при движении жидкости через слой осадка и стенки ротора:

$$P_{ц/б} = \Delta P_{oc} + \Delta P_p,$$

где $P_{ц/б}$ – статическое давление, развиваемое жидкостью под действием центробежного поля, ΔP_{oc} , ΔP_p – потери напора при прохождении через слой осадка и отверстия стенки ротора.

$$\Delta P_{oc} = w_{oc} \mu f_{oc} dr, \quad \Delta P_p = w_p \mu f_p h_p.$$

Тогда
$$P_{ц/б} = w_p \mu f_p h_p + \int w_{oc} \mu f_{oc} dr.$$

Но скорость фильтрования w_{oc} изменяется в зависимости от высоты расположения рассматриваемого слоя осадка на роторе. Объем жидкости, отфильтрованной за время dt через тонкостенный цилиндр радиусом r , выделенный внутри осадка цилиндрической формы, будет:

$$dW_{oc} = w_{oc} 2 \pi r H dt, \quad H - \text{высота ротора.}$$

Через ротор фильтруется объем жидкости:

$$dW_p = w_p 2 \pi R H dt.$$

В силу неразрывности потока объем жидкости, отфильтрованной через тонкостенный цилиндр, должен быть равен объему жидкости, прошедшему через сито ротора, т.е.:

$$dW_{oc} = dW_p ; \quad w_{oc} 2 \pi r H dt = w_p 2 \pi R H dt.$$

Отсюда: $w_{oc} = w_p R / r .$

Тогда: $P_{u/\bar{o}} = w_p \mu f_p h_p + \int (w_p R / r) \mu f_{oc} dr .$

Но, с другой стороны, статическое давление, развиваемое жидкостью в центробежном поле, равно:

$$P_{u/\bar{o}} = \Delta \omega^2 (R^2 - R_0^2) / 2.$$

Тогда $\Delta \omega^2 (R^2 - R_0^2) / 2 = w_p \mu f_p h_p + \int (w_p R / r) \mu f_{oc} dr .$

При том, что

$$\int dx / x = \ln |x|, \text{ а } \int dr / r = \ln R - \ln R_1 = \ln R / R_1, \text{ получим:}$$

$$\Delta \omega^2 (R^2 - R_0^2) / 2 = w_p \mu (f_p h_p + R f_{oc} \ln R / R_1).$$

Отсюда: $w_p = [\Delta \omega^2 (R^2 - R_0^2)] / [2 \mu (f_p h_p + R f_{oc} \ln R / R_1)].$

Это уравнение носит название *основного уравнения центробежного обезвоживания*, справедливое и для центробежного фильтрования, и для центробежного осаждения. Таким образом, основное влияние на скорость фильтрования жидкости в центробежном поле (или на скорость осаждения твердой фазы, что будет рассматриваться далее) оказывают угловая скорость вращения ротора и толщина слоя суспензии в роторе.

7.2 Конструкции фильтрующих центрифуг

Фильтрующие центрифуги *по способу выгрузки осадка* делятся на:

- 1) инерционные,
- 2) шнековые,
- 3) вибрационные,
- 4) вибрационно-пульсирующие.

По расположению вала ротора – на горизонтальные и вертикальные.

В зависимости от направления движения обезвоживаемого материала центрифуги изготовляют следующих исполнений [14]:

П – прямоточные; Т – противоточные.

В зависимости от материала ротора центрифуги изготовляют следующих исполнений:

У – из углеродистой стали; С – из коррозионно-стойкой стали.

7.2.1 Инерционные центрифуги

Рассмотрим силы, действующие на частицу, которая находится на поверхности ротора инерционной центрифуги (рис. 7.4).

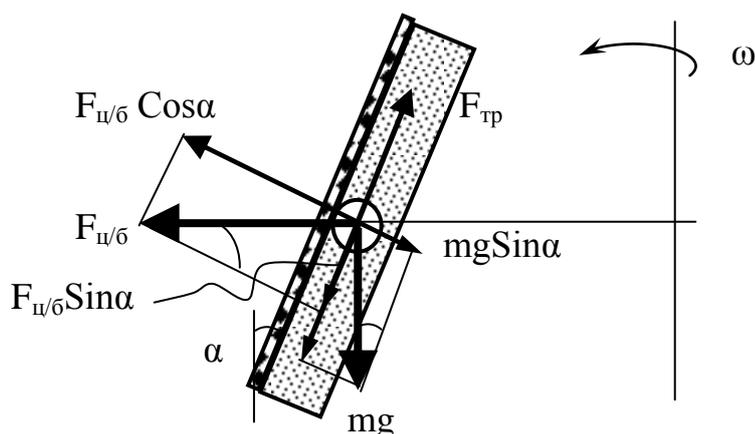


Рис.7.4. Схема сил, действующих на частицу, находящуюся на поверхности ротора инерционной фильтрующей центрифуги

Тело, находящееся под действием силы тяжести и центробежной, будет двигаться по ротору, если:

$$mg \cos \alpha + F_u \sin \alpha \geq F_{mp},$$

где φ – угол конусности ротора.

Но $F_{mp} = N f_{mp}, \quad N = F_u \cos \alpha - mg \sin \alpha.$

Тогда $mg \cos \alpha + F_u \sin \alpha \geq F_u \cos \alpha f_{mp} - mg \sin \alpha f_{mp}.$

Разделим обе части неравенства на $\cos \alpha$:

$$mg + F_u \operatorname{tg} \alpha \geq F_u f_{mp} - mg \operatorname{tg} \alpha f_{mp},$$

$$(F_u + mg f_{mp}) \operatorname{tg} \alpha \geq F_u f_{mp} - mg,$$

$$\operatorname{tg} \alpha \geq (F_u f_{mp} - mg) / (F_u + mg f_{mp}).$$

Силой тяжести пренебрегаем, т.к. $F_u \gg mg$.

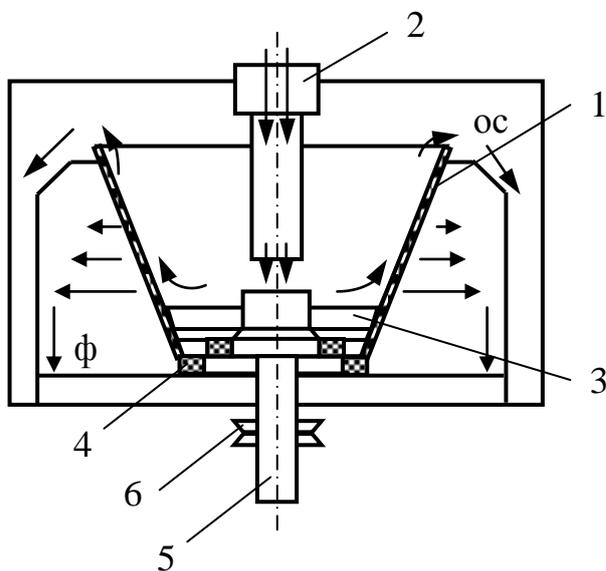
Тогда

$$\operatorname{tg} \alpha \geq f_{mp} \quad \text{или} \quad \operatorname{tg} \alpha \geq \operatorname{tg} \varphi,$$

где φ – угол трения.

Следовательно, угол конусности ротора должен быть больше или равен углу трения материала по ротору.

К центрифугам с инерционной выгрузкой осадка относится машина ФВИ-1001К-02 (фильтрующая, вертикальная, с инерционной выгрузкой), показанная на рис. 7.5.



- 1 – фильтрующий ротор,
- 2 – загрузочное устройство,
- 3 – тороидальная вставка,
- 4 – упругие опоры,
- 5 – вал,
- 6 – приводной шкив

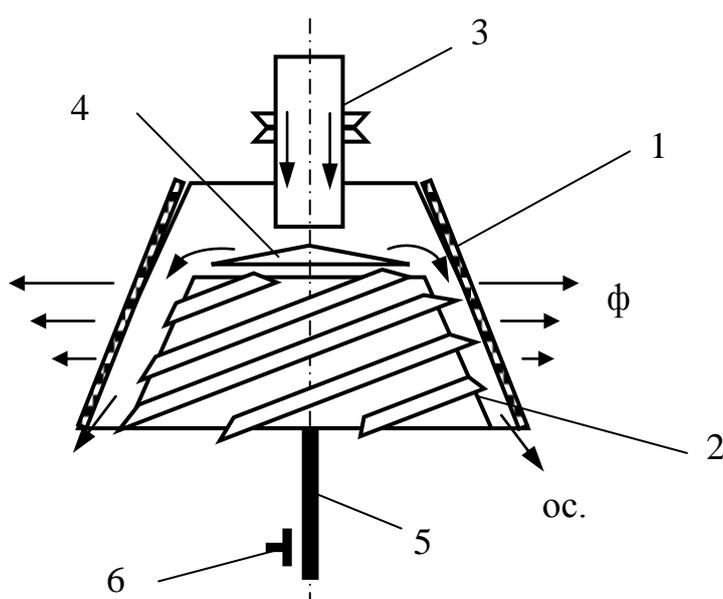
Рис. 7.5. Схема инерционной центрифуги типа ФВИ

Ротор центрифуги установлен на упругих опорах. Ротор вращается от электродвигателя через клиноременную передачу. Питание через загрузочное устройство поступает на днище ротора. Здесь ему придается начальное ускорение с помощью тороидальной вставки. За счет того, что ротор постепенно увеличивается в диаметре в направлении разгрузки, происходит дополнительное обезвоживание осадка из-за его растрескивания. Осадок перемещается к верхней кромке ротора и разгружается. Жидкая фаза фильтруется через осадок и стенки ротора, собирается в приемнике фугата и отводится. Производительность центрифуги ФВИ-1001К-02 – до 80 т/ч, влажность осадка – 8% при влажности питания 25%. Унос шлама с фугатом – не более 3%.

7.2.2 Шнековые центрифуги

Шнековые центрифуги применяются для труднотранспортируемых материалов с высоким содержанием тонких частиц. Для увеличения времени пребывания осадка в центрифуге угол конусности ротора делают меньшим φ . Осадок при этом сам не движется, поэтому его выгружают шнеками. Перемещение осадка обеспечивается за счет разности угловых скоростей ротора и шнека.

Схема работы шнековой центрифуги типа ЦфШнВ-1,00-МП (фильтрующая, шнековая, вертикальная) показана на рис. 7.6.



1 – ротор, 2 – шнек,
3 – питающее устройство,
4 – распределительная
крышка, 5 – вал, 6 – пере-
дача, соединенная со шне-
ковым ротором для обеспе-
чения разности угловых
скоростей вращения

Рис. 7.6. Принципиальная
схема работы шнековой
фильтрующей центрифуги
типа ЦфШнВ

Вращение от электродвигателя передается клиновыми ремнями шкиву, связанному со шнеком 2 и валом 5.

С центральным валом связана шестерня 6, которая передает вращение ротору 1. Шнек транспортирует осадок к нижнему широкому концу ротора. Влажность осадка зависит от грансостава питания и нагрузки на центрифугу. При превышении нагрузки больше оптимальной, влажность осадка увеличивается.

Центрифуга ЦфШнВ-1,00-МП предназначена для обезвоживания мелкого угля и антрацита крупностью от 0,5 до 13 мм, максимальная крупность 25 мм.

Для обезвоживания угольного и антрацитового шламов крупностью от 0,5 до 3,0 (6,0) мм в основном применяются горизонтальные шнековые центрифуги типа ЦфШнГ (рис. 7.7).

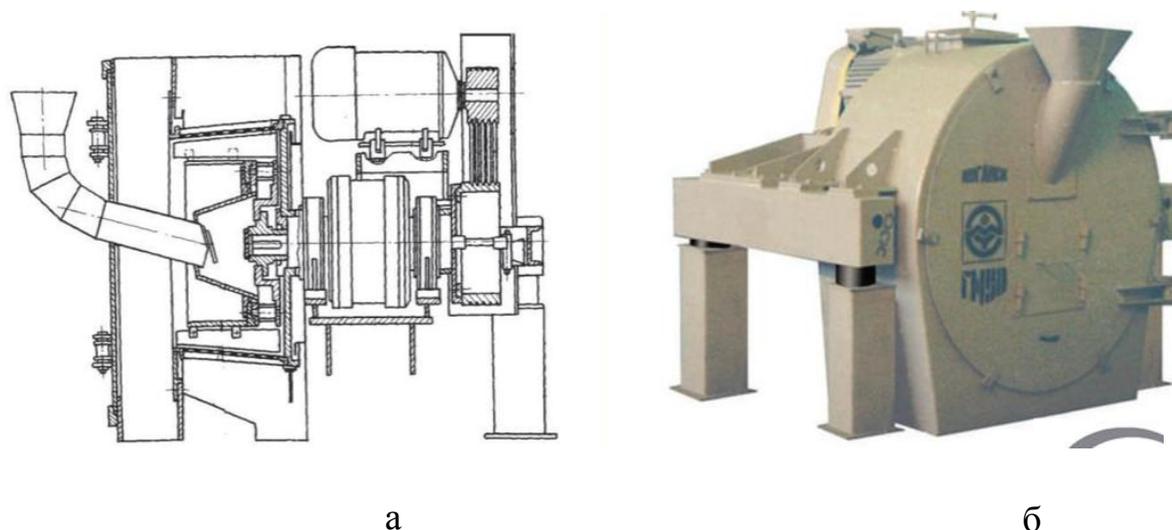


Рис.7.7. Горизонтальная фильтрующая шнековая центрифуга типа ЦфШнГ:

а – схема устройства, б – общий вид

Общий конструктивный признак этого типа центрифуг – горизонтальное расположение оси конического щелевого ротора с ситом на внутренней поверхности. Внутри ротора вращается шнек, транспортирующий осадок к разгрузочным окнам. Для сообщения ротору и шнеку различных угловых скоростей служит планетарно-дифференциальный редуктор. Ротор закреплен на ведущем валу, а шнек – на ведомом.

При работе центрифуги на внутренней поверхности ротора создается фильтрующий подслои из перерабатываемого материала,

толщина которого равна зазору между кромкой витка шнека и внутренней поверхностью ротора. Подслой задерживает мелкие частицы, уменьшая при этом унос твердой фазы в фугат, и защищает ротор от износа.

Технические характеристики фильтрующих шнековых центрифуг приведены в табл. 7.1.

Таблица 7.1. Технические характеристики фильтрующих шнековых центрифуг

Параметры	ЦфШнВ-1,00-МП	ЦфШнВ-1,00	ЦфШнВ-1,32	ЦфШнГ-0,63	ЦфШнГ-1,00-06
Область применения	уголь и антрацит 0-13 мм	уголь 0-13 мм		уголь и антрацит 0-6 мм	
Производительность по исходному, т/ч	80-100	80-100	120-150	10-15	до 60
Влажность исходного материала, %	20-30	30	30	25-30	25-30
Влажность осадка, %	6-8	6-8	6-8	7-9	7-9
Внутренний диаметр ротора, мм	1000	1000	1320	630	1000
Мощность электродвигателя, кВт	37	45	45	15	37
Габаритные размеры, мм					
длина	2570	2850	3100	1800	2400
ширина	1865	2115	2150	1500	2400
высота	1660	1600	1500	1500	2100
Масса, кг	3450	3850	4850	1700	4600

Преимущества шнековых центрифуг:

1) возможность обезвоживать уголь с высоким содержанием класса $< 0,5$ мм;

2) получение осадка с минимальной влажностью.

Недостатки:

- 1) значительное переизмельчение осадка (до 10%);
- 2) высокий унос твердого в фугат (до 260 кг/м³);
- 3) срок службы ротора в 2 раза меньше, чем у фильтрующих центрифуг других типов;
- 4) материал- и энергоемкость больше в 2 раза по сравнению с инерционными центрифугами.

7.2.3 Вибрационные центрифуги

Вибрационные центрифуги с вертикально расположенным валом ротора имеют конический ротор с углом наклона стенок, меньшим угла трения осадка по стенке. Поэтому движение осадка вдоль стенок от узкого конца ротора к широкому под действием центробежной силы оказывается невозможным. В данном случае для перемещения осадка в роторе используются осевые вибрации, которые создаются механическим, гидравлическим или электромагнитным устройством. При этом интенсивность вибраций определяет скорость перемещения осадка в роторе, что позволяет, в частности, обеспечить необходимую степень обезвоживания осадка.

Схема центрифуги типа ФВВ (фильтрующая, вертикальная, вибрационная) показана на рис. 7.8.

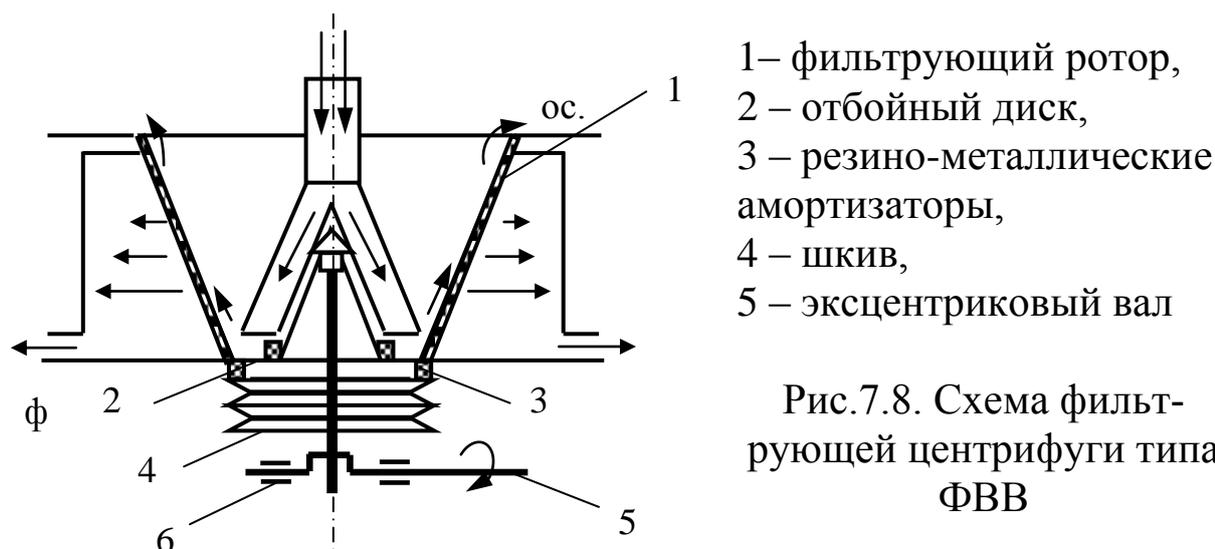


Рис.7.8. Схема фильтрующей центрифуги типа ФВВ

Центрифуга предназначена для обезвоживания концентрат антрацита класса 0-6(13) мм при условии содержания в исходном материале частиц размером 0-0,5 мм до 10%, концентрата и пром-

продукта каменного угля класса 0-3(25) мм при содержании до 5% частиц размером 0-0,5 мм.

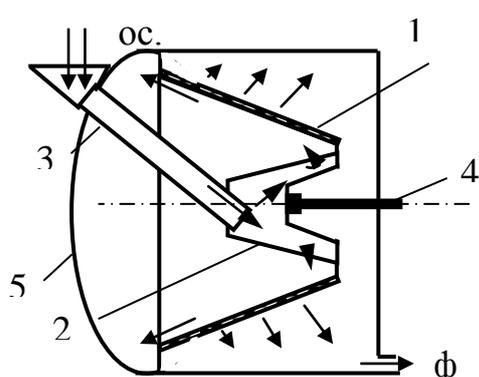
Ротор опирается на диск, по обеим сторонам которого расположены резинометаллические амортизаторы в два кольцевых ряда. Нижний ряд связан со шкивом. Одновременно с вращением ротору сообщается вибрация в вертикальном направлении через эксцентриковый вал от отдельного двигателя.

В промышленности также применяются *вибрационные центрифуги с горизонтальным расположением ротора*. Общий вид вибрационной центрифуги ФГВ представлен на рис. 7.9.



Рис. 7.9. Общий вид вибрационной центрифуги ФГВ

Схема такой машины типа ФГВ (фильтрующая, горизонтальная, вибрационная) приведена на рис. 7.10.



- 1 – ротор,
- 2 – вращающийся конус-распределитель,
- 3 – загрузочный желоб,
- 4 – эксцентриковый вал,
- 5 – крышка

Рис. 7.10. Схема горизонтальной вибрационной центрифуги

Питание по желобу поступает на поверхность перфорированного ротора. Под действием центробежных сил жидкая фаза проходит через слой образующегося осадка, отверстия ротора и сбрасывается в приемную камеру для фугата. Осадок за счет горизонтальных вибраций ротора перемещается к нижнему краю и выгружается в приемную камеру. Вращение ротора задается электродвигателем через приводной шкив и клиновые ремни. Вибрация ротору сообщается от вибратора через эксцентриковый вал.

Технические характеристики фильтрующих вибрационных центрифуг приведены в табл. 7.2 [15].

Таблица 7.2. Технические характеристики фильтрующих вибрационных центрифуг

Параметры	ФВВ-1001	ФВВ-1121	ФГВ-1151	ФГВ-1321	ФГВ-1501
Область применения	Обезвоживание концентрата угля и антрацита класса 0-13(25) мм				
Производительность по исходному, т/ч не более	100	100	150	250	400
Влажность осадка, %	7,1	8,5	7,5-8,5	7,5-8,5	7,5-8,5
Частота колебаний ротора, кол/мин	1600	1600	1535; 1620;1750	1415-1620	1500; 1620; 1750
Максимальный диаметр ротора, мм	1000	1120	1150	1320	1500
Мощность электродвигателя, кВт	25,3	25,3	44,8	62,8	82,8
Габаритные размеры, мм					
длина	2895	2895	2685	2685	2945
ширина	2060	2165	2580	2580	2780
высота	1650	1650	2130	2195	2335
Масса, кг	3475	4080	5875	6350	7800

Основные *преимущества* вибрационных центрифуг:

- 1) возможность регулирования времени пребывания осадка в роторе за счет изменения режима вибрации;
- 2) низкий удельный расход потребляемой электроэнергии;
- 3) высокая производительность (до 400 т/ч).

Недостатки:

- 1) отсутствие разбрасывающего устройства;
- 2) сложности в эксплуатации и ремонте.

Вопросы для самоконтроля.

1. От каких параметров зависит центробежная сила?
2. Как определяется фактор разделения?
3. Опишите схему работы шнековой фильтрующей центрифуги.
4. Какие факторы оказывают основное влияние на скорость фильтрования жидкости в центробежном поле?
5. По каким параметрам классифицируются фильтрующие центрифуги?
6. Какие силы действуют на частицу, которая находится на поверхности ротора инерционной центрифуги?
7. Сформулируйте основное условие эффективного обезвоживания в инерционной центрифуге.
8. Перечислите основные достоинства и недостатки шнековых центрифуг.
9. Опишите схему работы горизонтальной вибрационной центрифуги.
10. Перечислите основные достоинства и недостатки вибрационных центрифуг.

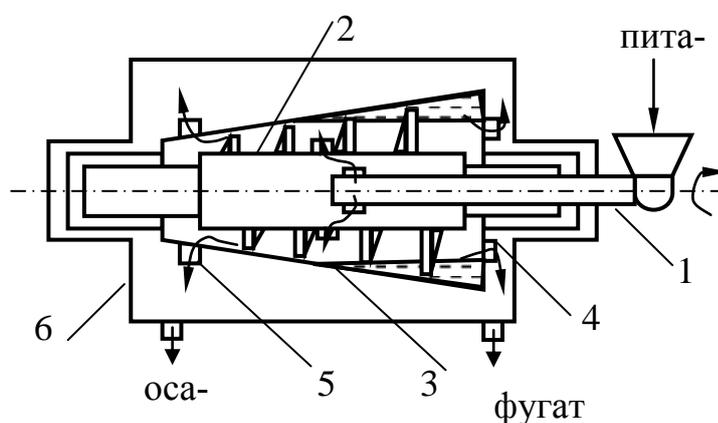
Глава 8

ОБЕЗВОЖИВАНИЕ В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПОЛЕ. ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ОСАЖДЕНИЕ

8.1 Принцип действия осадительных центрифуг

Центробежное осаждение осуществляется в центрифугах со сплошным ротором и применяется для разделения и обезвоживания мелких разжиженных продуктов обогащения, содержащих от 10 до 50% твердого.

Принципиальная схема осадительной центрифуги представлена на рис. 8.1.



1 – питающая труба, 2 – шнековый ротор, 3 – осадительный ротор, 4 – сливные окна для удаления фугата, 5 – окна для выгрузки осадка, 6 – кожух

Рис. 8.1. Принципиальная схема осадительной центрифуги

Под действием центробежных сил твердые частицы оседают на стенки осадительного ротора и уплотняются. Вода выжимается из промежутков между частицами и удаляется в виде фугата через сливные окна. Осадок по стенкам ротора перемещается шнеком в конец ротора к разгрузке. При этом из него дополнительно выжимается вода.

Разделение твердой и жидкой фазы в роторе осадительных центрифуг состоит из трех основных этапов:

1) осаждение твердых частиц;

2) уплотнение осадка и его транспортирование спиралью шнека по внутренней поверхности ротора;

3) обезвоживание осадка при его выходе из объема суспензии.

Унос твердого в фугат составляет 25-35%, влажность осадка – 20-35%.

Скорость осаждения частиц в роторе осадительной центрифуги определяется по уравнению Стокса аналогично осаждению в гравитационном поле. При этом, ускорение силы тяжести заменяется на центробежное ускорение. Тогда:

$$V_u = d^2 (\delta_m - \Delta) \omega^2 r / 18 \mu,$$

где δ_m – плотность твердого; Δ – плотность жидкости; d – диаметр частицы; ω – угловая скорость; r – расстояние от центра вращения до частицы; μ – вязкость жидкости.

Формула Стокса выведена для условий свободного падения частиц в воде. При массовом осаждении частиц в стесненных условиях необходимо учитывать скорость перемещения поверхности раздела осветленной жидкости в суспензии, т.е. граничного слоя. Поэтому скорость осаждения граничного слоя определяется по формуле:

$$V_u = 2 K_p^3 (\delta_{cp} - \Delta) \omega^2 r / S^2 \mu,$$

где K_p – коэффициент разрыхленности (пористости) материала; δ_{cp} – среднединамическая плотность твердых частиц; S – удельная поверхность частиц.

Коэффициент разрыхленности определяется как

$$K_p = R_{исх} \delta_{cp} / (\Delta + R_{исх} \delta_{cp}),$$

где $R = Ж:Т$ в исходном питании (разжиженность).

Скорость осаждения крупных частиц определяется по формуле:

$$V_{круп} = K_p V_o \sqrt{F_p},$$

где F_p – фактор разделения; V_o – конечная скорость падения частиц граничного слоя.

Условие эффективной работы центрифуги следующее: время осаждения частиц должно быть меньше или равно времени удаления жидкости к сливным окнам, т.е.

$$t_{oc} < t_{сл},$$

где $t_{сл}$ – время, за которое жидкая фаза перемещается от места загрузки суспензии до сливных отверстий; t_{oc} – время, за которое частицы проходят путь от поверхности жидкости до стенки ротора (рис. 8.2).

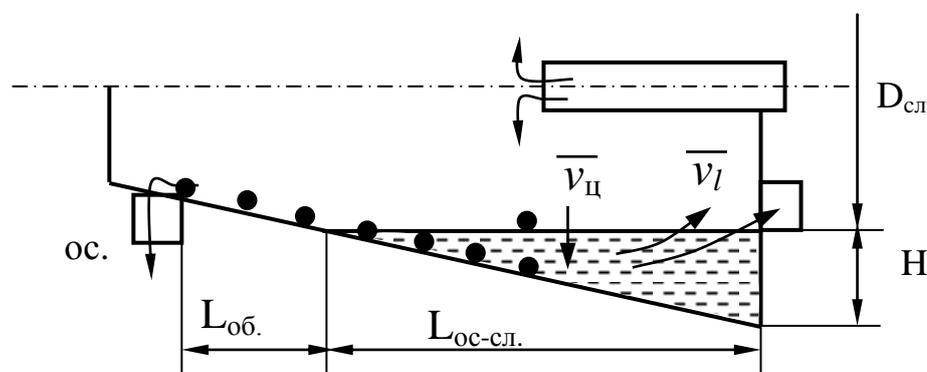


Рис.8.2. Схема к определению условия эффективной работы осадительной центрифуги

Из схемы (рис. 8.2) следует, что

$$t_{oc} = H / v_{ц}, \quad t_{сл} = L_{ос-сл} / v_l,$$

где H – максимальная высота суспензии в роторе; $v_{ц}$ – скорость осаждения частиц в центробежном поле; v_l – скорость растекания жидкости по длине ротора, величина переменная; $L_{ос-сл}$ – длина зоны осаждения частиц и слива жидкости; $L_{об}$ – длина зоны обезвоживания осадка.

