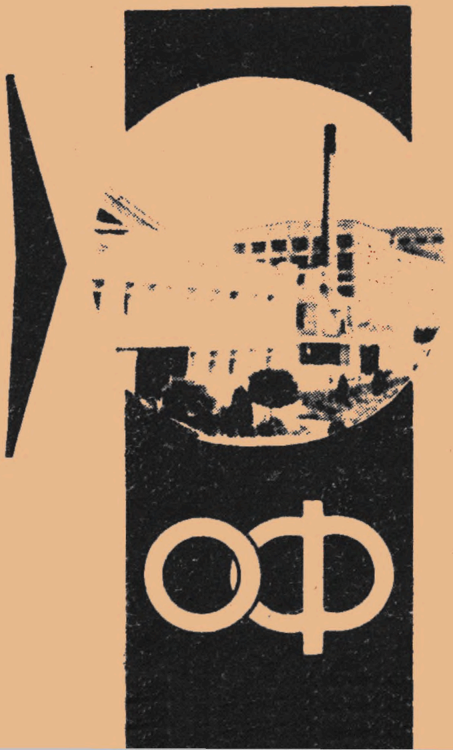


РЕКОМЕНДАЦИИ

Министерство
угольной промышленности
УССР



г.Ворошиловград,
1973 г

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УССР

Украинский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по обогащению и брикетированию углей

"УКРНИИУГЛЕОБОГАЩЕНИЕ"

РЕКОМЕНДАЦИИ

по водно-шламовому хозяйству углеобогатительных фабрик

Лаборатория обезвоживания и водно-шламового хозяйства

г. Ворошиловград
1973 г

В настоящем четвёртом издании изложены рекомендации института "УкрНИИуглеобогащение" по вопросам водно-шламового хозяйства, составленные по материалам работы углеобогатительных фабрик и исследований в этой области.

Рекомендации составили: Т. Г. Фоменко
В. С. Бутовецкий
Е. М. Погарцева

Редактор А. М. Коткин

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 5

Глава 1. Техническая вода, её загрязнение и свойства 6

Глава П. Шламы и их характеристика . . 17

Глава Ш. Флокуляция шламов 39

Глава 1У. Выделение шламов из угля . . 51

1. Отстойные классификаторы . . . 51
2. Центробежные классификаторы . . 65

Глава У. Сгущение шламов и осветление воды 68

Глава У1. Обезвоживание методом дрениро - вания 81

Глава УП. Обезвоживание шлама в центро- бежном поле 83

Глава УШ. Обезвоживание фильтрованием . 86

1. Обезвоживание концентрата флотации методом фильтрования 87

2. Предварительное сгущение флотацион- ного концентрата перед его фильтро- ванием 99

3. Фильтрование антрацитового шлама 103

4. Фильтровальные сетки 105

Стр.

Глава IX. Водно-шламовое хозяйство . 108

1. Схемы осветления воды . . . 109

2. Обоснование и выбор водно-шламовой схемы 113

3. Расчёт водно-шламовых схем . . 114

4. Сравнение различных вариантов схем 129

5. Рекомендуемые водно-шламовые схемы 135

6. Схемы обезвоживания и складирования хвостов флотации 138

Глава X. Определение показателей обезвоживания и классификации шламов 145

ВВЕДЕНИЕ

Обработка шламов (улавливание, сгущение и обезвоживание) в настоящее время является весьма важным звеном в технологических схемах углеобогатительных фабрик. От типа принятой водно-шламовой схемы и её совершенства, а также режима её эксплуатации во многом зависят потери топлива с отходами.

Увеличение выхода мелких и тонких классов в добываемых и поступающих на обогащение углях в значительной мере способствует обильному шламообразованию на фабриках.

В последние годы на углеобогатительных фабриках Донбасса и других бассейнов страны водно-шламовые схемы значительно усовершенствованы и упрощены.

Основываясь на практике эксплуатации фабрик