Отжим влаги из осадка происходит в зоне обезвоживания ($L_{об}$ на рис. 8.2) под действием центробежной силы. Отжатая влага стекает по спиральному шнековому каналу в зоне осаждения (шнек на рис. 8.2 не показан). Регулирование длины зон осаждения ($L_{ос-сл}$) и

обезвоживания выполняется путем изменения высоты порога в сливных окнах.

Гидродинамика внутриворотного пространства сильно влияет на процесс осаждения твердой фазы. Она влияет на траекторию осаждаемых частиц, т.е. на продолжительность воздействия на них центробежной силы и, тем самым, на производительность машины и эффективность ее работы.

Непрерывное поступление исходной суспензии в машину формирует в роторе потоки, скорость которых зависит от интенсивности питания. Скорость потока жидкости в роторе неодинакова по глубине. Максимальная скорость на поверхности жидкостной ванны и постепенно снижается до нуля у стенки ротора. Элементарные струи потока не параллельны оси вращения. Большое влияние на процесс разделения оказывает угловая скорость жидкости. При отсутствии питания вся жидкость в машине вращается как одно целое с ротором. При подаче питания жидкость начинает отстаивать от ротора.

Эффективность работы шнековой осадительной центрифуги по степени осветления жидкости определяется из выражения:

$$\eta_{oc} = (1 - C_{\phi} / C_n) \cdot 100, \%$$

где C_{ϕ} , C_n – содержание твердого в фугате и питании; $\eta_{oc} = 55-90\%$.

8.2 Конструктивные особенности осадительных центрифуг

Современные осадительные центрифуги имеют различное исполнение основных узлов, общий конструктивный признак которых – горизонтальное расположение ротора с соосно размещенным внутри него шнеком.

Осадительные центрифуги выпускаются *противоточные и прямоточные*.

В противоточных жидкая и твердая фазы движутся в противоположных направлениях. Здесь исходная суспензия подается в зону с уже сформировавшимся осадком и размывает его. При этом уже осевшие частицы увлекаются к сливным окнам.

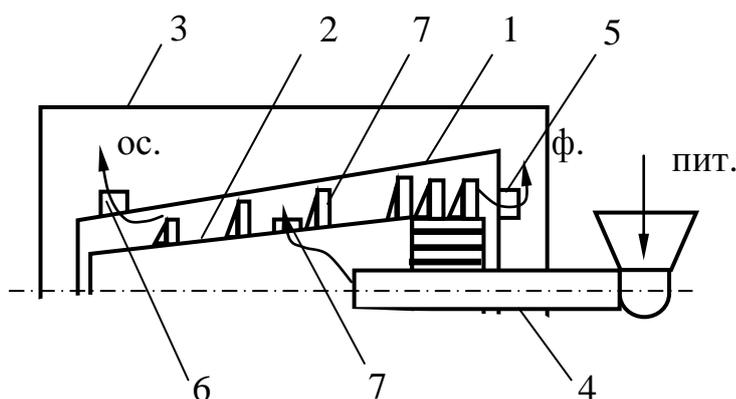
В прямоточных машинах твердая и жидкая фазы движутся в одном направлении. Осветленная вода в зоне перехода цилиндра в конус удаляется из машины по внутреннему (еще одному) цилиндру. Осадок выводится через конус ротора. В жидкостной ванне таких центрифуг нет турбулентных зон. Это облегчает отделение жидкости от осадка.

В соответствии с ГОСТ 28314-89 [14] осадительные центрифуги изготовляют следующих типов:

- ОГШ – осадительные горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка;

- КГШ – комбинированные (осадительно-фильтрующие) горизонтальные со шнековой выгрузкой осадка.

Принципиальная схема конструкции *осадительной центрифуги ОГШ* приведена на рис. 8.3.



- 1 – ротор, 2 – шнек, 3 – кожух, 4 – питающая труба, 5 – сливные окна, 6 – патрубки для выгрузки осадка, 7 – спираль, 8 – отверстия для подачи суспензии внутрь ротора

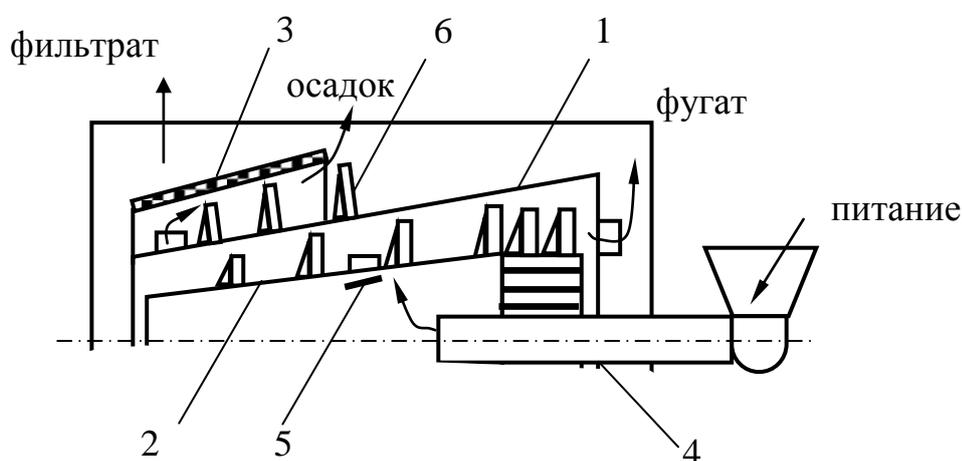
Рис. 8.3. Принципиальная схема центрифуги типа ОГШ

Центрифуга типа ОГШ имеет кожух, ротор и шнек. В торцевой крышке ротора расположены сливные окна с регулировочными кольцами или шайбами для слива фугата. В конце конической части ротора предусмотрены разгрузочные патрубки для выгрузки осадка. Внутри ротора расположен шнек, состоящий из сплошного конуса и цилиндрической части, выполненной в виде «белчьего колеса». На поверхности конуса и «белчьего колеса» укреплена

спираль. В конической части шнека имеются отверстия для подачи суспензии внутрь ротора. Ротор и шнек вращаются в одном направлении, но частота вращения шнека меньше частоты вращения ротора на 2,6%.

Твердая фаза перемещается шнеком к разгрузочным патрубкам ротора, через которые разгружается под действием центробежной силы. Вода по спиральным каналам, образованным витками шнека и стенкой ротора, движется в противоположном направлении и вытекает через сливные окна.

Схема *осадительно-фильтрующей центрифуги типа КГШ* показана на рис. 8.4.



1 – ротор, 2 – шнек, 3 – фильтрующая ступень, 4 – питающая труба, 5 – раскручивающие лопасти для обеспечения вращательного движения суспензии, 6 – шнек фильтрующей ступени

Рис. 8.4. Принципиальная схема осадительно-фильтрующей центрифуги типа КГШ

Осадительная ступень центрифуги типа КГШ состоит из сплошного ротора со шнеком. Внутри ротора расположен шнек, выполненный в виде сплошного конуса и цилиндрического «белчьего колеса». В конической части шнека предусмотрены патрубки для подачи питания внутри ротора, а на внутренней его части – раскручивающие лопасти для обеспечения вращательного движения суспензии. Транспортирующая спираль шнека состоит

из двух частей. На «беличьем колесе» она выполнена в виде четырехзаходной ленточной спирали, а на конической части – в виде двухзаходной.

В конструкции машины предусмотрена фильтрующая ступень. Шнек фильтрующей ступени центрифуги укреплен на конической части ротора. Фильтрующая поверхность – щелевидное сито. Цапфа фильтрующей ступени жестко соединена со шнеком.

Питание по питающей трубе подается внутрь шнека, из которого по патрубкам поступает в осадительную ступень ротора. Твердая фаза транспортируется шнеком к разгрузочным окнам осадительной ступени, через которые поступает на фильтрующую ступень. Фугат осадительной ступени выводится через сливные окна, расположенные в торцевой крышке цилиндрической части ротора.

В фильтрующей ступени осуществляется дополнительное обезвоживание осадка, который разгружается через ее торцевую кромку. Для разделительного отвода из центрифуги продуктов обезвоживания кожух центрифуги разделен на камеры с лабиринтными уплотнителями. Влажность обезвоженного осадка зависит от содержания класса крупностью менее 74 мкм и колеблется для угольных шламов в пределах 23-35%.

8.3 Промышленные типы осадительных центрифуг

Осадительные центрифуги нашли широкое применение в различных отраслях промышленности: химической, пищевой, гидрометаллургии, нефтеперерабатывающей, горнодобывающей и др.

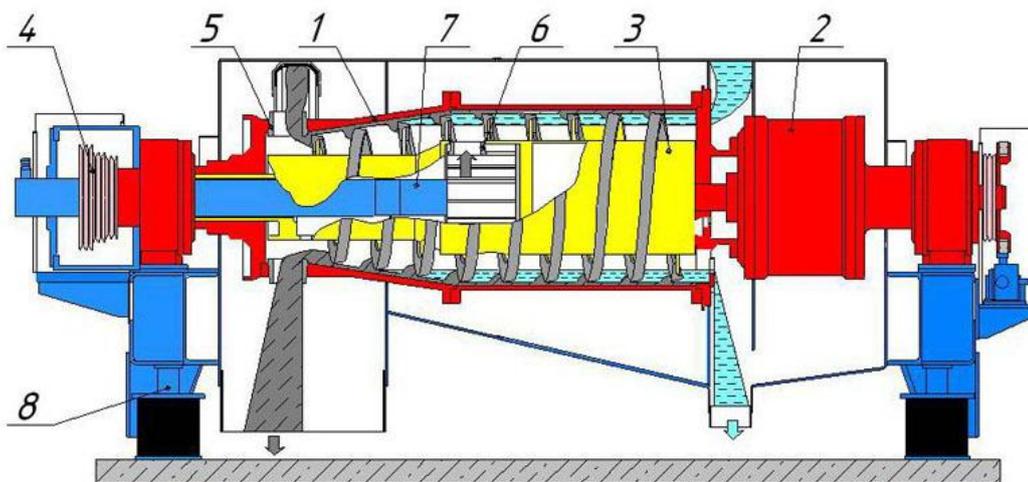
В табл. 8.1 приведены технические характеристики осадительных центрифуг типа ОГШ [17], которые используются на углеобогатительных предприятиях.

На рис. 8.4 представлена схема работы центрифуги ОГШ-461Л. Шламовые воды поступают по трубе питания на разгонный конус шнека и через загрузочные окна во внутреннюю полость вращающегося ротора. Под воздействием центробежной силы частицы твердой фазы осаждаются на внутренней поверхности ротора и удаляются шнеком в шахту выгрузки осадка. Очищенная жидкость (фугат) стекает через окна в стенке ротора в шахту фугата.

Таблица 8.1. Технические характеристики осадительных центрифуг типа ОГШ

Параметры	ОГШ-301Л	ОГШ-461Л	ОГШ-751Л	ОГШ-462Л
1	2	3	4	5
Область применения	обезвоживание угольного шлама (флотоконцентрат, флотоотходы или шламовые воды), сточных вод			обезвоживание буровых растворов
Производительность по исходному, м ³ /ч	4-12	20-27	30-90	до 25
Отношение длины ротора к внутреннему диаметру	-	2,51	2,86	2,51
Частота вращения ротора, макс., об/мин	-	2400	1200-1700	2600
Диаметр ротора внутренний, мм	300	460	750	460
Мощность двигателя, кВт	18	37	132	30
Габаритные размеры, мм				
длина	1790	2820	4600	2820
ширина	1400	1900	2400	1900
высота	645	1100	1450	1100
Масса, кг	900	2900	14600	3200

Привод ротора центрифуги осуществляется от асинхронного электродвигателя через клиноременную передачу. Изменение частоты вращения ротора осуществляется перестановкой двух ремней на многоступенчатых шкивах. Высокий фактор разделения в сочетании с конструктивными особенностями ротора позволяет удалять частицы с граничным зерном разделения до 10 мкм.



1 – ротор, 2 – редуктор, 3 – шнек, 4 – шкив ротора, 5 – окна выгрузки осадка, 6 – загрузочные окна, 7 – труба питания, 8 – опора

Рис. 8.4. Схема устройства осадительной центрифуги ОГШ-461Л

Общий вид центрифуг ОГШ-461Л и ОГШ-751Л показан на рис. 8.5.



а



б

Рис. 8.5. Общий вид центрифуг ОГШ-461Л (а) и ОГШ-751Л (б)

В последнее время широкое применение в промышленности для обезвоживания мелких угольных шламов нашли *осадительно-фильтрующие центрифуги «Декантер»* [18, 19]. При крупности частиц в питании 0-2 мм центрифуга может обеспечивать производительность до 90 т/ч по твердому и 180 м³/ч по исходной пульпе. При этом влажность кека будет в пределах 8-14% в зависимости от гранулометрической характеристики шлама и степени метаморфизма угля.

Схема работы осадительно-фильтрующей центрифуги «Декантер» производства компании Decanter Machine Inc. (США) приведена на рис. 8.6.

Осадительно-фильтрующая центрифуга «Декантер» имеет две последовательных стадии разделения твердого от жидкого в исходной пульпе. Первая стадия включает центробежный отжим твердого в сплошном цилиндрическом роторе, вторая стадия включает центробежную фильтрацию на щелевом сите цилиндрической формы.

Как показано на рис. 8.6, пульпа подается в центрифугу через конец стационарно установленной трубы питания. Пульпе придается вращательная скорость в разгонной камере, и она распределяется через питающий порт в осадительную часть ротора. Твердые частицы из пульпы осаждаются на сплошной стенке ротора благодаря большой центробежной силе.

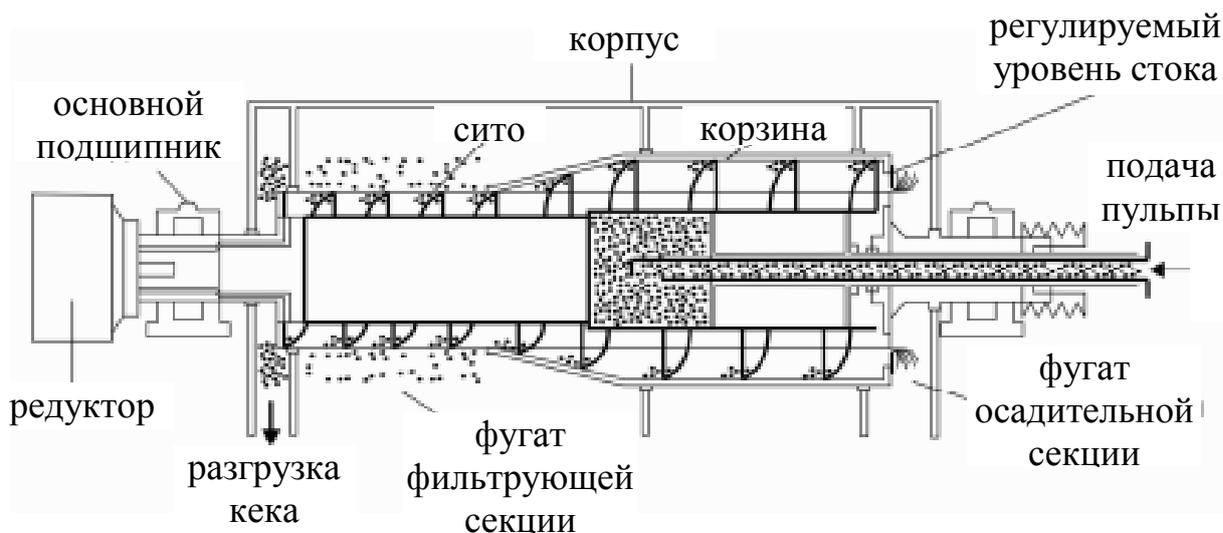


Рис. 8.6. Схема работы осадительно-фильтрующей центрифуги «Декантер»

Это осадительное действие является первой стадией обезвоживания в центрифуге. Вода, отжатая к оси вращения центрифуги, образует бассейн осветленной жидкости, которая содержит небольшое количество ультратонких твердых частиц. Она сливается переливом через регулируемые перегородки, расположенные в торце ротора центрифуги со стороны ввода питающей трубы, и выводится из центрифуги через патрубков для фугата.

Осадок, осажденный на стенку сплошного цилиндрического ротора, транспортируется спиральным шнеком, который вращается с немного меньшей скоростью, чем ротор. Шнек перемещает осажденное твердое из цилиндрической секции на пляж (зона отжима осадка), который формируется на уменьшающейся в диаметре конусной части сплошного ротора, где осадок выходит выше зеркала жидкости бассейна и далее транспортируется в цилиндрическую ситовую секцию. Здесь влага дополнительно удаляется из осадка за счет центробежной фильтрации. Действие центробежной фильтрации является второй стадией обезвоживания в осадительно-фильтрующей центрифуге. В большинстве случаев, материал, который дренировал через ситовую секцию (фугат фильтрующей секции) содержит ценный низкозольный уголь и, поэтому, его возвращают обратно в питание на дополнительное извлечение.

На углеобогатительных предприятиях России и Украины успешно работают более 40 единиц осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер». Они заслужила хорошую репутацию благодаря высокой надежности, низкой влажности продукта, позволяющего отказаться от термической сушки концентрата, и значительно меньшей себестоимости обезвоживания шламов, по сравнению с такой конкурирующей технологией, как вакуумная фильтрация [19].

Общий вид осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер» представлен на рис. 8.7.

8.4 Факторы управления процессом центробежного осаждения

Эффективность работы осадительных центрифуг зависит от ряда факторов, как конструктивных (механических), так и технологических.

Основные механические факторы.

К механическим факторам, определяющим эффективность работы осадительных центрифуг, можно отнести: фактор разделения, отношение длины ротора к его диаметру, площадь зоны осаждения.



Рис. 8.7. Общий вид осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер»

Фактор разделения (7.1) возрастает при увеличении диаметра ротора и скорости его вращения. При прочих равных условиях в модельном ряду центрифуг одного производителя больший F_r будет у меньшей центрифуги, т.к. существуют конструкционные ограничения, не позволяющие создавать большие центрифуги с большим фактором разделения.

Отношение длины ротора к его диаметру для осадительных центрифуг обычно составляет 2-4. Для двух аппаратов одинакового диаметра, более длинный будет иметь большую производительность по осадку и обеспечивать больший объем осадения, что хорошо для очистки от мелких частиц осадка.

Площадь зоны осадения – это количество квадратных метров площади барабана, затопленной осаждаемой суспензией. Чем больше площадь осадения, тем эффективнее разделение фаз в центрифуге.

Все эти факторы важны на стадии выбора типа центрифуги для обезвоживания конкретного продукта, но не могут оказывать воздействие на эффективность работы центрифуги в технологическом процессе.

К механическим факторам, которые могут быть изменены в процессе эксплуатации осадительных центрифуг, можно отнести скорость вращения ротора, глубина бассейна осаждения, передаточное число редуктора.

Увеличение *скорости вращения ротора* способствует снижению влажности осадка и уменьшению крупности частиц, удаляемых в фугат, тем самым повышая чистоту слива. Однако, при увеличении скорости вращения возрастают затраты на электроэнергию, что необходимо учитывать при выборе режима обезвоживания.

Изменение скорости вращения ротора в процессе работы возможно в центрифугах, оснащенных приводом с системой частотного регулирования. Это особенно важно, когда ожидается переменный расход пульпы или различная массовая концентрация твёрдой фазы в суспензии. Более простые системы регулируются заменой приводных ремней центрифуги, это требует времени и остановки центрифугирования, так что регулировка будет более грубой.

Глубина бассейна осаждения оказывает влияние на время пребывания суспензии в центрифуге, объём осаждения центрифуги. Увеличение глубины бассейна способствует более полному удалению твёрдой фазы в осадок. При уменьшении глубины бассейна осаждения сокращается время пребывания пульпы в роторе, увеличивается содержание и крупность твёрдого в фугате. В тоже время, при уменьшении глубины бассейна осаждения увеличивается длина пляжа (зоны отжима осадка), что способствует снижению влажности осадка.

Регулировка глубины бассейна может производиться как установкой переливных перегородок различных диаметров, так и за счёт использования регулирующего устройства с переменным диаметром. Последний вариант обеспечивает большую гибкость в обслуживании, т.к. не требуется разбирать центрифугу каждый раз, когда нужно изменить объём осаждения.

Передаточное число редуктора оказывает влияние на разницу в скорости вращения шнека и ротора центрифуги. Разница скоростей определяет скорость транспортирования твёрдого в центрифуге. Снижая скорость вращения шнека по сравнению с ротором можно добиться получения более плотного осадка и более чистого фугата. Но одновременно увеличивается крутящий момент

ротора шнека, что накладывает определенные ограничения на работу центрифуги.

Основные технологические факторы.

Технологическая эффективность работы центрифуги оценивается по влажности осадка, уносу твердого в фугат, степени измельчения твердого и степени осветления жидкости.

Гранулометрический состав питания – один из важнейших факторов. С увеличением содержания частиц крупностью менее 0,044 мм в питании повышается влажность осадка.

Производительность центрифуги по суспензии. С увеличением производительности повышается унос твердого в фугат, так как сокращается время пребывания суспензии в роторе центрифуги. Кроме того, из-за повышения скорости движения суспензии в роторе в фугат попадают относительно крупные зерна. Рост производительности приводит также к повышению влажности осадка.

Равномерность подаваемой нагрузки также оказывает существенное влияние на эффективность работы центрифуги. Для поддержания равномерной нагрузки по исходному питанию рекомендуется перед центрифугами устанавливать загрузочные устройства. Кроме поддержания стабильной нагрузки в процессе работы центрифуги загрузочное устройство выполняет следующие функции: защиты центрифуги от попадания твердых, в частности металлических частиц размером более 3 мм; защиты от перегрузки в процессе первоначального поступления исходной нагрузки на центрифугу; отвода пульпы в зумпф шламовых вод при аварийных отключениях центрифуги.

Применение поверхностно-активных веществ способствует снижению поверхностного натяжения и увеличивает гидрофобность угольных частиц. В результате снижается влажность осадка. Использование флокулянтов при обезвоживании угольных шламов и отходов флотации позволяет значительно увеличить степень осветления жидкой фазы.

Вопросы для самоконтроля.

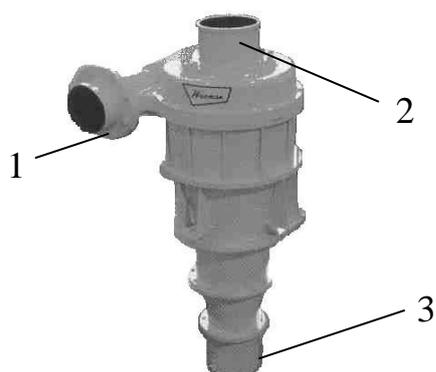
1. Опишите принципиальную схему осадительной центрифуги.
2. Из каких этапов состоит разделение твердой и жидкой фазы в роторе осадительных центрифуг?
3. Сформулируйте основное условие эффективной работы осадительной центрифуги.
4. Как определяется эффективность работы шнековой осадительной центрифуги?
5. Укажите различия в работе противоточных и прямоточных осадительных центрифуг.
6. Чем различаются принципиальные схемы центрифуг типа КГШ и типа ОГШ?
7. Перечислите основные механические факторы управления процессом центробежного осаждения.
8. Перечислите основные технологические факторы управления процессом центробежного осаждения.

Глава 9

ГИДРОЦИКЛОНЫ

9.1 Распределение потоков в гидроциклоне

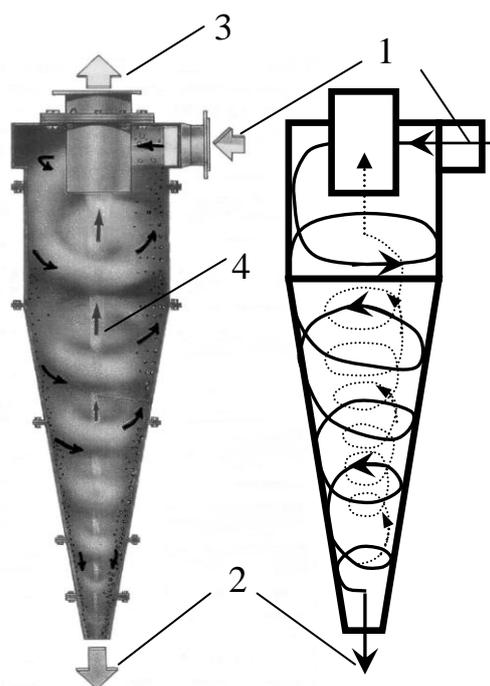
Гидроциклоны применяются для классификации или сгущения пульп, содержащих мелкие и тонкодисперсные частицы, в центробежном поле. Общий вид гидроциклона показан на рис. 9.1.



- 1 – питающий патрубок,
- 2 – сливной патрубок,
- 3 – песковая насадка

Рис. 9.1. Общий вид гидроциклона

Тангенциальный ввод питания под напором создает в гидроциклоне вращательное движение с высокой угловой (тангенциальной) скоростью (рис. 9.2).



- 1 – подача питания,
- 2 – выпуск крупных сгущенных частиц,
- 3 – сливные мелкие частицы,
- 4 – воздушный столб

Рис. 9.2. Распределение потоков в гидроциклоне

Дойдя до вершины конической части жидкость, находящаяся ближе к оси, изменяет свое направление, сохраняя вращательное движение. Этот поток поступает вверх к сливному патрубку. Режим движения турбулентный.

Вблизи оси аппарата тангенциальная скорость потока увеличивается настолько, что вдоль оси образуется столб воздуха.

Скорость вращения потока вблизи оси аппарата одинакова по всей высоте, поэтому воздушный столб имеет цилиндрическую форму. Радиус воздушного столба равен $\sim 0,6$ радиуса сливного патрубка. При изменении давления питания радиус воздушного столба изменяется на $\pm 3-5\%$. При низком давлении или большом гидравлическом сопротивлении на сливном патрубке воздушный столб может исчезать.

Результирующая скорость внутрициклонного потока жидкости определяется тремя составляющими:

- 1) тангенциальной (окружной) V , направленной в горизонтальной плоскости перпендикулярно радиусу гидроциклона;
- 2) радиальной U , направленной в горизонтальной плоскости вдоль радиуса;
- 3) вертикальной W , идущей параллельно оси гидроциклона (рис. 9.3).

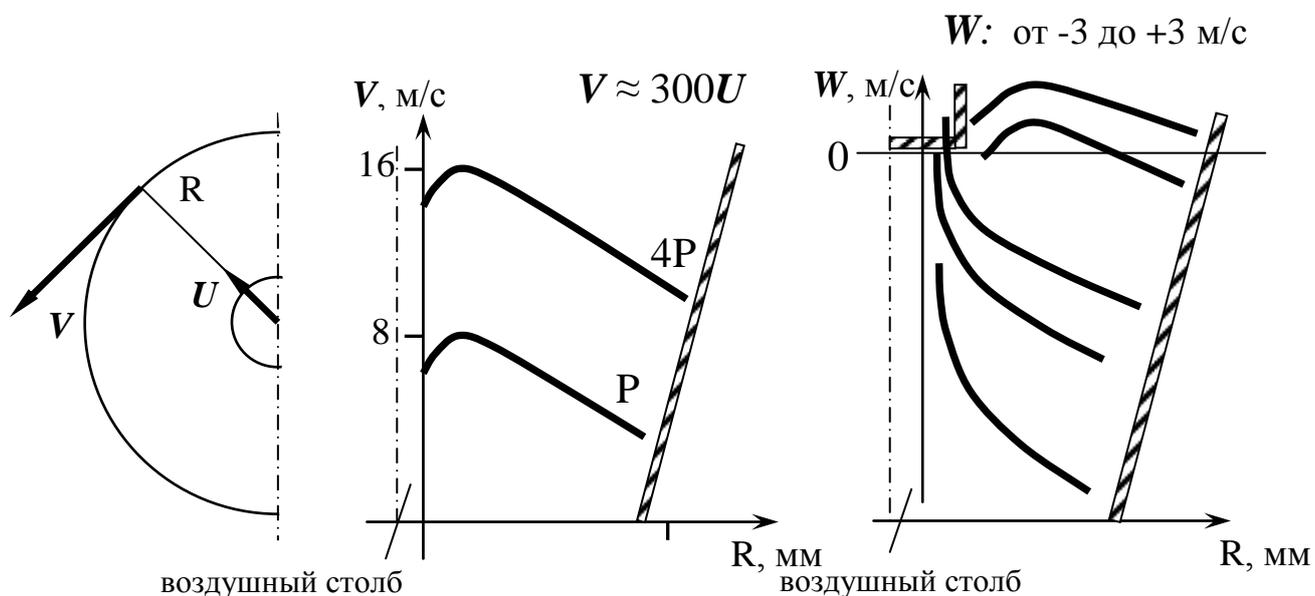


Рис. 9.3. Тангенциальная, радиальная и вертикальная составляющие скорости внутрициклонного потока

С уменьшением радиуса вращения суспензии тангенциальная скорость V увеличивается. Вблизи воздушного столба она достигает максимума и снижается. Резкое снижение скорости V наблюдается у стенки гидроциклона (рис. 9.3). С уменьшением радиуса радиальная скорость U снижается. Абсолютное значение радиальной составляющей скорости мало по сравнению со значением тангенциальной составляющей. Вертикальная составляющая скорости W у стенки гидроциклона направлена вниз, ближе к центру она меняет направление и поток устремляется вверх (рис. 9.2).

До 20-30% общего потока образует в верхней части гидроциклона циркулирующий контур (рис. 9.4, *a*).

В гидроциклоне центробежная сила увеличивается от периферии к оси. На частицу действуют в противоположном направлении две радиальные силы: центробежная и сила сопротивления жидкости, направленная к оси аппарата.

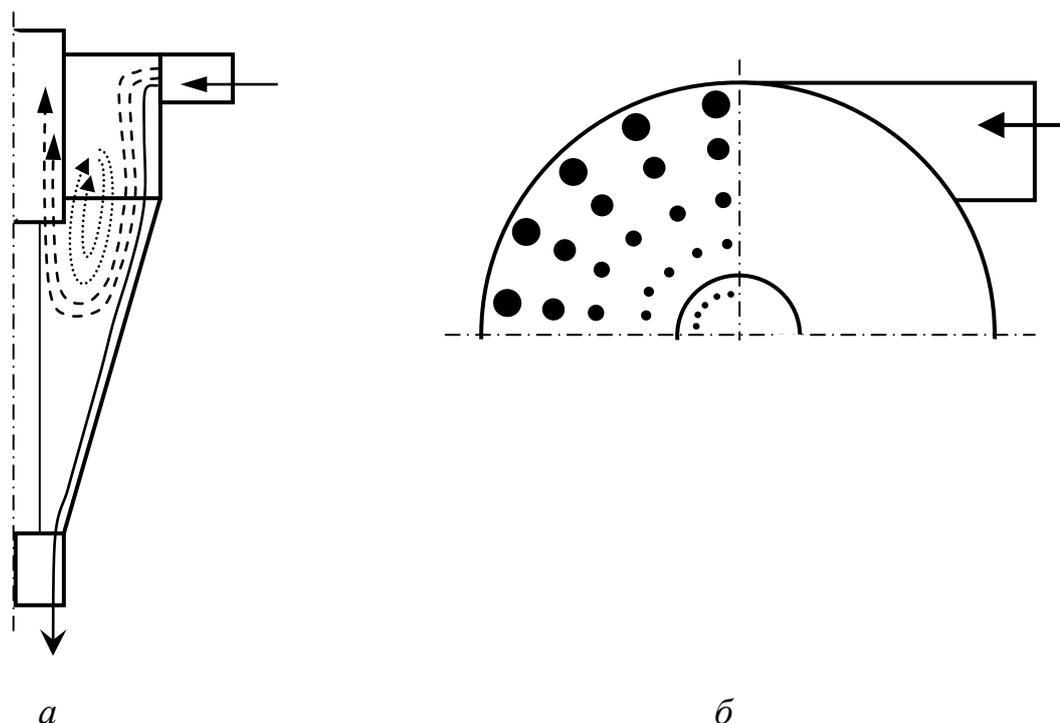


Рис. 9.4. Образование циркулирующего контура потоков (*a*) и распределение частиц в гидроциклоне (*б*)

Крупные и тяжелые частицы под действием центробежной силы преодолевают сопротивление среды и достигают стенки гидроциклона. Мелкие и легкие частицы движутся к оси до тех пор,

пока центробежная сила, высокая при малых радиусах гидроциклона, не уравновесит силу давления потока. Поэтому крупные частицы собираются у стенки аппарата, а мелкие – ближе к оси (рис. 9.4, б). Расстояние от оси до частицы соответствует ее крупности и плотности.

Разгрузка частиц происходит под действием сил, которые возле стенки направлены вниз, а в центре аппарата – вверх.

Фактор разделения в гидроциклоне:

$$F_r = V^2 / r g,$$

где V – тангенциальная скорость,

r – расстояние от частицы до центра аппарата.

9.2 Факторы, влияющие на работу гидроциклона

Основные факторы, влияющие на работу гидроциклонов, можно разделить на две группы: конструктивные и технологические.

К *конструктивным* относятся следующие:

- 1) диаметр цилиндрической части гидроциклона,
- 2) диаметры патрубков – питающего, сливного и пескового,
- 3) угол конусности гидроциклона,
- 4) угол наклона оси гидроциклона к горизонту,
- 5) способ удаления слива,
- 6) давление на входе (напор).

К *технологическим* факторам относятся:

- 1) объемная производительность аппарата,
- 2) содержание твердого в питании,
- 3) гранулометрический состав питания,
- 4) вещественный состав питания.

При прочих равных условиях, чем мельче обрабатываемые частицы, тем меньше должен быть диаметр цилиндрической части гидроциклона.

Соотношение диаметров патрубков аппарата влияет на гидродинамику потока внутри него и, соответственно, на показатели разделения. Существует понятие – *разгрузочное отношение*, которое определяется как отношение диаметра песковой насадки к диаметру сливного патрубка $D_{\text{песк}}/d_{\text{сл}}$. При увеличении разгрузочного отношения увеличивается выход песков с одновременным уменьшением их крупности и содержания твердого в них. Соответственно снижается крупность слива и его выход. Для обеспечения эффективной классификации подбирают оптимальное разгрузочное отношение.

Нижний край сливного патрубка должен быть погружен в гидроциклон немного ниже питающего патрубка. При увеличении глубины погружения сливного патрубка в гидроциклон растет крупности слива.

Диаметр питающего патрубка, в основном, оказывает прямо пропорциональное влияние только на производительность аппарата. Качественные показатели классификации изменяются незначительно.

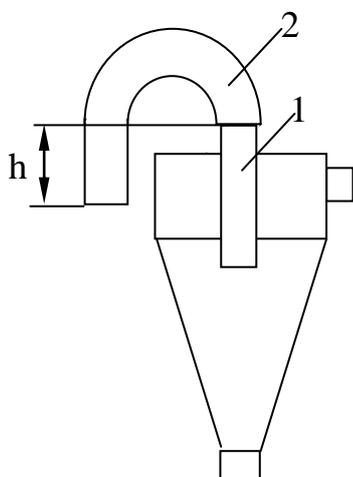
При увеличении угла конусности гидроциклона при прочих равных условиях снижается объемная производительность и выход песков с одновременным повышением крупности продуктов классификации. Гидроциклоны с большим углом конусности используются при обработке грубозернистых пульп, а с малым углом – для получения тонкого слива (10-20 мкм) в операциях обесшламивания. Обычно угол конусности в гидроциклонах, применяемых для классификации и сгущения, равен 10-20°.

На обогатительных предприятиях гидроциклоны могут устанавливаться вертикально, наклонно или горизонтально. При наклонной или горизонтальной установке гидроциклона песковые насадки могут иметь несколько больший диаметр для обеспечения таких же показателей разделения, как и при вертикальной установке аппарата. В этом случае пески содержат меньше тонких шламов и твердой фазы, а слив получается более крупным.

На показатели работы гидроциклона заметное влияние может оказывать сливная труба (рис. 9.5).

Чем больше перепад высоты h между ее концами, тем больше она действует как сифон. Большой перепад способствует засасыва-

нию в слив крупных частиц. Для обеспечения нормальной работы гидроциклона необходимо, чтобы диаметр сливной трубы был больше диаметра сливного патрубка.



1 – сливной патрубок,
2 – сливная труба

Рис. 9.5. Расположение сливной трубы

Давление на входе (напор) в гидроциклон при заданной объемной производительности и параметрах насосной установки в основном определяется диаметрами сливного и питающего отверстий. Обычно на обогатительных фабриках работают с напором в пределах 0,05-0,15 МПа (0,5-1,5 кг/см²). Для получения тонкого слива с высоким содержанием твердого необходимо поддерживать более высокие значения давления на входе.

Для получения тонкого слива и обесшламливания обычно используются гидроциклоны маленького диаметра небольшой производительности, которые объединяются в батарею (рис. 9.6).

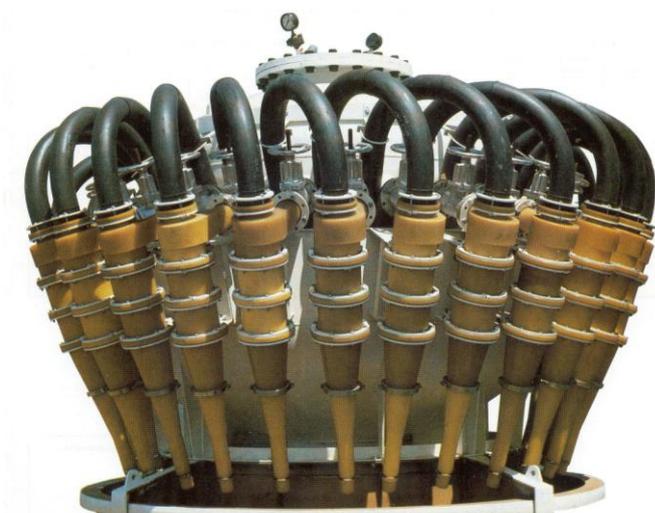


Рис. 9.6. Батарея из 28 гидроциклонов диаметром 200 мм суммарной производительностью 1700 м³/ч

Питание в гидроциклоны подается через питающие патрубки из центральной трубы. Обычно расположение гидроциклонов относительно питающей трубы радиальное. Это обеспечивает более равномерное распределение питания. Сливы всех гидроциклонов собираются в одном приемнике, а пески – в другом.

В практике углеобогащения используют низконапорные гидроциклоны диаметром от 350 до 1000 мм для сгущения, расположенные под небольшим углом к горизонту (рис. 9.7).



Рис. 9.7. Низконапорные гидроциклоны большого диаметра и производительности

Ввод исходного питания по спирали более эффективен, чем тангенциальный, т.к. снижает турбулентность и абразивное действие струи в зоне питания.

Основным параметром, характеризующим классификацию твердого, является **граничная крупность разделения**. Под граничной крупностью здесь подразумевается крупность такого бесконечно узкого класса зерен, который поровну распределяется между сливом и сгущенным. Т.е. эти частицы находятся в равновесии под действием основных сил – центробежной и сопротивления жидкости.

Вода, уходящая со сгущенным продуктом (в промежутках между частицами), несет с собой и частицы мельче $d_{гран}$. Они распределяются между сливом и песками количественно так же, как и вода.

Разделение по крупному граничному зерну (0,1-0,8 мм) производится в аппаратах большого диаметра при повышенной концентрации твердого (>20%) в питании и низком давлении 20-50

кПа. При разделении по более мелкому зерну применяются гидроциклоны малого диаметра с удлиненной цилиндрической частью и малым углом конусности. Давление питания – высокое, концентрация твердого в питании – низкая.

Классификационные и сгустительные гидроциклоны отличаются режимом работы. Классификационные гидроциклоны работают в режиме, при котором по оси аппарата существует сквозной столб воздуха, сгущенный продукт выгружается в виде расходящейся веером струи. При хорошей классификации не получается эффективного сгущения. При сгущении в гидроциклоне плотность сгущенного продукта тем больше, чем меньше диаметр песковой насадки и выше напор.

9.3 Выбор типоразмера гидроциклона

Техническая характеристика гидроциклонов, применяемых на отечественных обогатительных фабриках, приведена в таблице 9.1 [20].

Таблица 9.1. Технические характеристики гидроциклонов

Типоразмер гидроциклона	Параметры					
	Диаметр, мм	Угол конусности, град.	Диаметр питающего патрубка, мм	Диаметр сливного патрубка, мм	Диаметр песковой насадки, мм	Средняя нагрузка по питанию, м ³ /ч
1	2	3	4	5	6	7
ГЦ-75	75	10	17	22	8; 12; 17	5
ГЦ-150	150	10 и 20	38	50	12; 24; 27; 34	20
ГЦ-250	250	20	65	80	34; 48; 75	50
ГЦ-360	360	20	90	115	34; 48; 75; 96	95

Окончание таблицы 9.1

1	2	3	4	5	6	7
ГЦ-500	500	20	130	150	48; 75; 96; 150	180
ГЦ-710	710	20	150	200	48; 75; 150; 200	260
ГЦ-1000	1000	20	210	250	75; 150; 200; 250	470
ГЦ-1400	1400	20	300	380	150; 200; 250; 300; 360	900
ГЦ-2000	2000	20	400	500	250; 300; 360; 500	1600

Выбор типоразмера гидроциклона осуществляется по граничной крупности разделения $d_{гран}$. Ориентировочный выбор диаметра гидроциклона производится по требуемому гранулометрическому составу слива, например, содержанию в нем класса минус 100 или 74 мкм [21].

Для этого сначала определяется коэффициент, зависящий от значения содержания этого класса, переходящего в слив. Данные по расчету этого коэффициента приведены в таб. 9.2.

Таблица 9.2. Значения коэффициента распределения от содержания класса в сливе

Содержание требуемого класса в сливе, %	99	95	90	80	70	60	50
Коэффициент	0,49	0,65	0,79	1,06	1,36	1,77	2,34

Так, например, если в питании флотации должно содержаться 95% класса минус 74 мм, то граничной крупности разделения будет равна

$$d_{\text{гран}} = 74 \cdot 0,65 = 48,1 \text{ мкм.}$$

По диаграмме, представленной на рис. 9.8, диаметр гидроциклона, обеспечивающего требуемую крупность разделения, будет равен 250 мм.

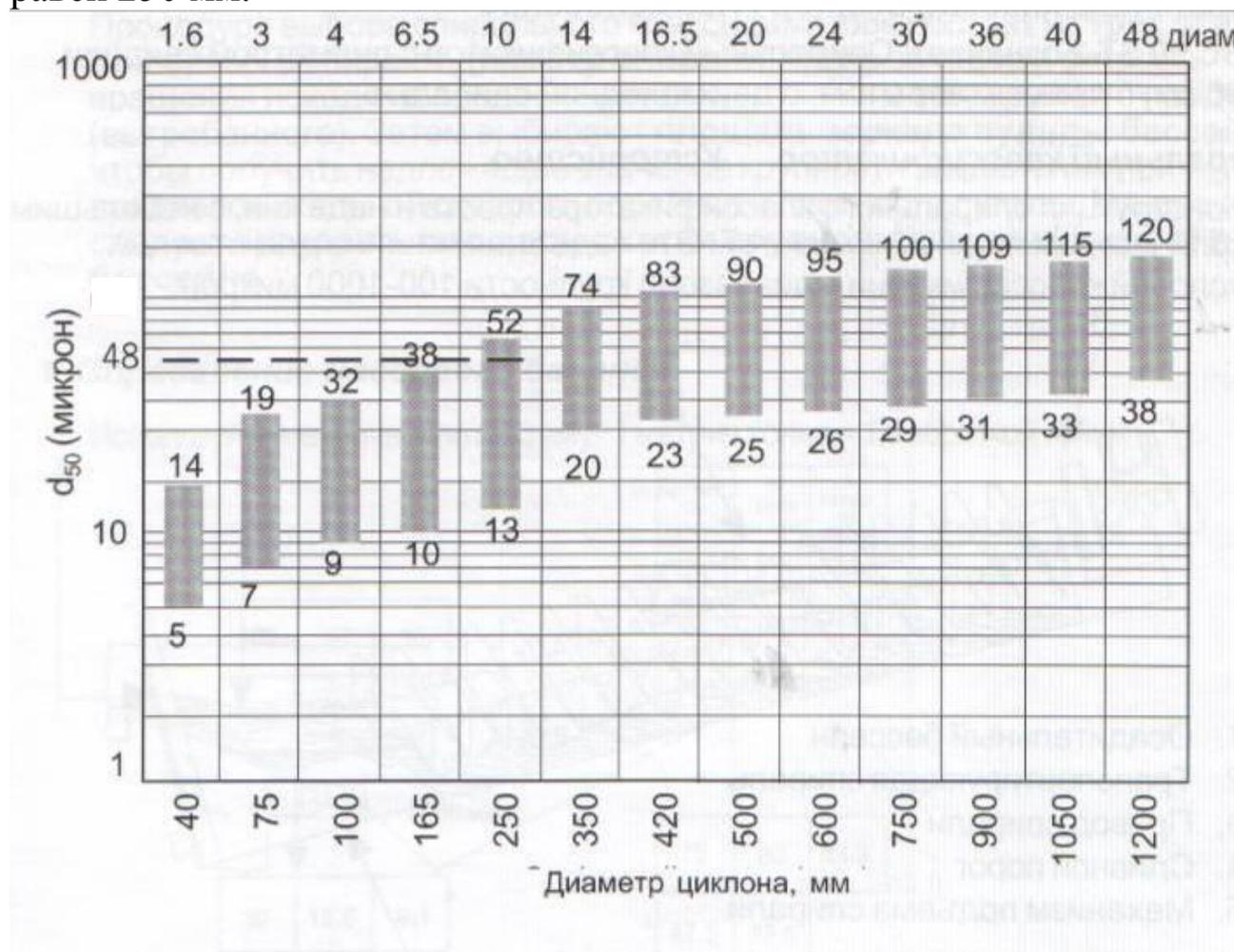


Рис 9.8. Диаграмма для определения диаметра гидроциклона

Вопросы для самоконтроля.

1. Чем определяется результирующая скорость внутрициклонного потока жидкости?
2. Перечислите факторы, влияющие на работу гидроциклона.
3. Что такое «разгрузочное отношение»?

4. Какое влияние на работу гидроциклона может оказывать сливная труба?
5. Охарактеризуйте понятие «граничная крупность разделения».
6. Как проводится выбор типоразмера гидроциклона?

Глава 10

ГРАВИТАЦИОННОЕ ОСАЖДЕНИЕ (СГУЩЕНИЕ)

10.1 Сущность процесса гравитационного осаждения

Сгушение – процесс осаждения твердой фазы и выделения жидкой фазы из пульпы, происходящий в результате оседания в ней твердых частиц под действием силы тяжести или центробежных сил. При этом получается уплотненный (сгущенный) конечный продукт. Сгущение сопровождается процессом осветления, т.е. получением свободной от твердой фазы жидкости – слива [22, 23].

Осаждение применяется для разбавленных мелкозернистых взвесей. Концентрация твердого в них такая, что движение каждой отдельной частицы зависит от движения других частиц.

Когда в твердой фазе нет очень мелких и коллоидальных частиц, взаимодействие носит механический характер и выражается в столкновениях и местных завихрениях жидкости вокруг отдельных частиц. В противном случае, кроме механического взаимодействия, проявляются результаты электрохимического взаимодействия.

При сгущении частицы образуют флоккулы, которые движутся в стесненных условиях. Скорость их движения определяется из выражения

$$v_{стесн} = \Theta^3 v_{oc},$$

где Θ – коэффициент пористости, v_{oc} – скорость осаждения частиц в свободных условиях по Стоксу, которая определяется по соотношению

$$v_{oc} = 0.545 f^2 d_p^2 (\delta_{mv} - \Delta) / \mu.$$

Скорость при коллективном осаждении частиц определяется как

$$v_c = 2 \Theta^2 (\delta_{mv} - \Delta) / S_{y0} \mu.$$

Скорость осаждения зависит от размера и формы частиц, концентрации твердого, вязкости жидкости и т.д.

При определении средней скорости осаждения твердых частиц задаются начальной и конечной степенями сгущения пульпы или разжиженностью – отношением $T:Ж = R$.

Определение средней скорости осаждения выполняется из следующих условий.

Пусть заданы $R_{нач.}$; $R_{кон.}$; Q , т/ч; V_1 – первоначальный объем пульпы и соответствующая ему высота H_1 ; V_2 – конечный объем и соответствующая ему высота H_2 (рис. 16.1).

Средняя скорость осаждения определяется как

$$v_{cp} = (H_1 - H_2) / t .$$

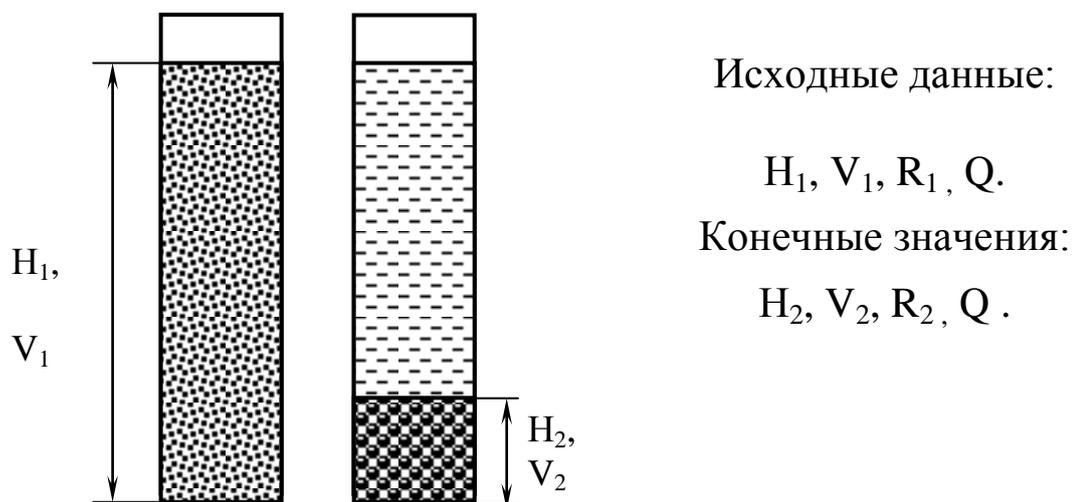


Рис. 10.1. Схема к определению средней скорости осаждения

$$V_1 = QR_1; \quad V_2 = QR_2; \quad Q = V_1/R_1 = V_2/R_2 .$$

Тогда: $V_1/R_1 = V_2/R_2$.

При постоянном сечении выполняется соотношение

$$V_1/V_2 = H_1/H_2 ,$$

или $H_1/R_1 = H_2/R_2$.

Отсюда: $H_2 = H_1 \cdot R_2 / R_1$.

Тогда

$$v_{cp} = (H_1 - H_2) / t = (H_1 - H_1 \cdot R_2 / R_1) / t = H_1 (1 - R_2 / R_1) / t.$$

Если поместить суспензию в цилиндр и наблюдать за ней некоторое время, то будут происходить следующие процессы (рис. 10.2).

Вначале твердая фаза распределена в суспензии равномерно – момент времени (а).

Через некоторое время в верхней части цилиндра появляется граница замутнения – граница между осветленной водой и взвесью. Одновременно с этим можно заметить самопроизвольное образование хлопьев. При этом прекращается индивидуальное движение частиц, и вся взвесь начинает оседать коллективно. В момент времени (б) в цилиндре появятся 4 области (зоны): I – область осветленной воды; II – область коллективного осаждения; III – переходная область; IV – область компрессии.

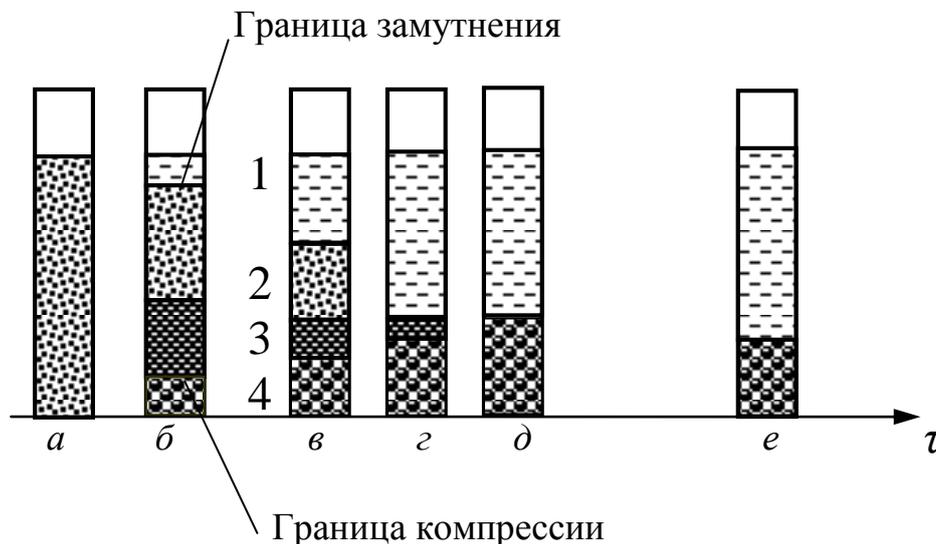


Рис. 10.2. Процессы, происходящие при осаждении

В области компрессии частицы находятся в контакте друг с другом. Здесь происходит дальнейшее очень медленное осаждение и уплотнение осадка под давлением вновь оседающих частиц. Гра-

ница между III и IV областями визуально плохо заметна. Но ее существование подтверждается измерениями плотности пульпы.

По мере осаждения граница замутнения опускается, а граница компрессии поднимается из-за увеличения толщины осадка.

В момент времени (ϵ): высота области коллективного осаждения уменьшается.

В момент времени (ζ): область коллективного осаждения исчезает. Область компрессии постоянно увеличивается, а переходная область уменьшается и исчезает с течением времени.

В момент времени (δ): граница замутнения совпадает с границей компрессии. Если осадок оставить стоять длительное время, то он уплотняется (момент e).

График осаждения имеет вид, показанный на рис. 10.3.

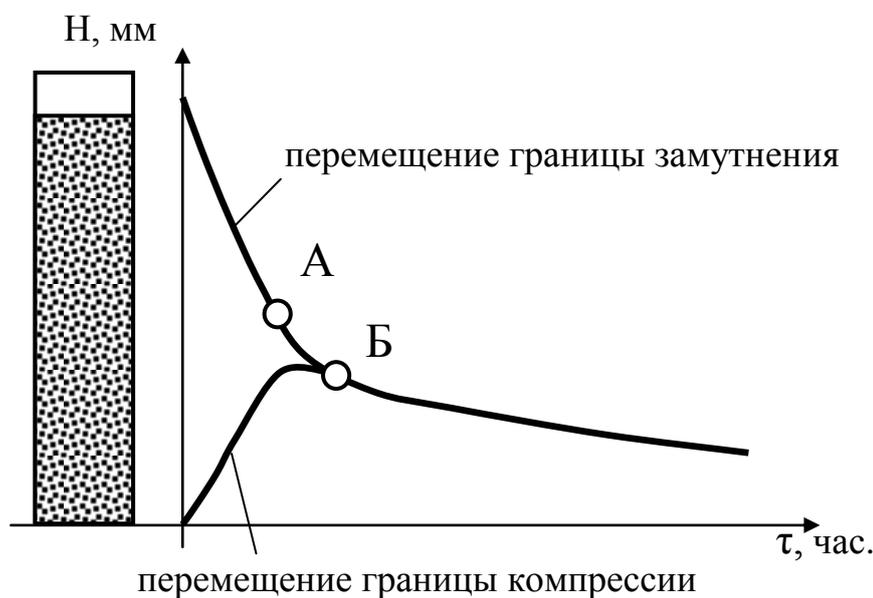


Рис. 10.3. График осаждения суспензии твердых частиц

До точки A скорость перемещения границы замутнения примерно постоянна, затем она снижается (участок AB). Точка A является критической. В точке B исчезает переходная зона, и границы замутнения и компрессии совпадают.

Время от начала опыта до появления границы замутнения зависит от скорости образования хлопьев, которые оседают быстрее, чем отдельные частицы. При наступлении явления коллективного осаждения гранулометрический состав твердой фазы уже не имеет значения. Определяющим здесь является процесс флокуляции, а

также механическое объединение отдельных хлопьев и крупных несфлуктуируемых частиц.

Постоянное перемещение частиц вниз и увеличение их концентрации в нижней части вызывает одновременное перемещение жидкости снизу вверх. Поэтому твердую фазу представляют как пористую систему, которая опускается вниз при одновременном фильтровании через нее жидкости вверх. Данная система характеризуется большой пористостью в области коллективного осаждения, быстро уплотняется в переходной области и становится очень плотной в области компрессии. Следовательно, чем больше удалены области от зеркала жидкости, тем больше сопротивление перемещению жидкости. Это препятствует фильтрованию жидкости вверх и опусканию системы твердых частиц вниз.

Когда в области компрессии сопротивление движению жидкости сравнивается с относительным весом материала на этом участке, то в случайных точках пониженной прочности целостность осадка нарушается разрывами. Через них жидкость уходит вверх. Разрывы исчезают в переходной области (результаты наблюдений).

Процесс осаждения зависит от разжиженности исходной суспензии. Графики осаждения в зависимости от разжиженности показаны на рис. 10.4.

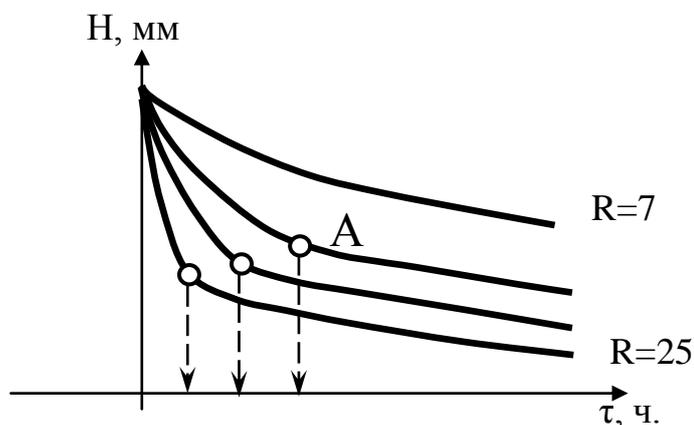


Рис. 10.4. Скорость осаждения и разжиженность пульпы

Точка перегиба — критическая точка A — при малых значениях разжиженности исчезает и наступает критическое осаждение, т.е. сгущение, соответствующее переходной области III. Процесс осаждения сильно замедляется. Между значениями $R = 25$ и $R = 7$ находится критическое значение $R_{кр}$.

10.2 Сущность процессов коагуляции и флокуляции

Для ускорения процесса осаждения частиц в гравитационном поле необходимо ускорить наступление процесса хлопьеобразования, т. к. крупные хлопья (флокулы) оседают быстрее, чем отдельные частицы. Для этого используют коагуляцию или флокуляцию частиц [24-26].

Коагуляция – нарушение агрегативной устойчивости коллоидной системы в сторону укрупнения частиц за счет их слипания под действием молекулярных сил притяжения. Происходит из-за нейтрализации электрических зарядов на поверхности частиц и снижения сил отталкивания. Наиболее эффективными коагулянтами являются соединения, содержащие многовалентные ионы – FeCl_3 , CaCl_2 , H_2SO_4 .

Флокуляция – процесс, происходящий в результате искусственной гидрофобизации поверхности частиц гетерополярными собирателями, которые адсорбируются на поверхности частиц, уменьшают силы взаимодействия частиц с водой и увеличивают силы притяжения между частицами. Для руд применяются – ксантогенаты, амины, олеаты.

Для углей используется флокуляция полимерами (мостиковая флокуляция). Молекулы полимеров имеют цепочечное строение. Атомы углерода соединены ковалентными связями под углом 109° и образуют зигзагообразные цепи. Цепи имеют ответвления – функциональные (или боковые) группы. Ими макромолекула закрепляется на флокулирующих частицах, объединяя их во флокулу (рис. 10.5).

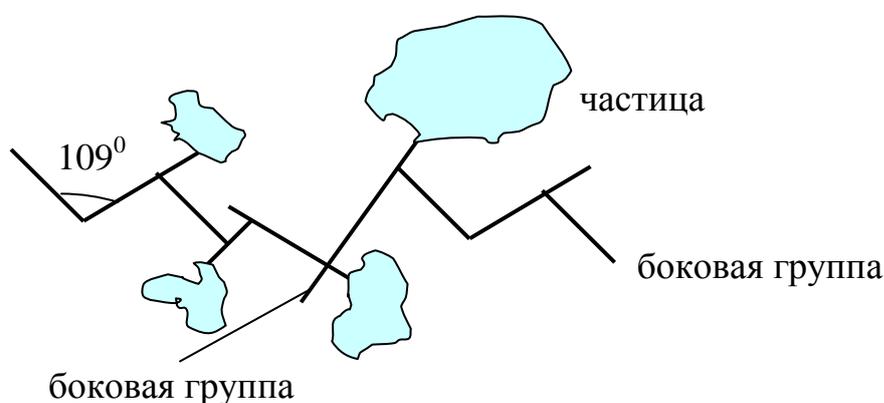


Рис. 10.5. Принцип мостиковой флокуляции

На фотографии ниже (рис. 10.6) показано образование флокулы из частиц угля (черный цвет). Фотография получена под микроскопом при увеличении в 20 000 раз, для наглядности молекулы флокулянта выделены серым цветом.



Рис. 10.6. Микрофотография цепочек флокулянта при флокуляции угля

В зависимости от свойств функциональных групп и степени их диссоциации в воде полимерные флокулянты (ПФ) делятся на ионогенные и неионогенные. Ионогенные ПФ подразделяются на анионактивные, катионактивные и амфотерные.

Если функциональные группы макромолекулы ПФ взаимодействуют с водой (диссоциируют), то углеводородная цепь выпрямляется и приобретает волоконную (фибрилярную) форму. При отсутствии электростатического отталкивания между недиссоциированными функциональными группами действуют силы притяжения Ван-дер-Ваальса. Тогда молекула приобретает форму клубка (глобулярную форму).

Растворы ПФ при хранении стареют, что подтверждается снижением их вязкости. Это связано с деструкцией молекул под влиянием кислорода, содержащегося в растворе.

Процесс сближения и агрегирования частиц определяется рядом характеристик системы: величиной ζ -потенциала, размерами частиц, температурой, гидромеханическими условиями. Если отталкивающие силы малы и нет энергетического барьера, который

частицы должны преодолевать при сближении, то происходит самопроизвольная коагуляция.

Эффективность флокуляции определяют три основных фактора:

- 1) природа и свойства флокулянта;
- 2) свойства суспензии, подвергаемой флокуляции;
- 3) условия контакта флокулянта с суспензией.

10.2.1 Свойства флокулянта

Свойства флокулянта (рис. 10.7) влияют следующим образом.

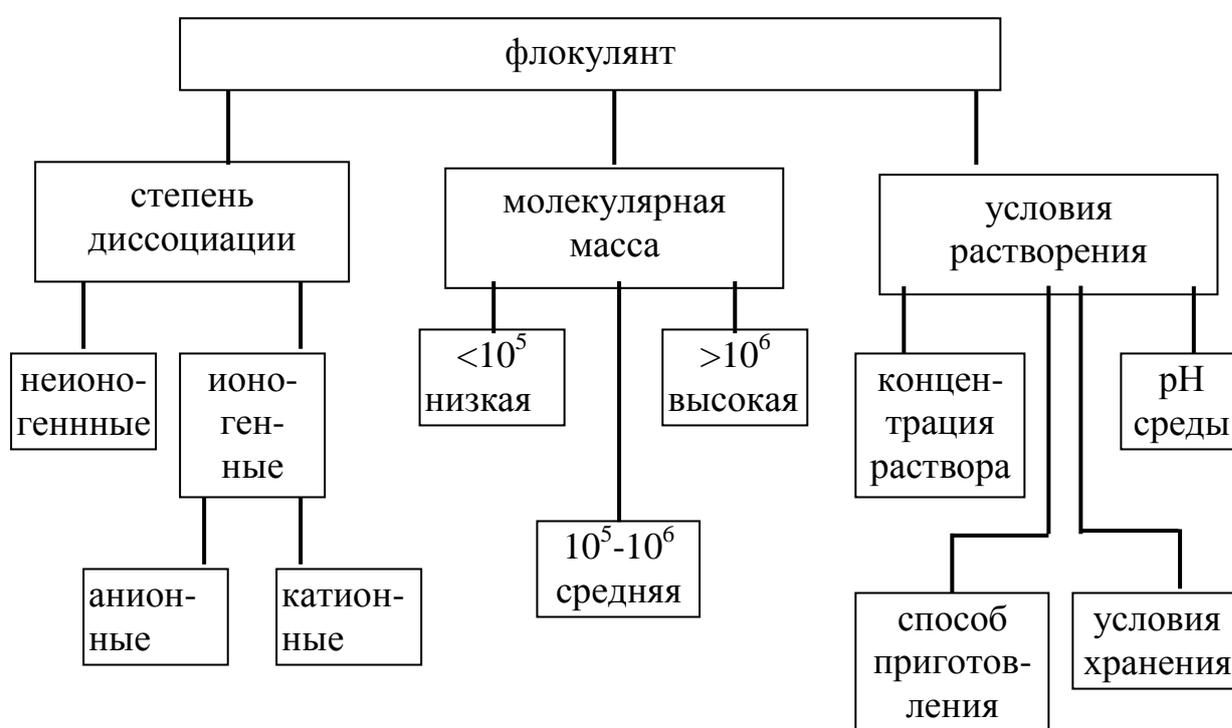


Рис. 10.7. Свойства флокулянта, определяющие процесс флокуляции

По мере увеличения молекулярной массы флокулянта (увеличения степени полимеризации) увеличивается максимальная скорость осаждения суспензий при снижении концентрации раствора флокулянта.

Растворение флокулянтов производится в 2 стадии:

- 1) гель или порошок (гранулы) растворяют до 1% концентрации;
- 2) перед применением 1% раствор разбавляют до 0,05-0,1% концентрации.

Вязкость растворов (технологические свойства флокулянтов) зависит от условий растворения. Частота вращения мешалки должна быть не более 100 об/мин. При приготовлении растворов ПФ нельзя применять центробежные насосы, рационально применение пропеллерных мешалок ($n < 500$ об/мин) и пневматических устройств.

Условия хранения. Гранулы ПФ можно хранить до 2,5 месяцев при температуре $-15+20^0$ в упаковке в сухом помещении. Гелеобразные ПФ можно транспортировать и хранить при положительной температуре без доступа солнечного света. Растворы хранят до 8-13 дней, иначе скорость осветления снижается в 2 раза.

Влияние pH среды. На ОФ техническая вода близка к нейтральной среде, что не ухудшает свойства флокулянта. Для гидролиза ПФ добавляют щелочь.

10.2.2 Свойства суспензии

Свойства суспензии, имеющие значение для флокуляции, показаны в виде схемы на рис. 10.8.

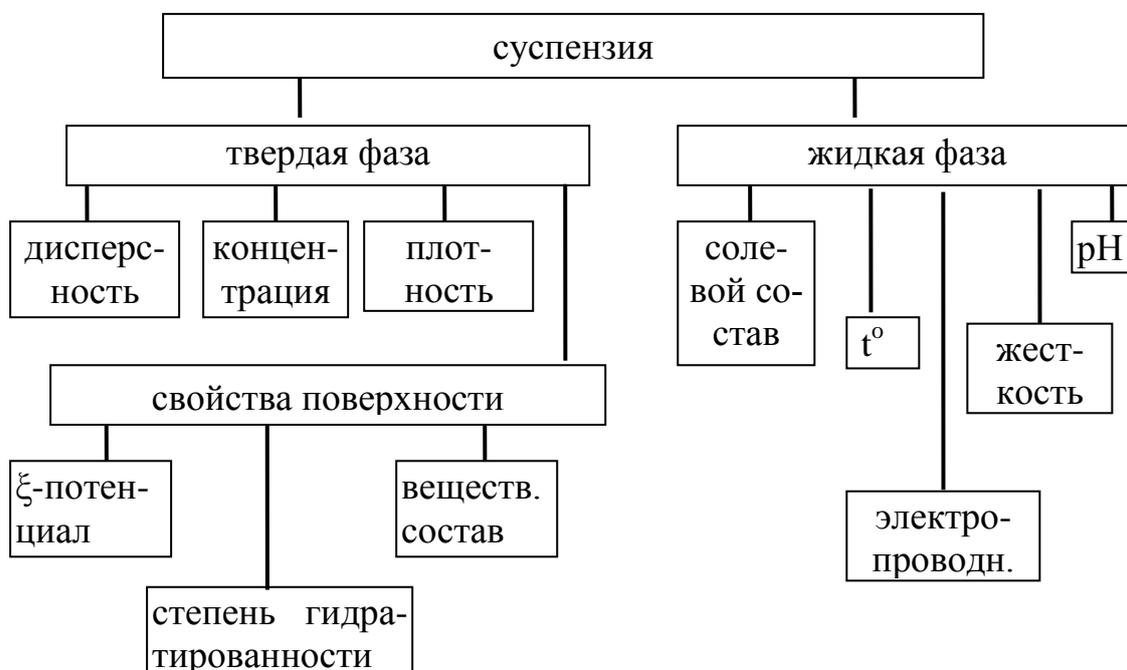


Рис. 10.8. Свойства суспензии, имеющие значение при флокуляции

Дисперсность твердой фазы необходимо учитывать при выборе молекулярной массы ПФ. Если размеры частиц и макромолекул сильно отличаются, флоккулы не образуются, хотя и происходит адсорбция молекул ПФ. Для тонких частиц нужны ПФ с низкой ($<10^5$) или средней (10^5-10^6) молекулярной массой. При увеличении дисперсности частиц увеличивается расход ПФ.

Концентрация твердой фазы – от 20-50 до 250-350 кг/м³. При использовании аппаратов, в которых осветление основано на действии силы тяжести (отстойники, сгустители), концентрация твердого в питании должна быть не более 100 кг/м³. Иначе действие ПФ неэффективно. В аппаратах с использованием центробежной силы (центрифуги) содержание твердого может достигать 400 кг/м³.

Свойства поверхности твердой фазы – один из определяющих факторов.

Электрокинетический потенциал или дзета-потенциал (ζ -потенциал) возникает в двойном электрическом слое, который образуется вокруг минеральных частиц при их взаимодействии с водой. Схема строения двойного электрического слоя (ДЭС) показана на рис. 10.9.

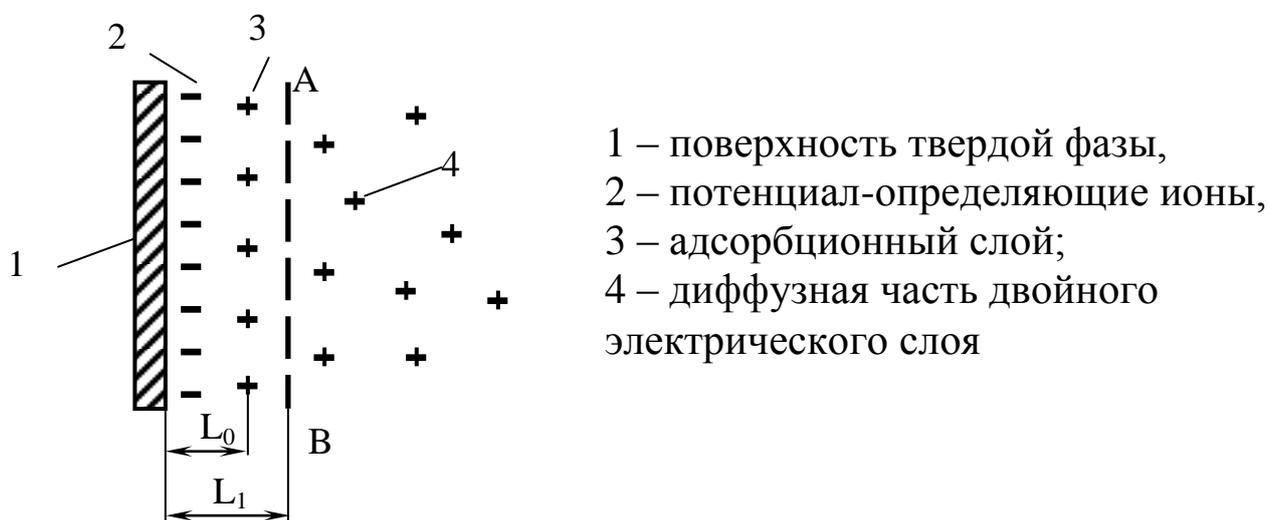


Рис. 10.9. Схема строения двойного электрического слоя

Потенциал-определяющие ионы 2 прочно связаны с твердой поверхностью и определяют ее заряд. Адсорбционный слой ионов 3 плотно примыкает к слою потенциал-определяющих ионов, бла-

годаря силам адсорбции и электростатическим. Число ионов здесь может быть больше или меньше, чем в слое 2. Диффузная часть ДЭС (за линией АВ) является подвижной.

Слои 2+3 – (от твердой поверхности до линии АВ) – внутренняя часть двойного электрического слоя – малоподвижная, плотная, не является электронейтральной. Находится на расстоянии L_1 от поверхности твердой фазы.

Движение жидкости при перемещении частицы происходит не по твердой поверхности, а за пределами неподвижного адсорбционного слоя 3 (по условной линии АВ).

Между твердой и жидкой фазами возникает общая разность потенциалов (скачок потенциала, рис. 10.10):

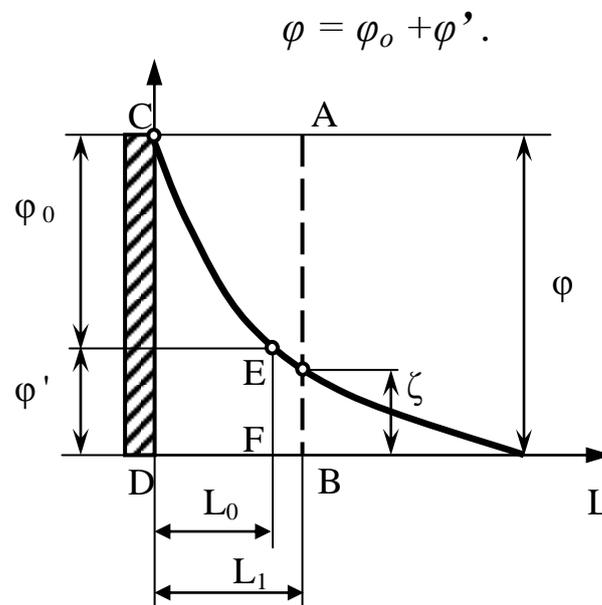


Рис. 10.10. Общий скачок потенциала в двойном электрическом слое и дзета-потенциал

Графически скачок потенциала (разность потенциалов) во внутренней части двойного электрического слоя (между твердой поверхностью и адсорбционным слоем ионов) определится как

$$\varphi_o = CD - FE .$$

Скачок потенциала в диффузионной части ДЭС:

$$\varphi' = FE \text{ и ноль.} \quad \varphi' \approx \zeta .$$

Дзета-потенциал – разность потенциалов между подвижной и неподвижной частью двойного электрического слоя – возникает при перемещении частицы в воде, поэтому и носит название электрокинетического. Условно эти части ДЭС разделяет линия АВ.

В разбавленных растворах ζ -потенциал близок к значению ϕ' , т.к. граница скольжения жидкости совпадает в этом случае с линией АВ. В концентрированных растворах и в случаях, когда потенциал резко изменяется с расстоянием, граница скольжения жидкости не совпадает с линией АВ и $\phi' \neq \zeta$.

Дзета-потенциал минерализованных шламов чаще отрицателен и составляет 20-30 милливольт. В связи с окисленностью угольная поверхность имеет отрицательный заряд.

Вещественный состав. Отходы флотации и илы содержат 80-90% глинистого материала, каменноугольные шламы – витрен, фюзен, кларен и дюрен.

Гидратированность поверхности. Гидратная оболочка глинистых частиц по Б. Дерягину достигает 10^{-4} мм [27]. Гидратированы и угольные шламы, т.к. в реальных условиях их поверхность всегда окислена. Толщина гидратных слоев соизмерима с длиной макромолекул ПФ при их фибриллярной конфигурации. Гидратированность поверхности отрицательно влияет на закрепление макромолекул ПФ.

Свойства жидкой фазы, имеющие значение для флокуляции, следующие:

1). *Солевой состав.* Неорганические соли повышает эффективность мостиковой флокуляции при их содержании не более 0,5%. Отрицательно влияет содержание ионов железа Fe^{+2} .

2). *Температура.* В тех интервалах, которые есть в производстве, влияет мало.

3). *Жесткость воды.* Соли кальция Ca^{+2} и магния Mn^{+2} способствуют адсорбции полимеров.

10.2.3 Условия контакта флокулянта с суспензией

Условия контакта флокулянта с суспензией зависят от технологической операции, для интенсификации которой флокулянт используется; свойств шламов; типа полимера и т.п. Точка подачи

ПФ выбирается в зависимости от концентрации твердого в суспензии. При концентрации твердого более 50 кг/м^3 и высоком содержании классов менее 60 мкм , флокулянт вводят на небольшом удалении от аппарата – $3-5 \text{ м}$. В более разбавленные и крупнодисперсные суспензии – за $8-10 \text{ м}$ от осветлителя.

Способ подачи уточняется экспериментально. Наиболее эффективна пульверизация или дробная (несколькими струями) дозировка.

Способ смешивания рабочего раствора ПФ с суспензией должен обеспечить равномерное распределение молекул флокулянта в объеме суспензии в момент поступления. Флокулянт вводится в зону умеренной турбулизации потока. После этого должно быть обеспечено спокойное (ламинарное) течение флокул от места смешивания к аппарату.

Вопросы для самоконтроля.

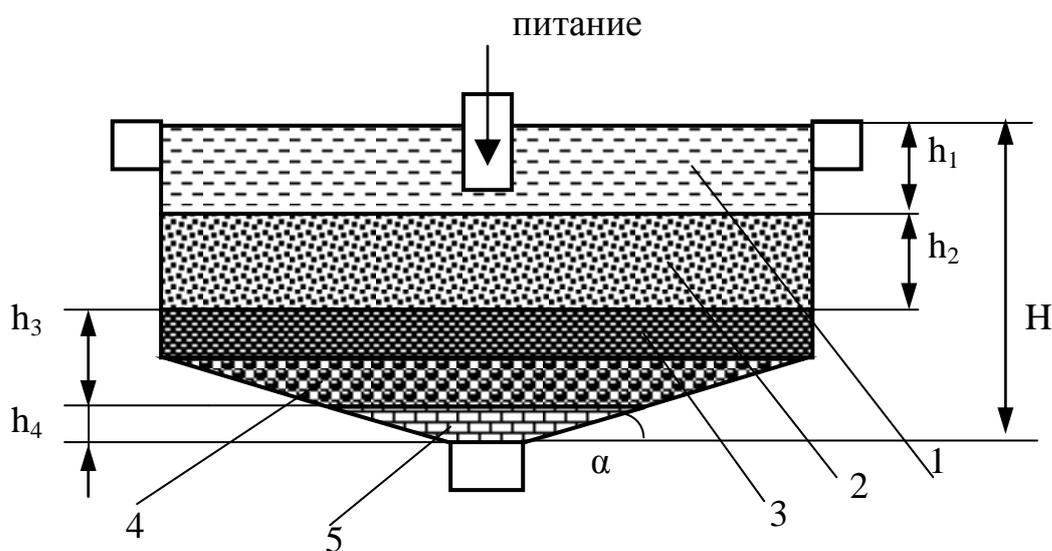
1. Что такое «сгущение»?
2. Как вычисляется разжиженность пульпы?
3. Как определяется средняя скорость осаждения частиц?
4. Перечислите области (зоны), появляющиеся при осаждении частиц.
5. Что такое «коагуляция»?
6. Что такое «флокуляция»?
7. Перечислите основные факторы, определяющие эффективность флокуляции.
8. Опишите природу возникновения электрокинетического потенциала вокруг минеральных частиц при их взаимодействии с водой.
9. Какие условия контакта флокулянта с суспензией необходимо соблюдать при проведении технологических процессов?

Глава 11

КОНСТРУКЦИИ СГУСТИТЕЛЕЙ

11.1 Удельная площадь сгущения

Непрерывный процесс осаждения в сгустителях протекает в несколько стадий аналогично периодическому процессу в цилиндрах. В сгустителях образуются зоны, показанные на рис. 11.1.



1 – зона осветленной жидкости, 2 – зона пульпы первоначальной плотности, 3 – промежуточная (переходная) зона, 4 – зона сжатия, 5 – зона плотного осадка

Рис. 11.1. Схема образования зон в сгустителях

Зона осветленной жидкости имеет высоту 0,3-0,9 м, в зоне сжатия образуются каналы, по которым жидкость уходит вверх. Плотный осадок в виде сгущенного продукта разгружается из нижней части сгустителя, а осветленная жидкость перетекает через борт сгустителя в кольцевой желоб.

Удельная площадь сгущения определяется по формуле:

$$f = (R_{ucx} - R_{c2}) / V_{oc} ,$$

где V_{oc} – скорость осаждения, определяется экспериментально; R – разжиженность.

Глубина сгустителя определяется как сумма:

$$H = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 .$$

Значения высот: $h_1 = 0,3-0,9$ м, $h_2 = 0,3-0,6$ м.

Высота переходной зоны и зоны компрессии может быть определена из соотношения

$$h_3 = \tau (1 / \delta + R) / 24 f ,$$

где τ – время пребывания твердой фазы в зоне сжатия, час, δ – плотность твердого, R – средняя разжиженность в зоне сжатия.

Высота зоны уплотненного осадка определяется как:

$$h_4 = 0,5 D \operatorname{tg} \alpha ,$$

где $\alpha = 12^0$ – угол конусности днища сгустителя.

11.2 Радиальные сгустители

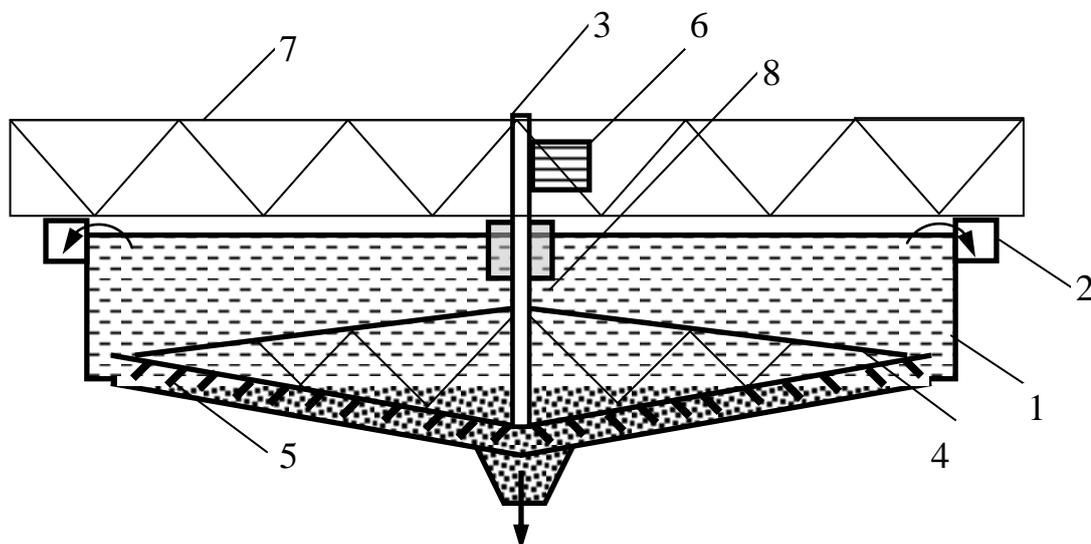
Цель разработок различных конструкций сгустителей – ускорение осаждения твердого и осветления воды, сокращение площадей, занимаемых сгустителями. Наибольшее распространение получили цилиндрические и цилиндроконические сгустители.

Для сгущения подрешетных вод гравитационного отделения и отходов флотации применяются радиальные сгустители. Общий вид радиального сгустителя показан на рис. 11.2.



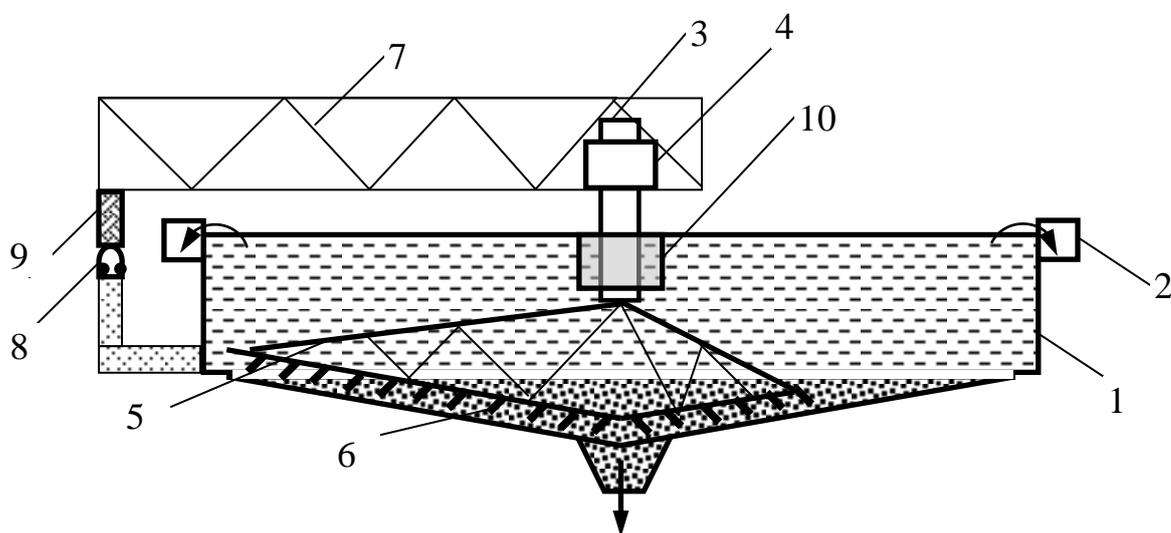
Рис. 11.2. Общий вид радиального сгустителя

В зависимости от расположения привода рамы с гребками для разгрузки осадка радиальные сгустители бывают с центральным (рис. 11.3) и периферическим приводом (рис. 11.4).



1 – чан, 2 – кольцевой желоб для слива, 3 – центральный вал,
4 – гребковая ферма, 5 – гребки, 6 – привод вала, 7 – ферма,
8 – питающее устройство

Рис. 11.3. Схема радиального сгустителя с центральным приводом



1 – чан, 2 – кольцевой желоб для слива, 3 – колонна, 4 – опорная головка, 5 – радиальная гребковая ферма, 6 – гребки,
7 – подвижная ферма, 8 – рельсовый путь, 9 – ходовое колесо,
10 – загрузочное устройство

Рис. 11.4. Схема радиального сгустителя с периферическим приводом

Гребковая рама выполнена в виде радиальной фермы, которая одним концом закреплена в опорном подшипнике головки на центральной железобетонной колонне, а другим – опирается на ходовое колесо. Колесо перемещается по рельсу, расположенному вокруг сгустителя. При вращении рамы гребки разрушают структуру осадка, что способствует получению более плотного сгущенного продукта. Нижний край питающей воронки заглублен по отношению к уровню слива на 0,5-1 м.

Наиболее часто применяются сгустители диаметром 25, 30 м, глубиной 3,6-4,2 м.

Экспериментально установлено, что распределение потоков в радиальном сгустителе зависит от величины произведения DV , где V – средняя скорость потока, D – диаметр сгустителя.

При значении $DV \geq 1,5$ в сгустителе возникают вторичные циркулирующие потоки (рис. 11.5, слева). Это перемешивает зоны в сгустителе, ухудшает условия осветления и перегружает сгуститель. В промышленных условиях поддерживают $DV \leq 1,2-1,5$. При этом есть вероятность возникновения вторичных потоков, но они прижаты к днищу сгустителя и не вызывают перемешивания зон в нем, нарушения процесса осаждения и загрязнения слива.

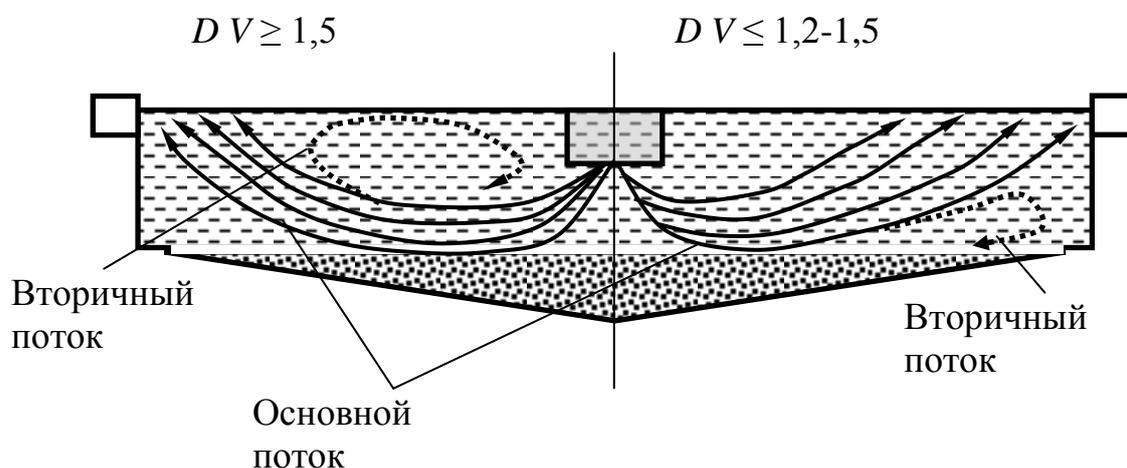


Рис. 11.5. Распределение потоков в радиальном сгустителе в зависимости от скорости

Осаждение твердых частиц в радиальных сгустителях происходит, в основном, в горизонтальном потоке. Питание, выходя из приемного стакана, опускается вниз. Затем движется радиально вдоль днища к вертикальным стенкам сгустителя. Здесь поток из-

меняет направление, и он движется вверх вдоль вертикальных стенок к сливному желобу. Основная часть потока уходит в слив. В районе сливного желоба в потоке наблюдаются завихрения. Небольшая часть потока возвращается к центру сгустителя, создавая циркулирующую нагрузку. При таких потоках осадок на дне имеет максимальную толщину у стенок и минимальную к центру. Это может быть причиной зашламовывания сгустителя.

При использовании флокулянтов распределение потоков остается прежним. Но осаждение флокул происходит, в основном, в вертикальном нисходящем потоке. Флокулы прижимаются потоком к центру днища и осаждение ускоряется (рис. 11.6). Это более эффективно, чем осаждение в горизонтальных потоках (как в наружных отстойниках). Шлам садится в центре сгустителя, и это облегчает выгрузку шлама.

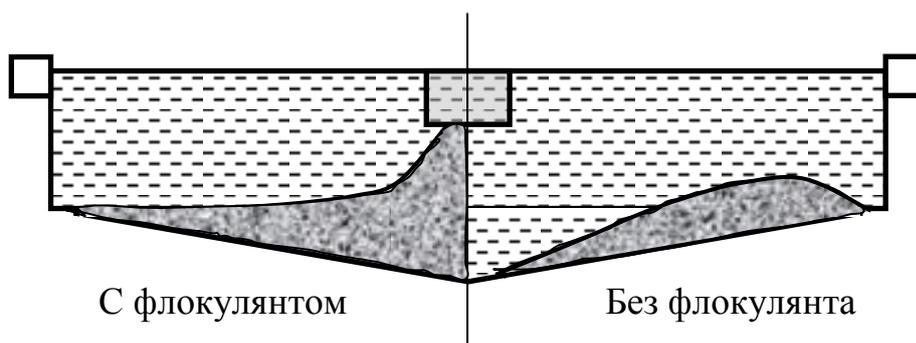


Рис. 11.6. Формирование осадка в сгустителе

Распределение потоков в сгустителе зависит от конструкции загрузочного устройства. Оно должно обеспечивать равномерное распределение потока по площади сгустителя и невысокую скорость его течения.

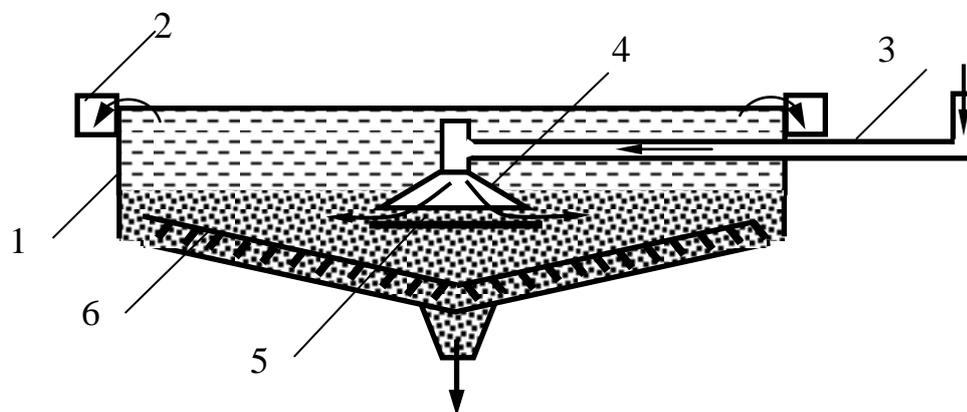
Эффективность работы сгустителя оценивается по удельной нагрузке по твердому и жидкости, извлечению твердого в слив и в сгущенный продукт.

На эффективность работы радиальных сгустителей влияют: реологические свойства среды, в которой происходит осаждение частиц; гидродинамические параметры потоков, зависящие от удельной нагрузки на аппараты; способа загрузки исходной пульпы и разгрузки готовых продуктов и др.

Эффективность работы зависит от системы выгрузки сгущенного продукта. Выпуск слишком густых пульп (400 г/л) из радиального сгустителя приводит к тому, что в слив уносится большое количество твердого. Из-за этого удельная нагрузка на сгуститель должна быть снижена. При выпуске более разжиженных пульп (250-300 г/л) содержание твердого в сливе снижается и можно увеличить нагрузку на сгуститель примерно вдвое.

11.3 Сгуститель со взвешенным слоем

Сгуститель со взвешенным (сфлуктурированным) слоем СФ-9 разработан институтом ИОТТ. Принципиальная схема сгустителя показана на рис. 11.7.



1 – чан, 2 – сливной желоб, 3 – подача питания, 4 – раструб,
5 – отбойный диск, 6 – гребковая рама

Рис. 11.7. Схема сгустителя со сфлуктурированным слоем СФ-9

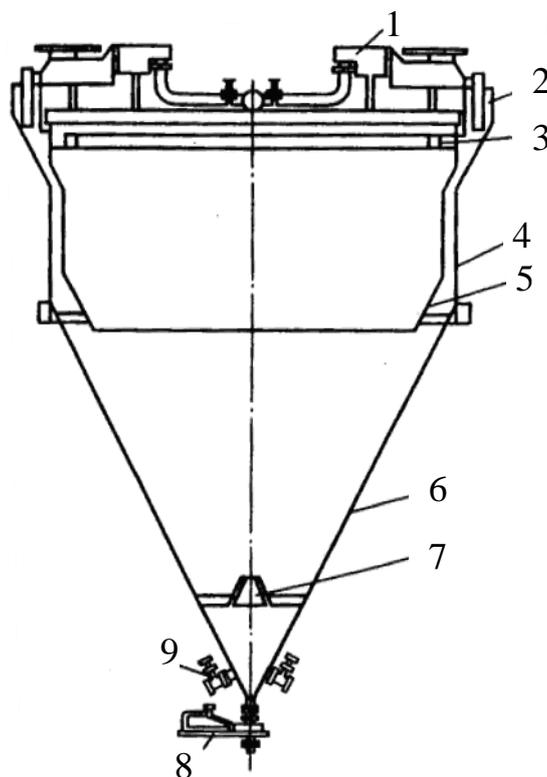
Диаметр сгустителя – 9 м, высота – 4,2 м, высота цилиндрической части – 3,7 м. Загрузочное устройство в виде полого цилиндра вокруг вертикального вала заканчивается раструбом, образующим кольцевую щель с отбойным диском. Такое устройство обеспечивает возможность заглубленного ввода питания в горизонтальной плоскости. Подача питания регулируется изменением зазора между раструбом и отбойным диском.

Под действием восходящих потоков жидкости над отбойным диском образуется взвешенный слой из флоккул. Вода фильтруется через мелкие каналы в слое флоккул и уходит в слив.

Удельная производительность по твердому сгустителя СФ-9 превышает удельную производительность радиального сгустителя в 4-6 раз.

11.4 Цилиндроконические сгустители

Кроме радиальных сгустителей для сгущения шламовых вод и отходов флотации используются цилиндроконические сгустители типа С-10. Схема сгустителя показана на рис. 11.8.



- 1 – смешительное устройство; 2 – загрузочное устройство; 3 – сливной желоб; 4 – цилиндрическая часть чана; 5 – конусный распределитель;
6 – коническая часть чана (осадкоуплотнитель); 7 – рассекатель;
8, 9 – устройство для разгрузки сгущенного продукта

Рис. 11.8. Цилиндроконический сгуститель С-10

Сгуститель С10 имеет цилиндрическую чашу диаметром 10 м с площадью осветления 78 м^2 и глубокую коническую часть для уплотнения осадка с разгрузочным устройством для сгущенного

продукта. Коническое днище имеет наклон образующей к горизонту до 60° . Высота аппарата – 17,6 м.

В сгустителях С-10 получается осадок с повышенной концентрацией твердого вещества – до 500-700 г/л, что существенно выше, чем в радиальных сгустителях (250-400 г/л). Это достигается за счет уплотнения осадка под действием гидростатического давления суспензии.

Сгустители имеет удельную производительность в пределах 0,18-0,24 т/(м²·ч).

11.5 Тонкослойные (пластинчатые, ламельные) сгустители

Радиальные и цилиндрикоконические сгустители позволяют получать чистую оборотную воду, соответствующую нормативам, и сгущенный шлам, который затем можно обезводить при помощи фильтрования.

К существенным недостаткам этих аппаратов можно отнести большие капитальные и эксплуатационные затраты; наличие движущихся частей и не высокую удельную нагрузку на 1 м² площади осветления.

Все эти недостатки могут быть устранены в случае использования для осветления шламовых вод тонкослойных (пластинчатых, ламельных) сгустителей. Применение этих сгустителей, как правило, экономит занимаемую аппаратами площадь до 80% и обеспечивает удельную производительность по осветленному сливу в 3-5 раз бóльшую, чем в радиальных сгустителях [28].

Принцип сгущения в тонком слое был известен и запатентован ещё в конце XIX века. Было замечено, что при наклоне цилиндра, заполненного суспензией, осаждение взвешенных частиц ускоряется вследствие уменьшения расстояния, которое должна пройти частица для выпадения в осадок (рис. 11.9).

Принцип тонкослойного отстаивания нашёл применение при конструировании тонкослойных (полочных) сгустителей, рабочий объём которых разделен по высоте наклонными пластинами на ряд отстойных зон с ламинарным режимом течения жидкости. При этом интенсификация процесса осаждения осуществляется за счёт увеличения контактной поверхности осаждения и уменьшения высоты осаждения взвеси.

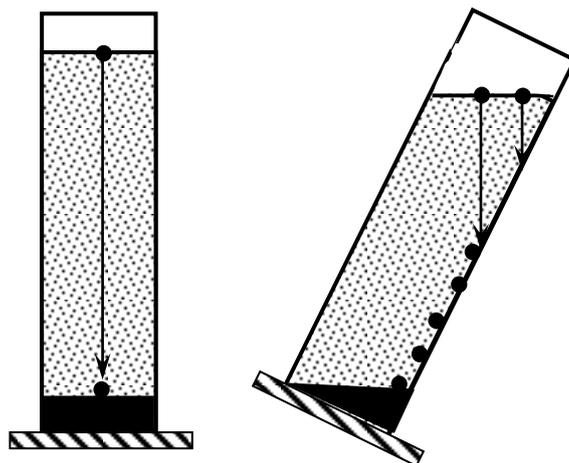


Рис.11.9. Принцип сгущения в тонком слое

Отстаивание шлама в тонких слоях потока жидкости протекает быстро, т. к. путь движения осаждающихся частиц в десятки раз меньше, чем в обычных сгустителях. Введение параллельных пластин в живое сечение сгустителей позволяет равномерно распределять нагрузку по исходному питанию, что увеличивает коэффициент использования объема по сравнению с обычными отстойниками и сгустителями. Поверхность сгущения в этих аппаратах численно равна сумме горизонтальных площадей всех пластин.

Схема работы тонкослойного сгустителя конструкции ДонУГИ показана на рис. 11.10.

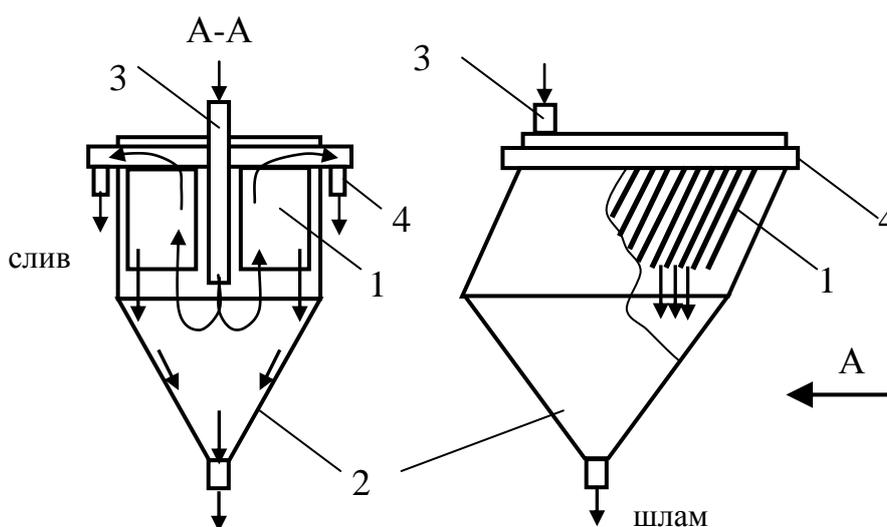


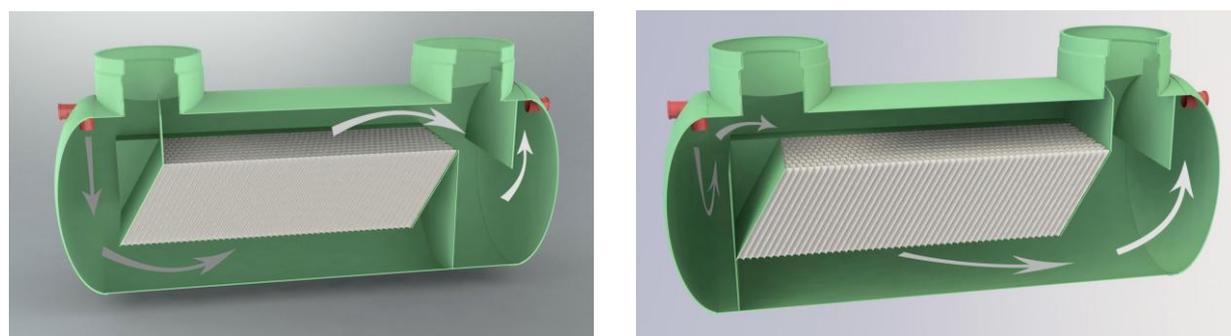
Рис. 11.10. Принципиальная схема работы тонкослойного сгустителя

Пластинчатый сгуститель состоит из двух основных компонентов: верхнего бака с наклонными пластинами 1 (ламелями) и нижнего конического накопителя сгущенного продукта 2. Исходное питание подаётся через загрузочное устройство 3 и равномерно распределяется между пластинами. По мере продвижения пульпы снизу вверх в узком пространстве между пластинами происходит осаждение твёрдых частиц. Осветлённая вода через сливной патрубок 4 удаляется из аппарата.

Угол наклона пластин принимается таким, чтобы силы сцепления были способны удерживать отдельные частицы, но не могли удержать слой, достигший определенной толщины. По мере накопления осадка происходит периодическое сползание слоя с пластин в накопитель сгущенного продукта, где происходит его дальнейшее сгущение и уплотнение.

Обычно угол наклона пластин в тонкослойных сгустителях находится в пределах $30-60^\circ$. Он зависит от характеристик материала, из которого изготовлены пластины, свойств самого осадка, схемы работы сгустителя. Последний фактор оказывает наиболее существенное влияние на выбор угла наклона.

Существуют три схемы работы тонкослойных сгустителей: *противоточная, прямоточная и с поперечным потоком* (рис. 11.11).



а

б

Рис. 11.11. Схемы работы пластинчатого сгустителя:
а – противоточная; б – прямоточная

При противоточной схеме осадок движется против движения основного потока; при прямоточной – направления движения этих двух потоков совпадают; при поперечной схеме осадок движется поперек направления движения основного потока.

В тонкослойных сгустителях, работающих по прямоточной схеме, угол наклона пластин может быть в пределах от 45° до 30° , так как при движении жидкости и осадка в одном направлении усиливается поток, способствуя удалению осадка. Прямоточную схему применяют при относительно небольшой производительности и разжиженной исходной пульпе, предпочтительно для осаждения крупных материалов.

Сгустители с противоточным и поперечным направлениями работают, в основном, на плотных пульпах и дают более чистый слив и при большем расходе пульпы. В противоточном сгустителе угол наклона пластин составляет $45-55^\circ$. При поперечном направлении потока, когда жидкая фаза пульпы течет перпендикулярно к движению осадка, угол наклона пластин увеличивают до 60° , производительность сгустителя значительно выше. В таких аппаратах, в отличие от прямоточных и противоточных сгустителей, возможна установка большего числа пластин при одинаковых габаритных размерах.

Основным рабочим элементом тонкослойных сгустителей являются пластины или трубки, собранные в модули. Расстояние между полками составляет 25-50 мм, длина полок изменяется в пределах 1,0-2,0 м.

Размеры модулей и расстояние между полками определяются исходя из условий удобства монтажа и скорости осаждения частиц. Чем меньше расстояние между пластинами и чем больше отношение между длиной пластин и расстоянием между ними, тем больше скорость осаждения. На практике длина пластин в 20-30 раз и более превышает расстояние между ними. Однако при слишком малом расстоянии между пластинами процесс осаждения ухудшается.

В сгустителе с *пластинчатыми* модулями секции полок имеют прямоугольное сечение, а материалом для их изготовления служат плоские или гофрированные листы из стали, алюминия или разнообразных видов полимеров – стеклопластика, полиэтилена,

полипропилена (рис. 11.12). Для пластинчатых элементов скорость потока на практике принимается 5-10 мм/с.



Рис. 11.12. Пластинчатые модули тонкослойных сгустителей

В *трубчатом* сгустителе ярусы тонкослойного модуля разделены вертикально на отдельные каналы в виде труб. Возможно применение трубок квадратного, шестиугольного, ромбовидного сечения и др. (рис. 11.13). В такой конструкции легче добиться ламинарного тока воды. Трубчатые тонкослойные модули характеризуются повышенной жесткостью элементов и постоянными размерами по длине. Эти модули нормально эксплуатируются при высоких скоростях потока, но имеют и минусы: быстрое заиливание осадками, трудность очистки, повышенный расход материалов.

Модульная конструкция осадительных блоков пластин (ламель), позволяет использовать их в качестве отдельного элемента или в составе пластинчатого сгустителя различной конструкции. Модульная конструкция позволяет получать любые площади зеркала слива сгустителя, образуемые блоками с единичной площадью слива от 1 до 6 м².

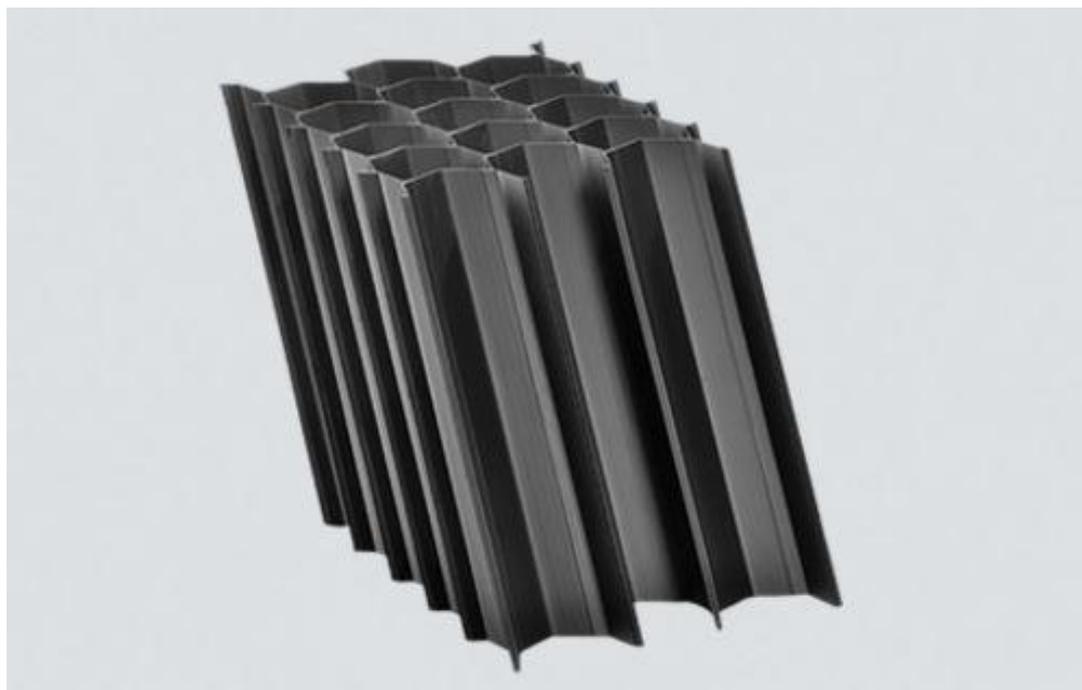


Рис. 11.13. Трубчатый модуль тонкослойных сгустителей

Применение тонкослойных модулей в существующих сгустителях (отстойниках) – один из способов повышения эффективности их работы, а для вновь проектируемых сооружений – это возможность существенно уменьшить размеры сооружений, а следовательно, и стоимость строительства.

Промышленностью выпускаются тонкослойные сгустители с эффективной площадью осаждения до 400 м^2 , с производительностью по исходному питанию до $500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Применяются для сгущения (осветления) пульп и суспензий при обогащении руд, угля и минерального сырья, в химическом, химико-металлургическом и целлюлозно-бумажном производстве, в строительной, стекольной, цементной, пищевой, энергетической промышленности, при очистке промышленных, ливневых и хозяйственно-бытовых сточных вод. Технические характеристики тонкослойных сгустителей приведены в табл. 11.1 [29].

Таблица 11.1. Технические характеристики тонослойных сгустителей

Показатели	СП-1А	СП-2А	СП-4А	СП-6А	СП-16А	СП-18А	СП-20А
Производительность по исходному, м ³ /ч	25	50	100	150	400	450	500
Площадь поверхности зеркала слива, м ²	1	2	4	6	16	18	20
Площадь осаждения, м ²	20	40	80	120	320	360	400
Габаритные размеры, мм							
длина	2525	2525	3864	3950	3864	3950	3864
ширина	1160	2190	2190	3300	8950	9650	11150
высота	4675	5150	6215	6550	6215	6500	6215
Масса, кг	2090	3750	6200	12000	29270	37500	36870

Сгустители пластинчатые типа СП-А изготавливаются 4-х типоразмеров: СП-1А, СП-2А, СП-4А, СП-6А, которые агрегируются в сгустители большей производительности: СП-6А (три сгустителя СП-2А, установленные на одной раме), СП-8А (2 сгустителя СП-4А, установленные на одной раме), СП-12А (два СП-6А), СП-16А (три СП-4А), СП-18А (три-СП-6А), СП-20А (пять СП-4А). По заказу потребителя рабочие поверхности (пластины) могут быть изготовлены из стеклопластика или алюминиевого сплава.

Сгустители типа СП-А (рис. 11.14) имеют простую и компактную конструкцию, предусматривающую возможность регулирования процесса осаждения и получения продуктов с содержанием твердого в сгущенном продукте до 60%, в сливе – 0,1 г/л.

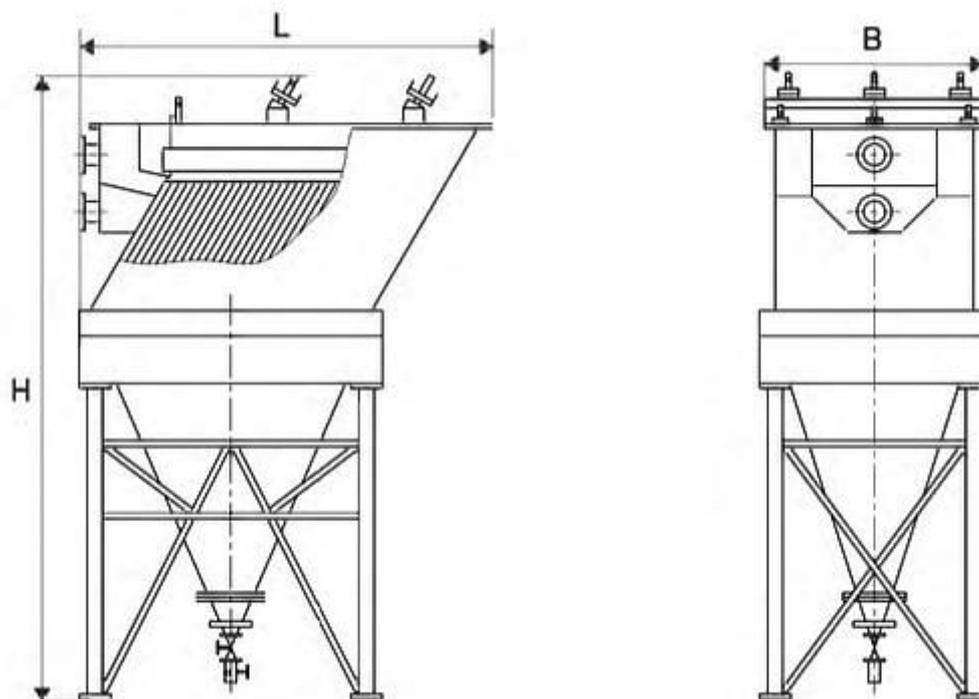


Рис.11.14. Сгуститель пластинчатый типа СП-А

Вопросы для самоконтроля.

1. Как определяется удельная площадь сгущения?
2. Опишите схему работы радиального сгустителя с центральным приводом.
3. Отчего зависит распределение потоков в радиальном сгустителе?
4. Опишите схему работы сгустителя со взвешенным слоем.
5. Укажите преимущества цилиндроконического сгустителя С-10 перед радиальными сгустителями.
6. В чем состоит принцип сгущения в тонком слое?
7. Опишите схемы работы тонкослойных сгустителей.
8. Что является основным рабочим элементом тонкослойных сгустителей?

Глава 12

БАЛАНС ВОДЫ ПО ФАБРИКЕ. ВОДНО-ШЛАМОВЫЕ СХЕМЫ

12.1 Баланс воды по обогатительной фабрике

При обогащении полезных ископаемых расходуется около 0,3 м³/т свежей технической воды. Общий расход воды – 3-5 м³/т минерального сырья. Вода, проходя технологический цикл, насыщается мельчайшими частицами твердого, минеральными солями и различными органическими веществами, применяемыми при обогащении и экстрагируемыми из твердой фазы.

Перед повторным использованием вода очищается путем удаления механических примесей – шлама. Свежая вода из внешних источников при замкнутой системе водоснабжения должна набираться в количестве, необходимом для восполнения ее потерь с продуктами обогащения, испарения при сушке и с поверхности наружных очистных сооружений.

Рассмотрим обогатительную фабрику (ОФ), обогащающую угли, в виде блоков (рис. 12.1).

На рис. 12.1 приняты следующие обозначения: $W_{p/y}$ – количество воды, поступающее с рядовым углем, $W_{дон}$ – количество свежей технической воды, подаваемой в процесс дополнительно, $W_{кп}$ – количество воды, уходящей из процесса с конечными продуктами (потери воды), $W_{ул}$ – количество воды из узла улавливания шлама (сливы или сгущенные продукты сгустительных аппаратов), $W_{осв}$ – количество осветленной воды из узла переработки шлама (фильтрат, слив после сгущения отходов), $W_{об}$ – количество оборотной воды, используемой в процессе многократно.

Количество воды, необходимой для ведения технологических процессов обогащения, составляет:

$$W_{необх} = W_{p/y} + W_{дон} + W_{об}.$$

Оборотная вода складывается из потоков, возвращающихся из узлов улавливания и переработки шлама:

$$W_{обор} = W_{осв} + W_{ул}.$$

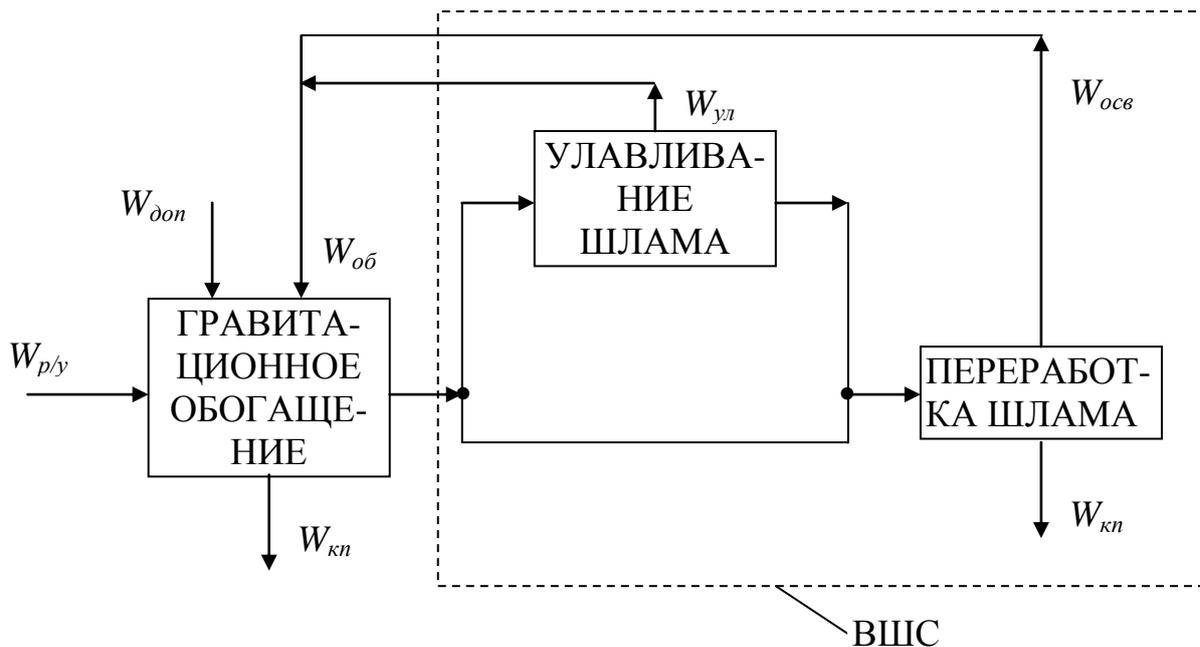


Рис. 12.1. Блочная структура технологического комплекса обогатительного предприятия

Для сохранения природной среды необходимо, чтобы количество добавляемой технической воды восполняло ее потери с конечными продуктами обогащения:

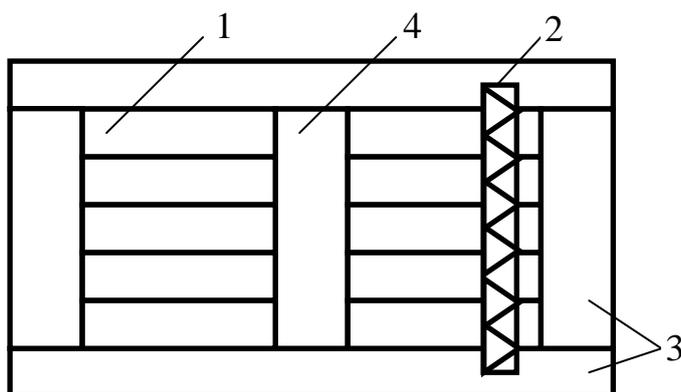
$$W_{дон} = W_{кп}.$$

Существует два способа реализации оборотного водоснабжения – через наружные хвостохранилища (отстойники) и внутрифабричный водооборот. В проектах новых ОФ наружные хвостохранилища (илонакопители) не принимаются. Но многие действующие предприятия имеют илонакопители и шламовые бассейны. Общая вместимость наружных очистных сооружений в горной перерабатывающей отрасли по Украине составляет порядка 3 млн. м³.

Выпуск необогащенного шлама в отстойники свидетельствует о несовершенстве технологического процесса и в первую очередь – водно-шламовой схемы (ВШС). Но если шлам и обогащается, то большинство предприятий доводят до транспортабельного состояния лишь концентраты.

Для аварийных сбросов шламовых вод, случайных просыпей и переливов на предприятиях устраивают шламовые бассейны. Шламовый бассейн, например, ЦОФ Чумаковская (рис. 12.2),

представляет собой железобетонную наземную емкость с размерами: длина 100 м, ширина 35 м, глубина 3,5 м.

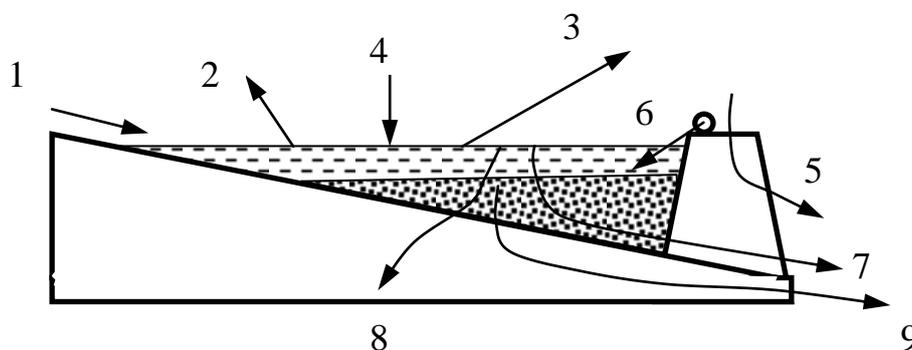


1 – ячейки; 2 – мостовой кран; 3 – площадка для естественного обезвоживания осадка; 4 – дамба

Рис. 12.2. Шламовый бассейн

Бассейн перегорожен дамбой на 2 части. Имеется мостовой кран для вычистки шлама и площадки для естественного обезвоживания осадка. Ячейки заполняются поочередно, осветленная вода возвращается в систему фабрики.

Схема впуска и выхода воды из хвостохранилища представлена на рис. 12.3.



1 – поверхностный сток; 2 – испарение; 3 – возврат на ОФ; 4, 5 – атмосферные осадки; 6 – шлам с ОФ; 7 – просачивание через плотину; 8 – просачивание через грунт; 9 – протекание под плотиной

Рис. 12.3. Схема потоков в хвостохранилище

Хвостохранилища, так же как и шламовые бассейны, являются источниками загрязнения окружающей среды. Дренажное устройство через их дно и стенки приводит к повышенной минерализации и загрязнению органическими соединениями подпочвенных пресных

вод. Бывают случаи разрушения плотин и затопления нижележащих территорий, особенно в период весенних паводков и ливней.

Процессы очистки воды от твердых включений – водно-шламовые процессы – занимают все больший удельный вес в технологии переработки угля. Это обусловлено развитием механизации добычных работ и переходом на валовую выемку горной массы. Содержание классов менее 0,5 мм достигает в рядовых углях 30%. Засорение угля минеральными примесями (в том числе размокаемой породой) вызывает необходимость одновременно с очисткой воды обогащать шлам. Одним из наиболее эффективных промышленных способов обогащения шламов является флотация. В последнее время для обогащения зернистой части шламов применяется гравитационное обогащение в потоке, текущем по наклонной плоскости – в винтовых сепараторах или шлюзах.

12.2 Классификация водно-шламовых схем (ВШС)

Совокупность машин, аппаратов и устройств, соединенных между собой коммуникациями для шламовых вод и продуктов разделения, представляет собой водно-шламовую систему (схему).

Водно-шламовые системы (ВШС) предназначены для:

- 1) обработки шламовой воды с целью улавливания из нее и обогащения угольной мелочи;
- 2) обеспечения водой технологических процессов;
- 3) сокращения расхода воды из наружных источников;
- 4) предотвращения сброса промышленных стоков за пределы фабрики.

В рудной практике применяется двухстадиальное осветление воды. Например, при обогащении железных руд, хвосты магнитного обогащения на 1 стадии сгущаются в наружных отстойниках. Вода возвращается в оборот, а сгущенный продукт поступает в хвостохранилище. Из него осветленная вода также возвращается в оборот. Так как удельный вес твердой фазы руд значительный, тонкие частицы твердого оседают быстро. Обратная вода содержит малое количество твердого, поэтому твердая фаза в ней за счет циркуляции практически не накапливается.

Иначе происходит на углеобогачительных фабриках. Здесь ВШС различаются по количеству потоков, направляемых на регенерацию воды, и по количеству стадий обработки каждого потока.

В однопоточных схемах все подрешетные воды гравитационного отделения направляются на регенерацию оборотной воды. Однопоточные схемы делятся на одностадиальные, двухстадиальные (рис. 12.4) и комбинированные (рис. 12.5).

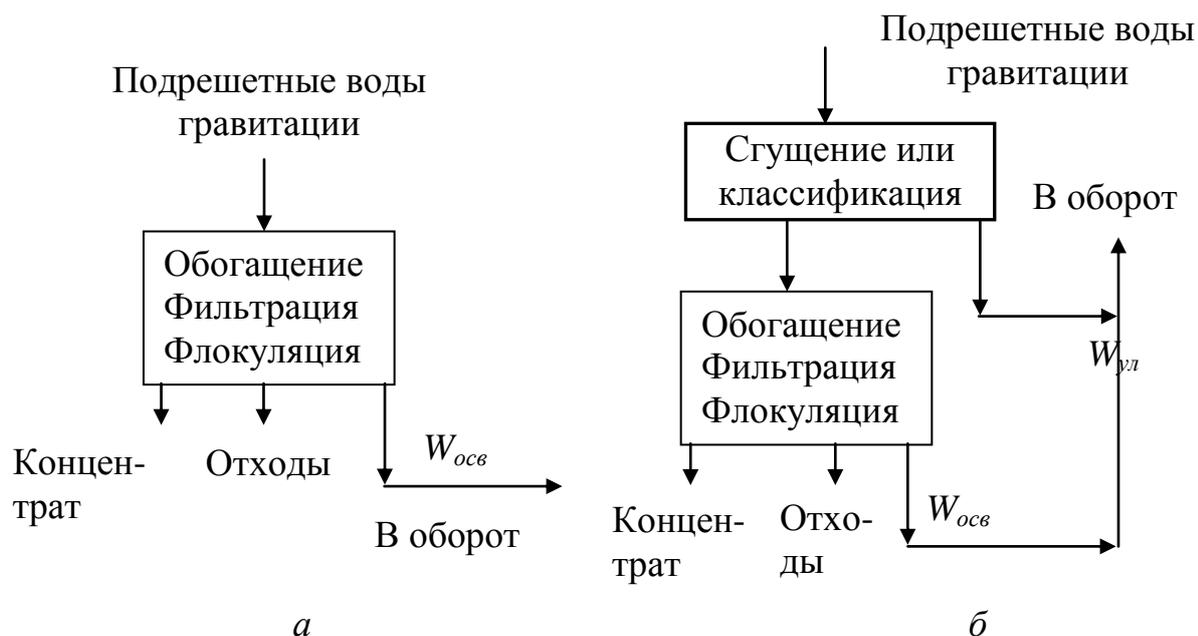


Рис. 12.4. Однопоточная одностадиальная (а) и двухстадиальная (б) водно-шламовая схема

В одностадиальной схеме весь поток обрабатывается в одну стадию (рис. 12.4, а), которая предполагает только сгущение потока или только обогащение твердой фазы, например, флотацией. Такие схемы используются на предприятиях небольшой производительности, на обогащательных установках при шахтах.

В двухстадиальной схеме (рис. 12.4, б) поток подвергается сгущению или классификации (I стадия) и дальнейшему разделительному обогащению (II стадия) продуктов первой стадии обработки (улавливания) шлама с последующим их обезвоживанием и осветлением оборотной воды.

В комбинированной схеме часть потока подрешетных вод гравитационного отделения обрабатывается в одну стадию, а часть – в две (рис. 12.5).

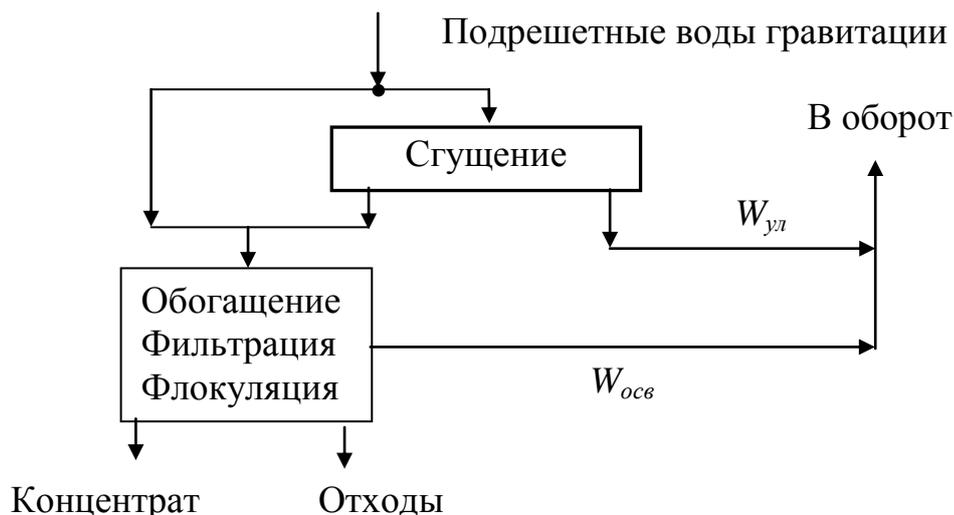


Рис. 12.5. Однопоточная комбинированная водно-шламовая схема

Двухпоточные ВШС предполагают отдельную обработку первичного (шламы рядового угля) и вторичного шлама (частично обогащенного), который имеет более низкую зольность по сравнению с первичным. Эти схемы по построению более сложные, чем однопоточные, и требуют большего количества оборудования.

Факторы, влияющие на степень сложности построения ВШС:

1. Эффективность извлечения шлама в надрешетные продукты (осадок) в операциях, после которых шламовая вода поступает в ВШС.
2. Назначение товарной продукции ЦОФ, минеральный и гранулометрический состав шлама.
3. Эффективность извлечения шлама и продуктов его разделения в обезвоженные продукты ВШС (или в конечные продукты).
4. Расход воды для технологических процессов.
5. Если на фабрике есть флотация – содержание зерен крупностью более 0,5 мм в шламовой воде.

12.3 ВШС для коксующихся углей

При различной глубине обогащения коксующихся и энергетических углей применяют различные ВШС. Один из вариантов построения водно-шламовой схемы для обогащения коксующихся углей представлен на рис. 12.6.

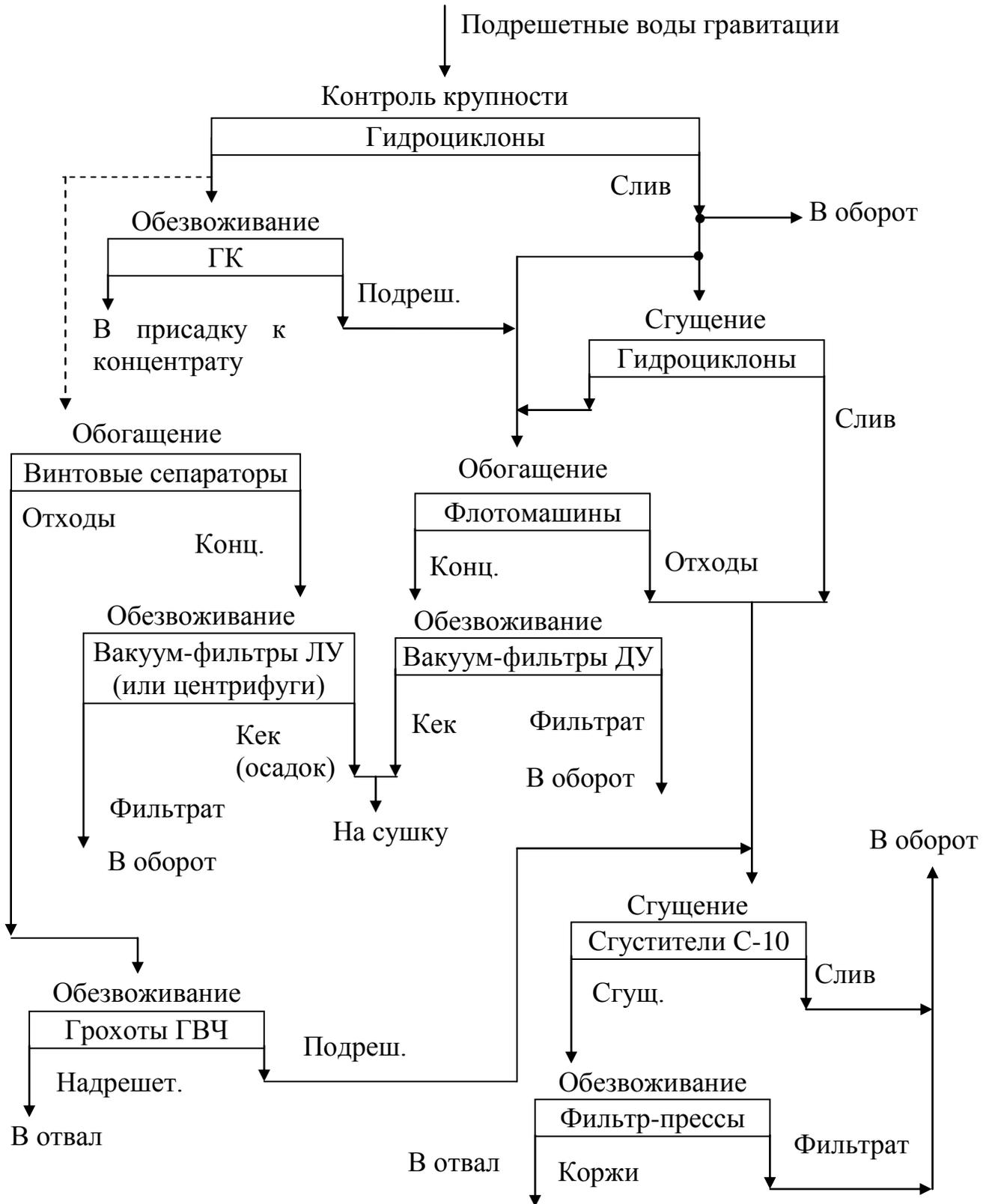


Рис. 12.6. Водно-шламовая схема для коксующихся углей

Коксующиеся угли обогащаются обычно до 0 мм без выделения отсевов. Зернистый шлам (0,5-3 мм), получаемый в операции контроля крупности подрешетных вод гравитации, может присаживаться к концентрату после обезвоживания на грохотах, при условии выполнения требований к зольности товарного концентрата. Если зольность этого класса высокая, то применяют его обогащение в винтовых сепараторах с последующим обезвоживанием продуктов.

В последнее время часто до 0 мм обогащаются и энергетические угли. При обогащении малоценных углей для энергетических целей с зольностью концентрата 16-22% выпускаются отсевы, ОФ работают без флотации.

12.4 Накопление шламов при многократном использовании оборотной воды

В результате многократного использования больших количеств воды в технологических процессах и неполного вывода тонкодисперсных частиц из замкнутых циклов происходит накопление шламов в системе. Шлам углеобогащательных фабрик делится на зернистый (более 45 мкм) и тонкий (менее 45 мкм). Зернистый шлам относительно легко обогащается, осаждается и обезвоживается. Тонкий шлам труден для обработки, повышает вязкость оборотной воды, затрудняет гравитационное обогащение, обезвоживание.

Источником образования шламов является дробление, измельчение и истирание угля в процессе добычи, транспортирования, обогащения и размокания в воде глинистых компонентов. Шламообразование зависит от твердости угля и размокаемости пород, от применяемых схем обогащения и обработки шлама.

Оборотная вода, содержащая шлам, приобретает новые свойства, по сравнению с чистой технической водой. Из-за насыщения тонкими глинистыми частицами ее вязкость повышается. Это приводит к резкому снижению скорости осаждения частиц в воде.

С увеличением вязкости и плотности оборотной воды снижается эффективность разделения мелких частиц и повышается нижний предел эффективно обогащаемых зерен. При значительном содержании твердого в воде в классифицирующих устройствах не

осаждаются частицы угля крупностью 0,5 и даже 1 мм. Поступая на флотацию, эти зерна теряются в отходах.

Возрастание вязкости оборотной воды начинается с содержания твердого в ней 50 кг/м^3 для глинистых шламов и 80 кг/м^3 для менее глинистых. Именно эти значения приняты в качестве нормативных для оборотной воды [30, 31]. Задачу улавливания твердой фазы и поддержания необходимого содержания твердого в оборотной воде и решают системы осветления или регенерации воды – водно-шламовые системы.

Установлено, что дополнительное шламообразование зависит от циркуляции продуктов и количества зернистого шлама, поступающего в систему, от физических свойств углей и сопутствующих пород. Управляемым фактором является циркуляция потоков, которая зависит от построения замкнутой ВШС. Чем меньше циркуляция потоков в системе, тем меньше накопление шлама в оборотной воде.

Вопросы для самоконтроля.

1. Сколько свежей технической воды расходуется при обогащении полезных ископаемых?
2. Опишите блочную структуру технологического комплекса обогатительного предприятия.
3. Какие существуют способы реализации оборотного водоснабжения?
4. Для каких целей на предприятиях устраивают шламовые бассейны?
5. Для чего предназначены водно-шламовые системы?
6. Опишите различные виды однопоточных ВШС.
7. Перечислите факторы, влияющие на степень сложности построения ВШС.
8. Что является источником образования шламов?
9. Какие приняты нормы содержания твердого в оборотной воде углеобогажительных фабрик?

Глава 13

ТЕРМИЧЕСКОЕ ОБЕЗВОЖИВАНИЕ

13.1 Теоретические основы процесса

Сушкой называется процесс обезвоживания материала, основанный на испарении влаги в окружающую среду при нагревании. При сушке удаляется только та влага, которая связана с материалом механическими или физико-химическими связями.

Процесс сушки относится к массообменным процессам, т.к. происходит перемещение тепла и влаги внутри материала и их перенос с поверхности материала в окружающую среду. В качестве теплоносителя – сушильного агента – применяются дымовые газы, нагретый воздух, перегретый пар. Используются дымовые газы, образующиеся при сгорании твердого, жидкого или газообразного топлива.

Скорость сушки определяется по снижению влажности материала за определенный период времени и зависит от формы связи влаги с материалом. Изменение скорости сушки характеризуется кривой сушки (рис. 13.1).

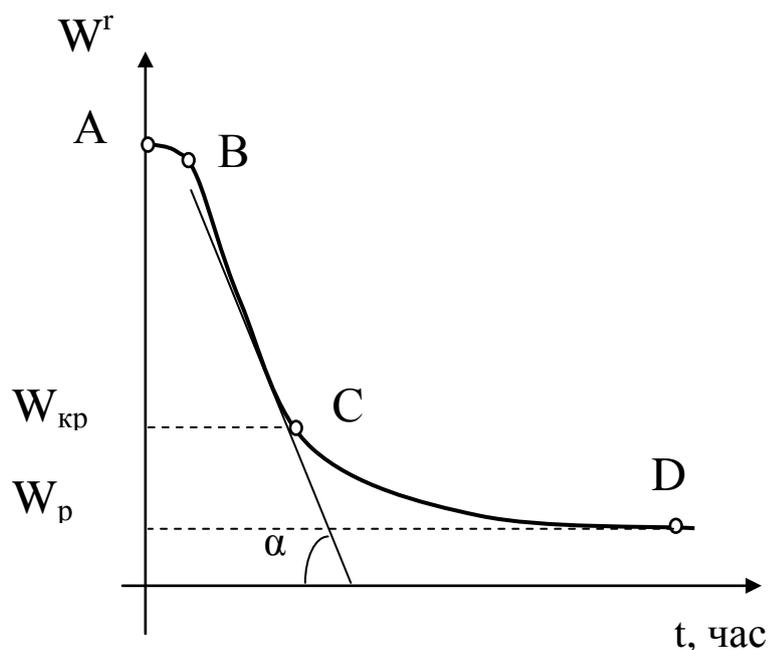


Рис. 13.1. Кривая сушки

На кривой сушки можно выделить участки, соответствующие трем периодам сушки.

I период (участок АВ) – прогрев материала. Влажность снижается незначительно, температура материала и скорость сушки возрастают.

II период (участок ВС) – скорость сушки постоянна. Влага из внутренних слоев материала поступает к поверхности и заменяет уже испарившуюся, т.е. испарение происходит со свободной поверхности. Скорость сушки в этом периоде зависит только от внешних условий – температуры, влажности и скорости движения сушильного агента. Температура материала остается постоянной. II период заканчивается при критической влажности материала $W_{кр}$ (влагосодержание).

III период (участок CD) – характеризуется снижением скорости сушки. Диффузия влаги из внутренних слоев материала к поверхности недостаточна для насыщения поверхности влагой. В конце III периода влажность приближается к равновесной W_p , при которой испарение влаги прекращается. Температура материала увеличивается и приближается к температуре окружающего газа. Скорость сушки в этом периоде зависит от толщины слоя материала и его влажности и определяется скоростью диффузии влаги из внутренних слоев к поверхности и не зависит от скорости движения сушильного агента и его влажности.

Таким образом, скорость процесса сушки в основном зависит от свойств сушимого материала, а именно от сопротивления диффузии при переходе водяного пара из внутренних слоев к поверхности материала. На кривой скорость сушки выражается тангенсом угла наклона α .

Для расчета рабочего объема сушилок используется **напряжение объема сушилки по влаге w** (кг/м³·ч). Этот параметр определяет массу влаги, испаряющейся за 1 ч в 1 м³ сушилки.

Рабочий объем сушилки определяется из соотношения

$$V_p = W / w,$$

где W – общая масса влаги, удаляемая за весь процесс, кг.

В процессе сушки важное значение имеют параметры влажного воздуха: давление p , влагосодержание d , теплосодержание I (энтальпия). По закону Дальтона **давление влажного воздуха**

$$p = p_{\text{в}} + p_{\text{п}},$$

где $p_{\text{в}}$, $p_{\text{п}}$ – парциальные давления сухого воздуха и водяного пара.

Насыщенный влажный воздух при каждом определенном давлении и температуре содержит максимально возможную массу водяного пара. Воздух, полностью насыщенный водяным паром, представляют как смесь сухого воздуха и сухого насыщенного пара. При этом давление пара

$$p_{\text{п}} = p_{\text{нас. пара}}$$

Влагосодержание d (кг/кг) определяется как соотношение масс водяного пара и сухого воздуха

$$d = m / M,$$

где m – масса водяного пара во влажном воздухе, кг; M – масса сухого воздуха во влажном газе, кг.

Влагосодержание воздуха, выраженное через парциальное давление насыщенного пара, будет

$$d = 0,622 p_{\text{п}} / (p - p_{\text{п}}).$$

Удельная энтальпия (теплосодержание), кДж/кг, влажного воздуха при данной температуре определяется как сумма энтальпий сухого воздуха и водяного пара

$$I = C_{\text{с.г.}} t + d I_{\text{п}},$$

где $C_{\text{с.г.}}$ – средняя удельная теплоемкость сухого газа; t – температура, °С; I – удельная энтальпия перегретого водяного пара ($I_{\text{п}} = 2493 + 1,97t$), кДж/кг.

Тепловые расчеты сушильных установок сводятся к определению количества сушильного агента, потребного для сушки материала с определенной влажностью и к определению расхода тепла на сушку.

Удельный расход тепла в практической сушилке (кДж/кг) на 1 кг испаренной влаги определяется из выражения

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5,$$

где q_1 – расход тепла на испарение влаги; q_2 – расход тепла на нагрев материала; q_3 – расход тепла на нагрев транспортных устройств сушилки; q_4 – потери тепла с уходящим из сушилки сушильным агентом; q_5 – потери тепла в окружающую среду через поверхность сушилки.

13.2 Материальный баланс сушильной установки

В сушильной установке соблюдается материальный баланс по ряду параметров. При сушке изменяется масса материала G , его влажность W^r и температура t , а также влагосодержание сушильного агента d (рис. 13.2).

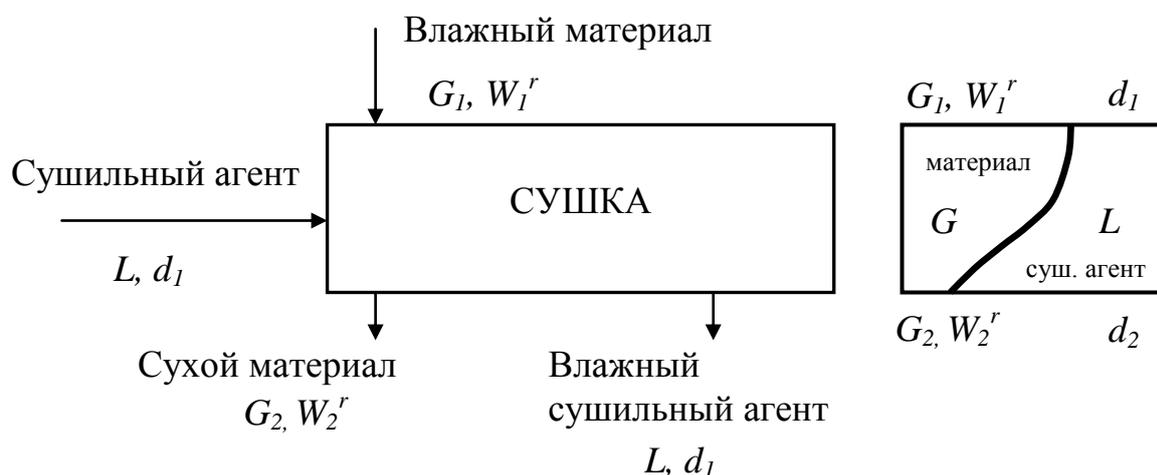


Рис. 13.2. Массообмен по влаге в процессе сушки

Для определения баланса сушильной установки по влаге обозначим: G_1 – количество влажного материала, поступающего в сушилку, т/ч; G_2 – количество высушенного материала, выходящего из сушилки, т/ч; W_1^r – начальная влажность материала, %; W_2^r – конечная влажность материала, %; L – количество абсолютно сухого сушильного агента, кг/ч; d_1, d_2 – влагосодержание сушильного агента при входе и выходе из сушилки, кг/кг; W – количество испаренной влаги, т/ч.

Количество влаги, содержащейся во влажном материале

$$W_n = G_1 W_1^r / 100.$$

Количество влаги, содержащейся в высушенном материале

$$W_k = G_2 W_2^r / 100.$$

Количество влаги, испаренной в 1 час

$$W = W_n - W_k = (G_1 W_1^r - G_2 W_2^r) / 100.$$

Баланс влаги в сушильном аппарате:

Входит	Выходит
Количество влаги с исходным продуктом: $G_1 W_1^r / 100$	Количество влаги с высушенным продуктом: $G_2 W_2^r / 100$
Количество влаги с сушильным агентом: $L d_1 / 1000$	Количество влаги, уходящей с отходящими газами: $L d_2 / 1000$
Всего: $(G_1 W_1^r / 100) + L d_1 / 1000$	Всего: $(G_2 W_2^r / 100) + L d_2 / 1000$

Соблюдение баланса:

$$(G_1 W_1^r / 100) + L d_1 / 1000 = (G_2 W_2^r / 100) + L d_2 / 1000,$$

$$(G_1 W_1^r / 100) - (G_2 W_2^r / 100) = (L d_2 / 1000) - (L d_1 / 1000),$$

$$W_{исп} = L (d_2 - d_1) / 1000.$$

Отсюда: $L = 1000 W_{исп} / (d_2 - d_1).$

Расход сушильного агента на 1 кг испаренной влаги составит

$$l = L / W_{исп} = 1000 / (d_2 - d_1), \text{ кг/кг влаги.}$$

13.3 Диаграмма $I-d$ для теоретической и практической сушилки

Детальный расчет сушилки является сложным и трудоемким. Тепловые расчеты сушилок упрощаются с применением $I-d$ диаграммы, предложенной проф. Л.К. Рамзиным [32]. По диаграмме

определяются расходы тепла $q = f_1(I, d)$ и воздуха $l = f_2(d)$, а также любые параметры влажного воздуха (I, d, t, φ, p_n) и температура материала, если известны два из них. Особенностью диаграммы является расположение линий равных энтальпий I и влагосодержания d под углом 135° . Общий вид диаграммы и ее упрощенное представление показаны на рис. 13.3.

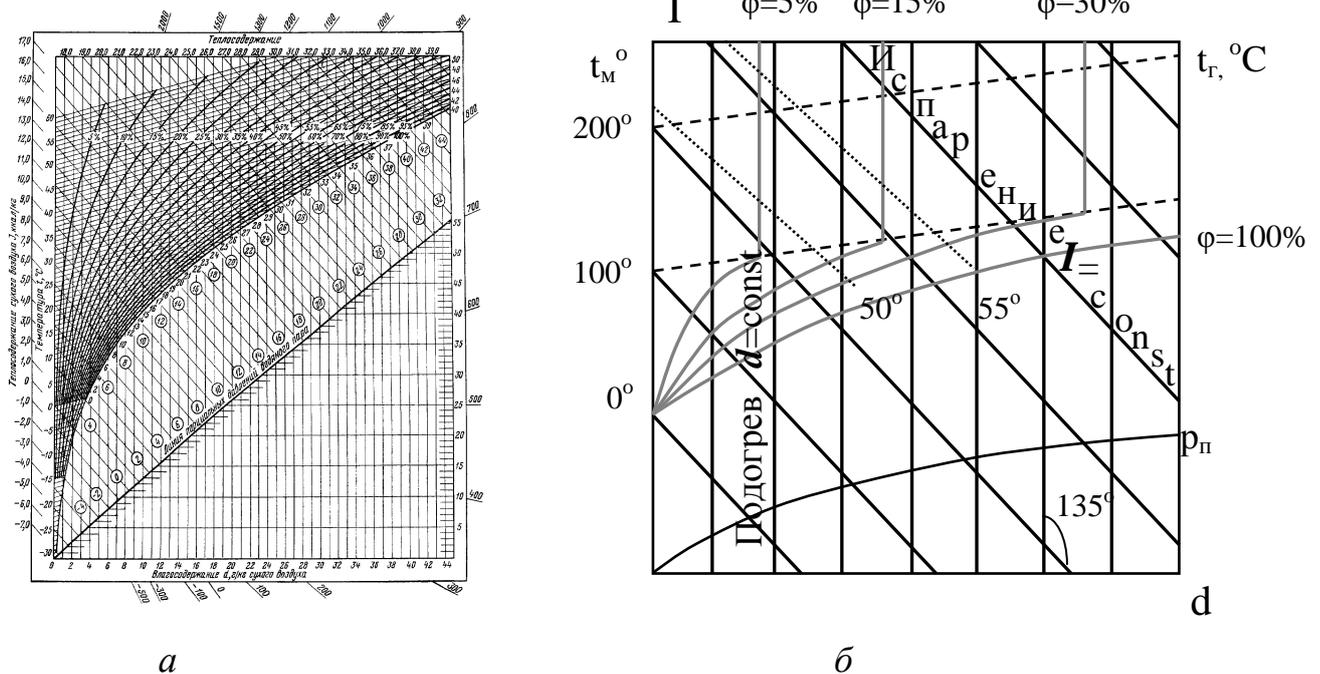


Рис. 13.3. Общий вид диаграммы $I-d$ (а) и ее упрощенное представление (б)

Кривые одинаковой влажности φ при $t = 99,4^\circ$ имеют перелом, т.к. при этой температуре давление насыщенного пара равно барометрическому ($99,25 \text{ кН/м}^2$), и влагосодержание воздуха не изменяется. Ниже значения $\varphi = 100\%$ пар является насыщенным и частично сконденсированным в жидкость. Выше $\varphi = 100\%$ влажный воздух можно представить как смесь сухого воздуха и насыщенного пара.

Для теоретической сушки фрагмент диаграммы имеет вид, показанный на рис. 13.4.

В точке A существует холодный воздух, имеющий перед нагревом параметры: температуру t_o и влагосодержание d_o . Линия AB соответствует нагреву воздуха, который происходит при постоян-

ном влагосодержании ($d = \text{const}$), при этом энтальпия (теплосодержание) и температура увеличиваются.

Параметры воздуха в точке B :

температура $t = t_1$, энтальпия $I = I_1$, влагосодержание $d = d_1 = d_o$.

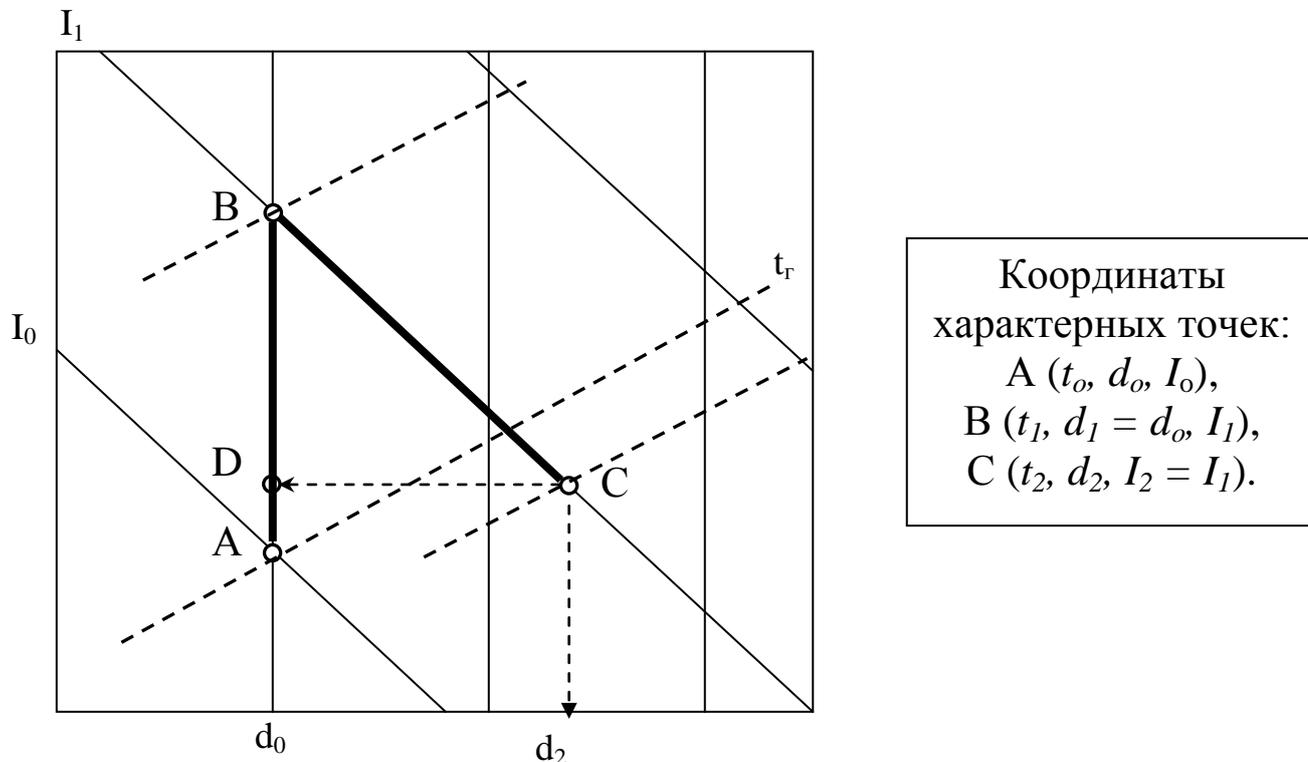


Рис. 13.4. Диаграмма $I-d$ для теоретической сушиллки

Теоретический процесс сушки будет происходить при постоянной энтальпии по линии B_1C до пересечения с линией заданной температуры $t_{\text{конечн.}} = t_2 = \text{const}$ или с линией конечной относительной влажности $\varphi_2 = \text{const}$. Расход воздуха на 1 кг испаренной влаги определяется непосредственно на диаграмме по длине отрезка DC

$$l = 1000 / (d_2 - d_1) = 1000 / DC \cdot M_d, \text{ кг},$$

где M_d – масштаб по влагосодержанию d , кг/мм.

Расход тепла на подогрев 1 кг воздуха характеризуется линией AB в масштабе теплосодержания M_I (кДж/мм). Расход тепла на 1 кг испаренной влаги составит

$$q = l (I_1 - I_0) = (1000 / DC \cdot M_d) AB \cdot M_I.$$

В практической сушилке, в отличие от теоретической, происходят потери тепла, поэтому $I_2 \neq I_1$. При сушке без дополнительного подвода тепла в сушилку $I_2 < I_1$, т.е. потери тепла Δ на испарение влаги, нагрев материала и в окружающую среду больше количества тепла с исходным питанием ($\Delta < 0$)

$$\Delta = \Theta - \Sigma q,$$

где Θ – количество тепла в исходном материале, зависящее от его температуры; Σq – суммарные потери тепла.

Для практической сушилки диаграмма $I-d$ показана на рис. 13.5.

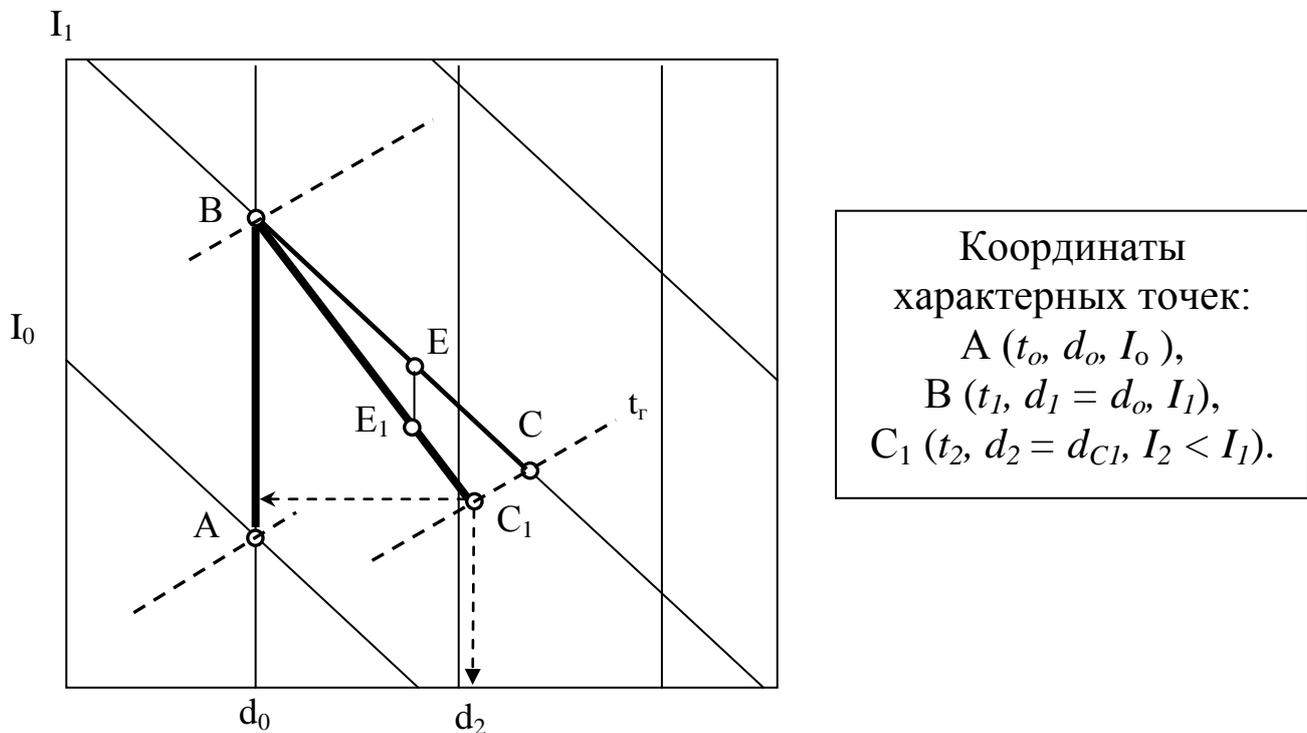


Рис. 13.5. Диаграмма для практической сушилки

Работают с диаграммой следующим образом. Вначале строятся линии, как и для теоретической сушилки. Затем на линии BC (для теоретической сушилки) отмечается произвольная точка E , из которой вниз по вертикали откладывается в масштабе значение Δ (при $\Delta < 0$) или вверх (при $\Delta > 0$ – с подводом тепла к сушилке), определяющее положение точки E_1 . Из точки B проводится прямая

линия через точку E_1 до пересечения с линией заданных параметров t_2 и I_2 , и находится точка C_1 , параметры которой соответствуют конечным.

После этого определяют расход агента сушки l и тепла q на 1 кг испаренной влаги в соответствии с известными масштабами и измеренной длиной отрезков, как и для теоретической сушилки.

Количество сухого агента сушки, необходимого для испарения всей влаги из материала, будет

$$L = l W, \text{ кг/ч.}$$

Вопросы для самоконтроля.

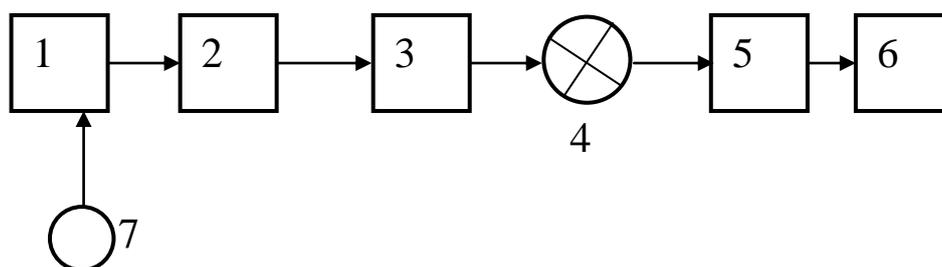
1. Охарактеризуйте три периода сушки материала.
2. От каких факторов зависит скорость процесса сушки?
3. Как определяется рабочий объем сушилки?
4. Какие параметры влажного воздуха учитываются при работе сушки?
5. Как вычисляется баланс сушильной установки по влаге?
6. Для каких целей используются $I-d$ диаграммы?
7. Как определяется расход тепла на подогрев 1 кг воздуха для теоретической сушилки?
8. Опишите процесс работы с диаграммой для практической сушилки.

Глава 14

КОНСТРУКЦИИ СУШИЛОК

14.1 Способы сушки

В общем случае схема сушилки может быть представлена в следующем виде (рис. 14.1).



1 – топка, 2 – камера смешивания, 3 – сушилка, 4 – дымосос (вентилятор), 5, 6 – устройства для обеспыливания дымовых газов, 7 – вентилятор вторичного дутья

Рис. 14.1. Блок-схема сушильной установки

Применяются следующие способы сушки:

1. Конвективный – тепло передается от сушильного агента материалу при соприкосновении.

2. Контактный – тепло передается от нагретой поверхности, на которой расположен материал.

3. Контактно-конвективный.

4. Радиационный – тепло передается инфракрасным излучением от электрических ламп или нагретых излучающих поверхностей.

5. Сублимация – сушка в вакууме при замораживании.

6. Сушка токами высокой частоты – при этом температура внутри материала больше, чем на поверхности, влага перемещается из внутренних слоев материала к наружным и испаряется.

7. Сушка ультразвуком.

8. Комбинированные способы.

В обогащении применяются способы 1-3 с газовым или паровым обогревом. В качестве сушильного агента при газовом обогреве применяются дымовые газы от сгорания, в основном, твердого топлива. В сушилках с паровым обогревом – отработанный пар (контактный метод сушки).

Наибольшее распространение в обогащении полезных ископаемых получили барабанные сушилки, трубы-сушилки и сушилки кипящего слоя.

14.2 Барабанная сушилка

Барабанные сушилки широко применяют для сушки продуктов обогащения различной крупности и влажности. Их подразделяют на сушилки с прямым теплообменом, то есть с непосредственным соприкосновением сушимого материала с горячими газами по прямоточной или противоточной схеме движения газов и материала, и на сушилки с косвенным теплообменом, в которых тепло передается от газов сушимому материалу через металлическую стенку. Для сушки концентратов и минерального сырья применяют, как правило, прямоточные барабанные сушилки с прямым теплообменом.

Общий вид барабанных сушилок показан на рис. 14.2.



Рис. 14.2. Общий вид барабанных сушилок

Барabanная сушилка с прямым теплообменом (рис. 14.3) представляет собой установленный наклонно (до 4°) в сторону разгрузки вращающийся барабан, на который надеты два бандаж и зубчатый венец привода. Бандажами барабан опирается на четыре свободно вращающихся ролика, установленных на рамах опорной и опорно-упорной станции. Два упорных ролика, установленных на раме опорно-упорной станции, ограничивают осевое смещение корпуса барабана. Вращение барабану передается от привода, состоящего из электродвигателя, редуктора и приводной шестерни, находящейся в зацеплении с венцовой шестерней.

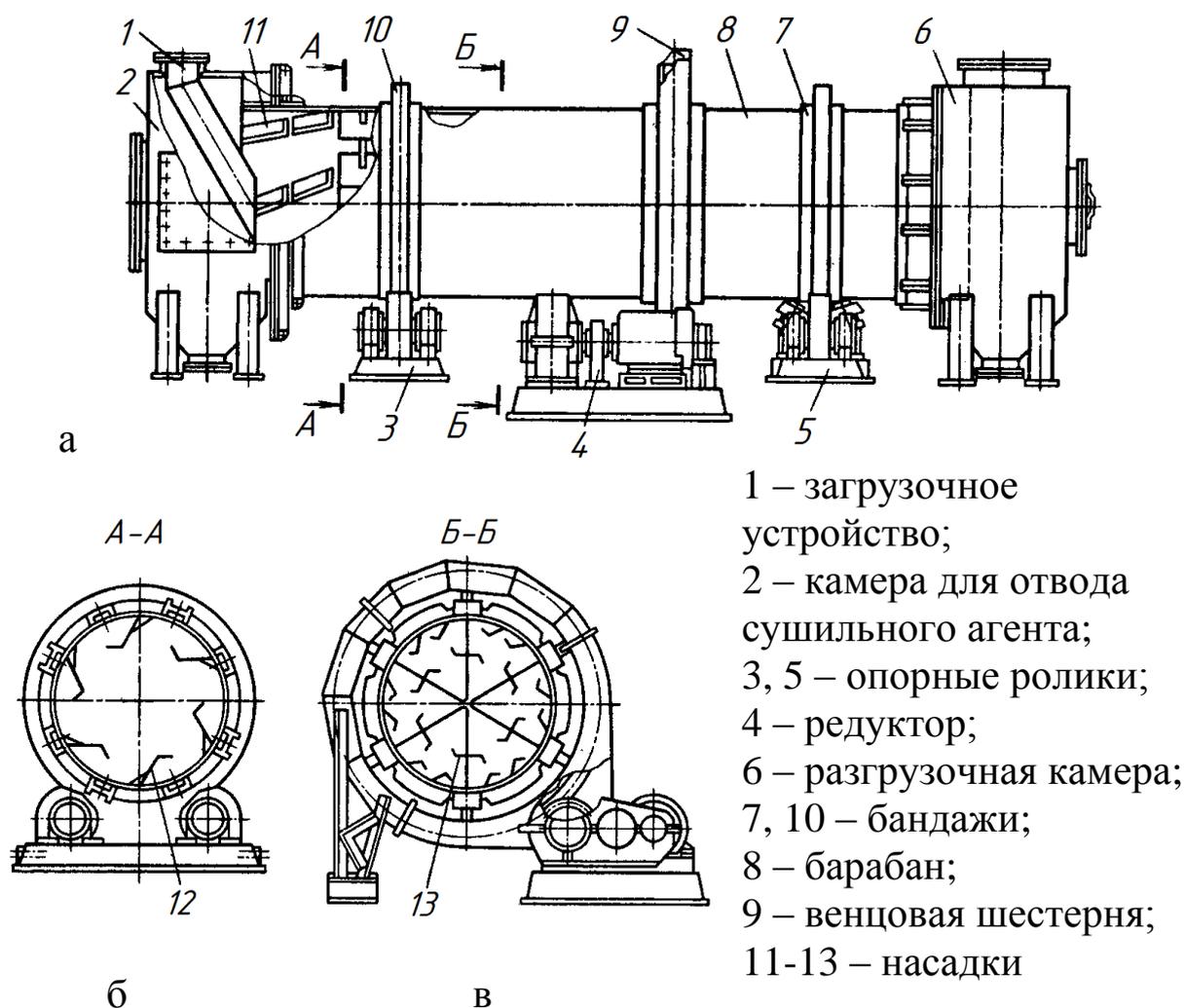


Рис. 14.3. Сушильный барабан:

а – общий вид; б – лопастная насадка; в – секторная насадка

С одного конца к барабану примыкают топка со смесительной камерой и загрузочное устройство, с другого конца – разгру-

зочная камера для высушенного материала. На обоих концах барабана устанавливают уплотнения.

Для равномерного распределения материала по сечению барабана и интенсивного перемешивания его в процессе сушки применяют насадки различной конструкции, в зависимости от диаметра барабана и свойств высушиваемых материалов (крупности, влажности, плотности, сыпучести). Лопасты, закрепленные внутри барабана, захватывают материал, который при низкой частоте вращения барабана (до 7-8 мин⁻¹), падая тонкими каскадами (струйками), соприкасается влажной поверхностью с горячими газами и высушивается.

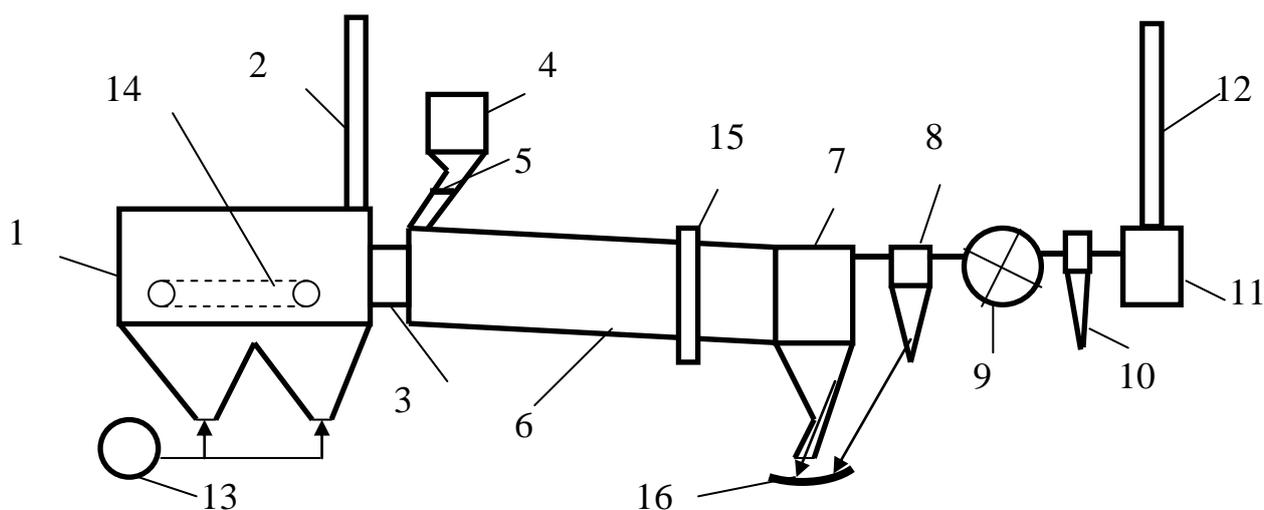
Насадки выполняют в виде приемно-винтовых лопастей, подъемно-лопастными, секторными, цепными. Приемно-винтовые лопасти обычно укрепляют в загрузочной части барабана, с их помощью увеличивают скорость перемещения материала и уменьшают время контактирования с дымовыми газами. Иногда винтовые лопасти укрепляют на разгрузочном конце барабана. Подъемно-лопастную систему насадок применяют для сушки крупнокусковых материалов, обладающих значительной плотностью. Насадки остальных типов применяют при сушке мелкозернистых материалов, способных к слипанию и пылеобразованию. По длине барабана может быть установлено несколько типов насадок.

Для уменьшения налипания материала на внутренние устройства барабана по всей его длине вдоль периферических лопастей навешивают гирлянды цепей. Насадки, выполненные полностью из цепей, используют при сушке флотационных угольных концентратов.

Схема барабанной сушильной установки представлена на рис. 14.4.

Дымовые газы с температурой 600-900°С поступают в сушильный барабан в виде газоздушной смеси и проходят вдоль барабана в разгрузочную камеру, откуда вентилятором подаются в очистные устройства, а затем выбрасываются в атмосферу или частично направляются снова в процесс.

При вращении барабана материал постепенно перемещается к разгрузочной камере. Сушильный агент движется в барабане под действием разрежения, создаваемого дымососом.



1 – топка, 2 – растопочная труба, 3 – смешительная камера, 4 – бункер сырого угля, 5 – тарельчатый питатель, 6 – сушильный барабан, 7 – разгрузочная камера, 8 – циклон для улавливания крупной пыли, 9 – дымосос, 10 – батарейные пылеуловители, 11 – мокрый пылеуловитель, 12 – дымовая труба, 13 – дутьевой вентилятор, 14 – пластинчатый конвейер, 15 – венцовая шестерня, 16 – конвейер для сушеного угля

Рис. 14.4. Схема барабанной сушильной установки

Внутренняя часть барабана оборудована лопастями, которые при вращении захватывают материал и пересыпают его тонкими параллельными струйками (каскадами). В этот момент частицы соприкасаются с горячими газами. Часть материала остается на дне барабана и сушится за счет его тепла. Но теплообмен через поверхность падающих частиц в несколько раз больше.

Для уменьшения потерь тепла наружную поверхность барабана покрывают кожухом из листовой стали, заполненным теплоизолирующим материалом. При этом температура наружной стенки не должна превышать 40°C . На концах сушильного барабана устанавливают уплотнительные устройства с целью предотвращения подсосов воздуха.

Степень заполнения объема барабана в среднем составляет 10-12%, время пребывания материала в барабане – от 15 до 40 минут, в зависимости от его начальной и конечной влажности.

Технические характеристики вращающихся барабанных сушилок БН [7] приведены в табл. 14.1.

Таблица 14.1. Технические характеристики барабанных сушилок БН

Марка	Диаметр барабана, м	Длина барабана, м	Мощность привода, кВт	Габаритные размеры, мм			Масса, кг
				длина	ширина	высота	
БН-1,0	1,0	4	4	5300	2280	2150	4960
	1,0	6	4	7300	2280	2150	5430
БН-1,2	1,2	6	7,5	7350	2550	2350	7070
	1,2	8	7,5	9350	2550	2350	7660
	1,2	10	7,5	11400	2550	2350	8230
БН-1,6	1,6	8	15,0	9700	3300	2900	13450
	1,6	10	15,0	11700	3300	2900	14330
	1,6	12	30,0	13700	3300	2900	16360
БН-2,0	2,0	8	30,0	9900	3850	3600	21920
	2,0	10	30,0	11950	3850	3600	23542
	2,0	12	30,0	13950	3850	3600	24960
БН-2,2	2,2	10	30,0	12100	3950	3750	27410
	2,2	12	30,0	14100	3950	3750	29410
	2,2	14	30,0	16150	3950	3750	31410
	2,2	16	30,0	18150	3950	3750	33230
БН-2,8	2,8	14	55,0	14100	5250	5000	79349
	2,8	16	55,0	16100	5250	5000	84594
	2,8	20	75,0	22760	4595	5430	100000
БН-3,5	3,5	27	200,0	31000	7000	6800	250000

Достоинства барабанных сушилок: высокая надежность в работе; применимость для сушки продуктов широкого диапазона крупности – от тонкоизмельченных концентратов до кускового материала; сушка продуктов при высоких температурах нагретых газов.

Недостатки: большие габаритные размеры и значительная металлоемкость; низкое напряжение объема барабана по испаряе-

мой влаге; в процессе сушки только 15-25% полезного объема занято сушимым материалом.

На показатели работы сушильного барабана влияют:

- 1) герметичность трактов сушилки, особенно при загрузке и разгрузке угля;
- 2) использование насадок;
- 3) начальная температура газов (700-1100°С) и их скорость (0,5-5 м/с);
- 4) крупность и влажность материала.

Температура газов на выходе из сушилки изменяется в диапазоне 70-120°, время сушки составляет от 15 до 40 минут.

14.3 Трубы-сушилки

Схема трубы-сушилки показана на рис. 14.5.

Нижняя часть трубы присоединена к топке, верхняя – к циклону. Труба в нижней части изнутри футерована шамотным кирпичом, а снаружи покрыта асбестом. Верхняя часть трубы металлическая (чаще используют нержавеющую сталь).

Сушимый уголь потоком газов выносится вверх. В циклоне твердые частицы отделяются от газов. Для трубы-сушилки необходима тщательная очистка газов и улавливание твердых частиц. Скорость движения газов должна быть достаточной для подъема наиболее крупных частиц материала. Крупные комкующиеся частицы собираются в нижней части (в провале) и через специальный затвор выводятся.

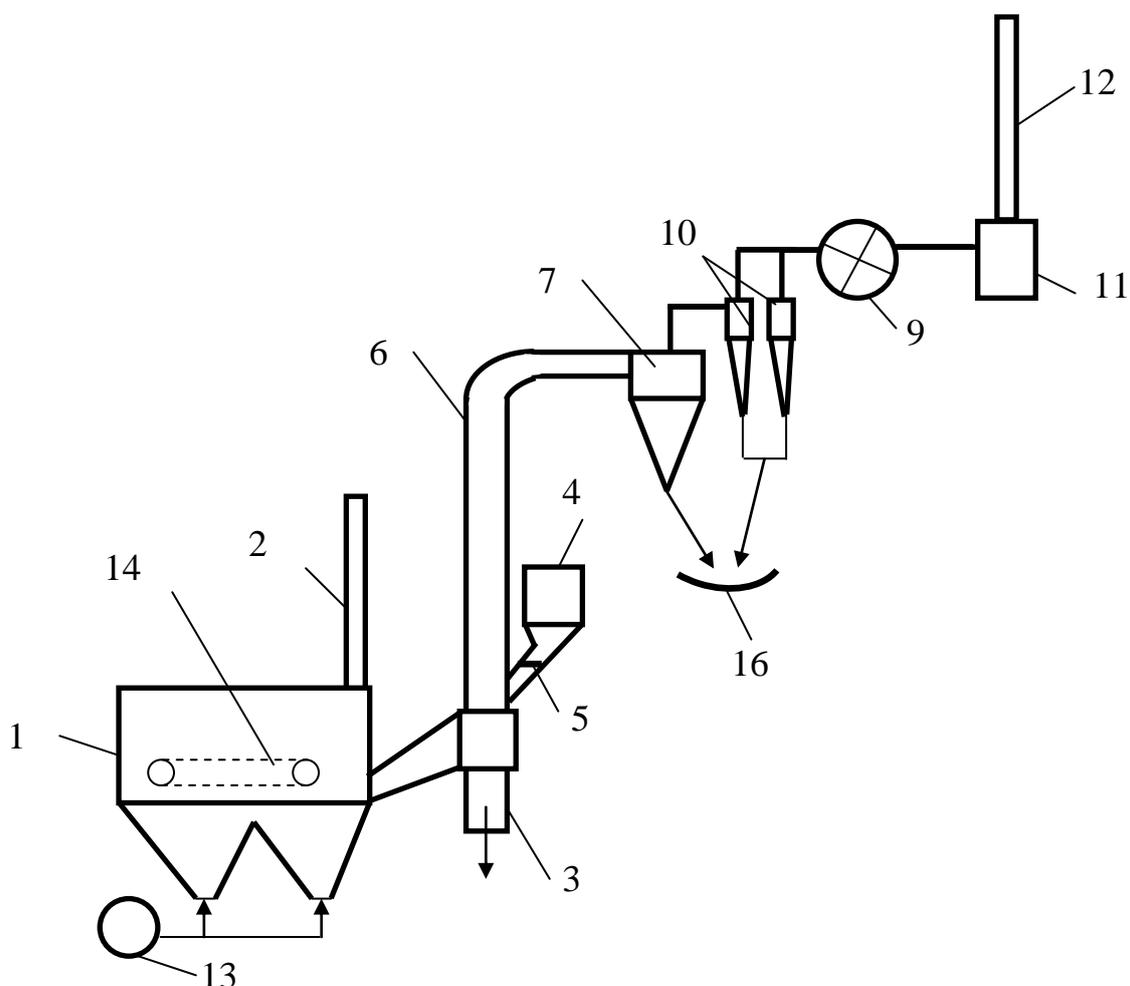
При работе трубы-сушилки необходимо избегать витания частиц. Для скорости газов следует соблюдать условие

$$v_{\Gamma} = (1,25-1,3) v_{\text{вит.}}$$

Скорость витания определяется из соотношения

$$v_{\text{вит.}} = 5,7 (d / \rho_{\text{газа}})^{1/2},$$

где d – диаметр максимального зерна, м; $\rho_{\text{газа}}$ – удельный вес газа.



1 – топка, 2 – растопочная труба, 3 – провал, 4 – бункер сырого угля, 5 – забрасыватель, 6 – труба-сушилка, 7 – разгрузочная камера, 9 – дымосос, 10 – батарейный циклон, 11 – мокрый пылеуловитель, 12 – дымовая труба, 13 – дутьевой вентилятор, 14 – пластинчатый конвейер, 16 – ленточный конвейер сухого угля

Рис. 14.5. Схема оборудования комплекса трубы-сушилки

Трубы-сушилки отличает простота устройства, малые капитальные затраты и незначительная занимаемая производственная площадь. Значительная интенсивность сушки (особенно на нижнем, разгонном участке трубы) и малое время пребывания частиц в аппарате позволяют использовать высокую начальную температуру сушильного агента (при сушке углей – до 1100°C) без опасности нежелательного ее воздействия на материал [33].

В качестве основного недостатка труб-сушилок обычно отмечается сравнительно высокий расход энергии на перемещение су-

шильного агента со скоростью, обеспечивающей устойчивый вертикальный транспорт всех фракций дисперсного материала. Процесс сушки длится несколько секунд, поэтому необходима точная регулировка оборудования.

Выпускаются трубы-сушилки с диаметром $D = 0,83-1,2$ м, высотой $H = 15-25$ м.

14.4 Сушилки кипящего слоя

Сушилки кипящего слоя нашли наибольшее применение в США, в отечественной практике используются на коксохимзаводах. Общая компоновка оборудования для сушки кипящего слоя представлена на рис. 14.6, а схема сушилки – на рис. 14.7.

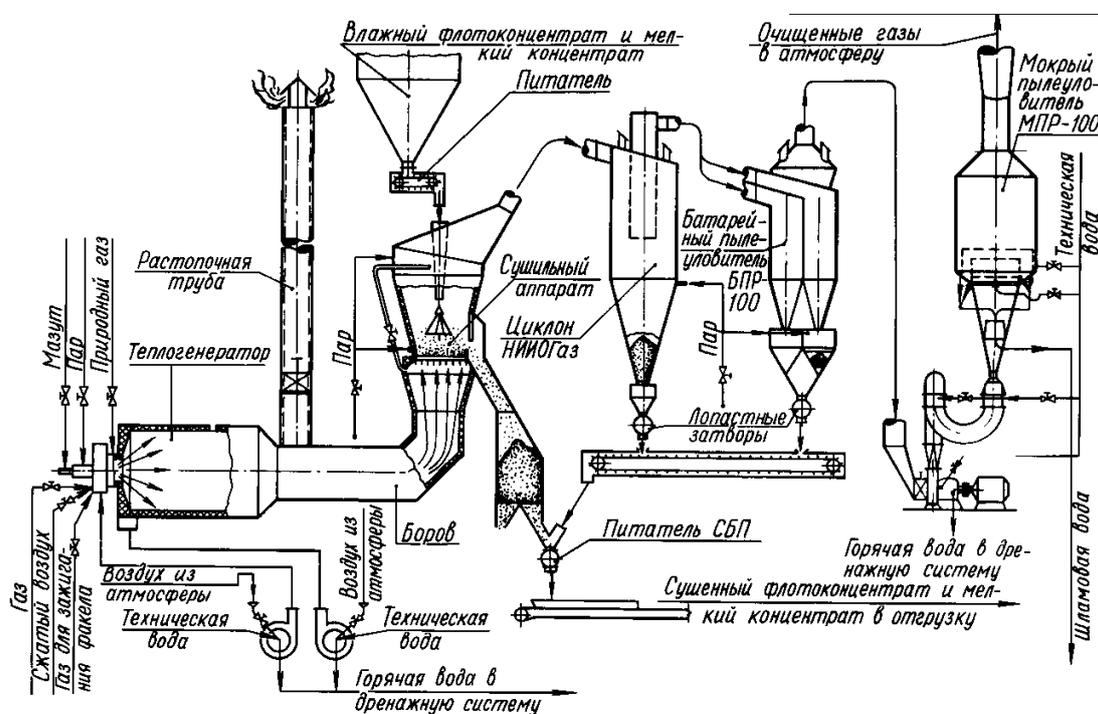
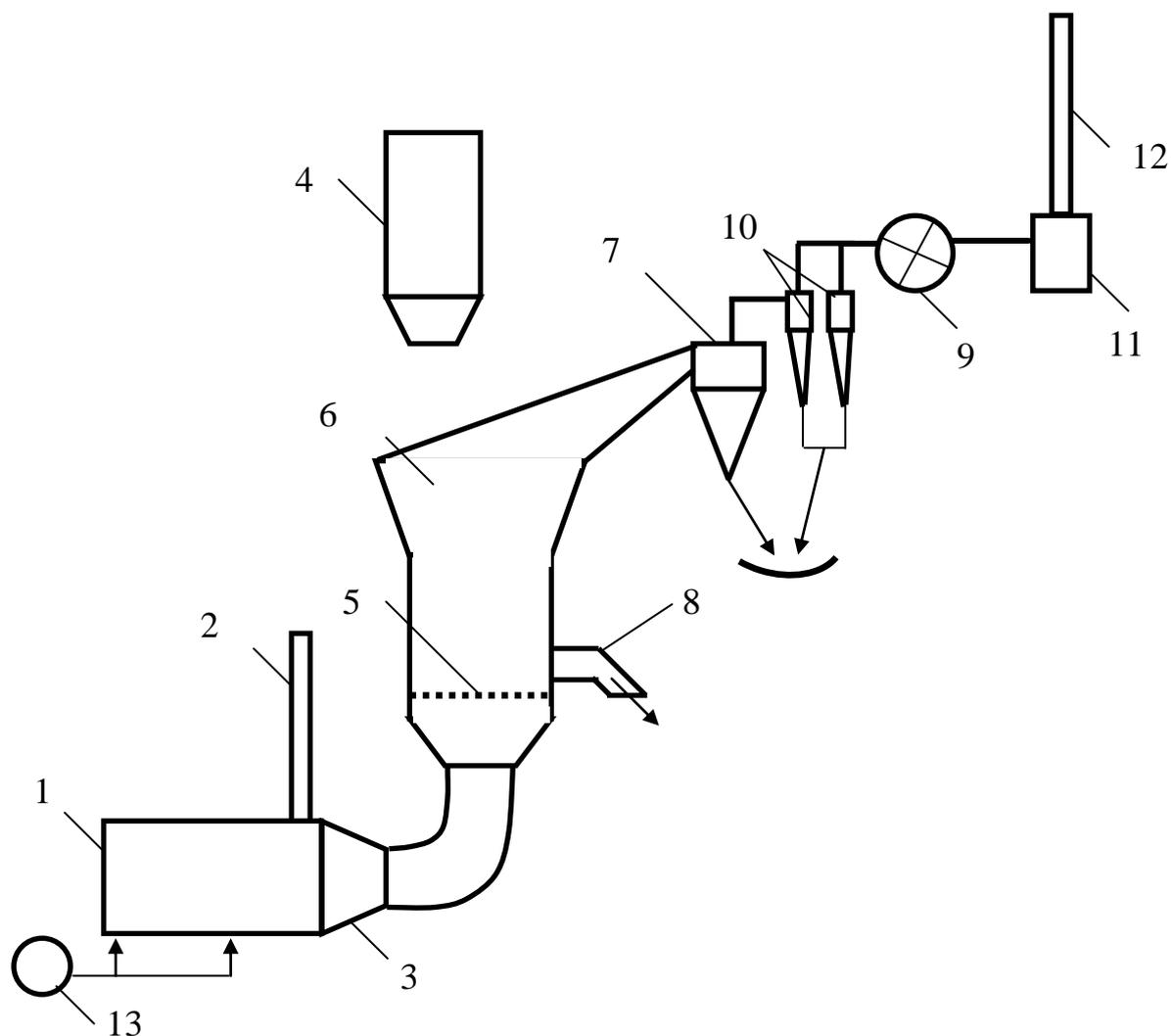


Рис. 14.6. Компоновка оборудования для комплекса сушки кипящего слоя

В топке сжигают газообразное или жидкое топливо, для горения подается воздух. Концентрат поступает сверху из бункера. Уголь на распределительной решетке продувается нагретым газом со скоростью, необходимой для создания кипящего слоя. Сушилка работает под разрежением или небольшим избыточным давлением (наиболее распространены).



1 – топка, 2 – растопочная труба, 3 – камера смешивания (боров),
 4 – бункер сырого угля, 5 – решетка, 6 – сушильная камера,
 7 – разгрузочная камера, 8 – разгрузочный желоб (порог),
 9 – дымосос, 10 – батарейный циклон, 11 – мокрый пылеуловитель,
 12 – дымовая труба, 13 – дутьевой вентилятор

Рис. 14.7. Схема комплекса сушки кипящего слоя

Образование кипящего (псевдооживленного) слоя происходит в несколько этапов:

1. При малых скоростях газа слой частиц на решетке неподвижен. Воздух проходит через каналы между частицами. Скорость газа меньше критической $v_{\Gamma} < v_{кр}$.

2. Скорость газов растет, частицы приходят в движение, но их перемещения еще незначительны – образуется переходный слой.

3. Скорость газов увеличивается еще больше и приближается к критической – частицы циркулируют в пределах слоя – «кипят».

4. Скорость газов превышает критическую и приближается к скорости витания частиц $v_{\Gamma} > v_{кр.}$, $v_{\Gamma} = v_{вит.}$. Интенсивность перемешивания материала снижается, слой переходит во взвешенное состояние, частицы перестают циркулировать и хаотически колеблются в небольшом объеме.

При $v_{\Gamma} > v_{вит.}$ может быть унос частиц с дымовыми газами.

Решетка сушилки представляет собой щелевидное сито с живым сечением 4-11%.

Наибольшее влияние на процесс оказывают гидравлическое сопротивление слоя и скорость псевдоожижения. Материал должен быть равномерным по крупности. Своевременной разгрузке высушенного материала способствует регулирование высоты порога разгрузочного желоба и сушильной камеры.

Унос материала и расход электроэнергии высоки, но сушилки кипящего слоя наиболее эффективны. Производительность – 60-200 т/ч.

Основные направления интенсификации процесса сушки:

1. Увеличение температуры и скорости сушильного агента.
2. Герметизация трактов сушилки и комплексная механизация процесса
3. Создание виброкипящего слоя материала механическим воздействием или пропусканьем газа.
4. Использование перегретого пара в качестве сушильного агента.

Вопросы для самоконтроля.

1. Опишите блок-схему сушильной установки.
2. Перечислите известные Вам способы сушки.
3. По каким признакам подразделяются барабанные сушилки?
4. Опишите схему работы барабанной сушилки.

5. Для чего в барабанной сушилке используются насадки?
Виды насадок.
6. Укажите достоинства и недостатки барабанных сушилок.
7. Опишите схему оборудования комплекса трубы-сушилки.
8. Опишите этапы образования псевдооживленного слоя в сушилке кипящего слоя?
9. Перечислите основные направления интенсификации процесса сушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чуянов, Г. Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды : учеб. для вузов / Г. Г. Чуянов. - Москва : Недра, 1987. - 260 с.
2. Руденко, К. Г. Обезвоживание и пылеулавливание : учеб. для вузов / К. Г. Руденко, М. М. Шемаханов. - Москва : Недра, 1981. - 350 с.
3. Проектирование углеобогачительных фабрик : учеб. пособие для вузов / И. И. Зозуля, Е. И. Назимко, Г. В. Самойлик, В. А. Смирнов. - Киев : УМК ВО, 1992. - 284 с.
4. Брук, О. Л. Фильтрование угольных суспензий / О. Л. Брук. - Москва : Недра, 1978. - 272 с.
5. Бейлин, М. И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей / М. И. Бейлин. - Москва : Недра, 1969. - 240 с.
6. Самойлик, В. Г. Вспомогательные процессы обогащения : учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / В. Г. Самойлик. - Донецк : ДОННТУ, 2018. - 238 с. : ил., табл.
7. Каталог оборудования ПАО «Бердичевский машиностроительный завод «Прогресс» [Электронный ресурс] // Прогресс : сайт. - Киев, 2019. - Режим доступа: <https://www.progress.ua/product/filters/>. - Загл. с экрана.
8. Каталог оборудования ANDRITZ SEPARATION [Электронный ресурс] // Andritz : сайт. - Электрон. дан. - Москва, 2013. - Режим доступа: <http://andritz-se.ru/portfolio/napornyye-diskovyye-filtryi-andritz-hbf>. - Загл. с экрана.
9. Каталог оборудования ООО «Гидротренд» [Электронный ресурс] // Гидротренд : сайт. - Электрон. дан. - Екатеринбург, 2018. - Режим доступа: <http://hydrotrend.ru/vakuum-filters/>. - Загл. с экрана.
10. Каталог оборудования ЗАО НПО «Комплектмаш» [Электронный ресурс] // Комплектмаш : сайт. - Электрон. дан. - Екатеринбург, 2013. - Режим доступа: <http://www.komplektmash.ru/15pro.php>. - Загл. с экрана.

11. Быстродействующие фильтр-прессы для обогащения угля: производительность и энергоэффективность [Электронный ресурс] // Searchbiznes : сайт. - Электрон. дан. - [Москва], 2014. - Режим доступа: <http://searchbiznes.ru/biznes/1523-bystrodejstvuyushhie-filtr-pressy-dlya-obogashheniya-uglya-proizvoditelnost-i-energoeffektivnost.html>. - Загл. с экрана.
12. Тимонин, А. С. Инженерно-экологический справочник / А. С. Тимонин. - Калуга : Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. - Т. 2. - 884 с.
13. Фильтр-пресс ленточный. ГК «Экополимер». [Электронный ресурс] // Екополимер : сайт. - Электрон. дан. - Харьков, 2019.- Режим доступа: <http://www.ecopolymer.kh.ua/products/lentochnye-fp/>. - Загл. с экрана.
14. ГОСТ 28314-89. Центрифуги для обезвоживания продуктов обогащения угля. Типы, основные параметры и технические требования [Электронный ресурс]. - Введ. 1991-01-01 // Кодекс : сайт. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург, 2019. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200021276>. - Загл. с экрана.
15. Профессиональное торговое промышленное и холодильное оборудование от производителя ПромТорг [Электронный ресурс] // Промторг : сайт. - Электрон. дан. - Киев, 2019. - Режим доступа: <http://promtorg.ua/>. - Загл. с экрана.
16. Каталог оборудования машиностроительного завода «Восток» [Электронный ресурс] // Восток : сайт. - Электрон. дан. - Шахты, 2019. - Режим доступа: <http://vostok-mz.com/catalog/tsentrifugi/>. - Загл. с экрана.
17. Продукция, выпускаемая НТЦ "Экомаш" и ООО "Техносинтез" [Электронный ресурс] // Ecomash : сайт. - Электрон. дан. - Харьков, 2019. - Режим доступа: <http://www.ecomass.com.ua/product.html>. - Загл. с экрана.
18. Назимко, Е. И. Совершенствование работы систем освещения оборотных вод углеобогатительных фабрик / Е. И. Назимко, Е. Е. Гарковенко. - Днепропетровск : НАНУ ИГТМ, 2000. - 174 с.
19. Козлов, В. А. Осадительно-фильтрующие центрифуги «Декантер» - техническая основа обезвоживания угольного шлама / В. А. Козлов, В. И. Новак // ГИАБ. - 2011. - № 7. - С. 229-237.

20. Башаров, М. М. Устройство и расчет гидроциклонов : учеб. пособие / М. М. Башаров, О. А. Сергеева ; под ред. А. Г. Лаптева. - Казань : Вестфалика, 2012. - 92 с.
21. Адамов, Э. В. Технология руд цветных металлов : учеб. для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по направлению металлургия / Э. В. Адамов. - Москва : Учеба, 2007. - 514 с. : ил., табл.
22. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов / Е. Е. Гарковенко, Е. И. Назимко, А. И. Самойлов, Ю. Л. Папушин. - Донецк : Норд-Пресс, 2002. - 266 с.
23. Фридман, С. Э. Обезвоживание продуктов обогащения / С. Э. Фридман, О. К. Щербаков, А. М. Комлев. - Москва : Недра, 1988. - 240 с.
24. Самойлик, В. Г. Специальные и комбинированные методы обогащения полезных ископаемых : учеб. пособие / В. Г. Самойлик. - Донецк : Сх. вид. дiм, 2015. - 164 с.
25. Фоменко, Т. Г. Рекомендации по водно-шламовому хозяйству углеобогачительных фабрик / Т. Г. Фоменко, В. С. Бутовецкий, Е. М. Погарцева. - Луганск : УкрНИИуглеобогащение, 1973. - 244 с.
26. Справочник по обогащению углей / под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина. - Москва : Недра, 1984. - 614 с.
27. Дерягин, Б. В. Вода в дисперсных системах / Б. В. Дерягин, Н. В. Чураев, Ф. Д. Овчаренко. - Москва : Химия, 1989. - 288 с.
28. Самойлик, В. Г. Пути совершенствования водношламовых схем углеобогачительных фабрик / В. Г. Самойлик, В. А. Шаманская // Современные машины и технологии обогащения полезных ископаемых : материалы конф., 26 апр. 2018 г., г. Донецк. - Донецк, 2018. - С. 51-55.
29. Каталог оборудования АО «Горные машины» [Электронный ресурс] // Горные машины : сайт. - Электрон. дан. - Красноярск, 2019. - Режим доступа: <https://zaogm.ru/catalog/obogatitelnoe-oborudovanie/sgustiteli>. - Загл. с экрана.

30. ВНТП 3-86. Нормы технологического проектирования углеобогачительных фабрик : утв. Минуглепром СССР 31 марта 1986 г. - Москва : Минуглепром СССР, 1986. - 176 с.
31. Бочков, Ю. Н. Тенденции совершенствования водно-шламовых схем углеобогачительных фабрик и глубокого обезвоживания флотоконцентрата / Ю. Н. Бочков, Б. Г. Заславский // Перспективные направления научных исследований по развитию обогащения углей. - Люберцы, 1990. - С. 124-128.
32. Загадка I-d диаграммы / А. Ю. Гусев [и др.] // Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК). - 2012. - № 6. - С. 92-96.
33. Гарбер, В. Условия безопасной работы термической сушки / В. Гарбер, В. Козлов, К. Кириллов // Уголь. - 2014. - № 5 (май). - С. 104-107.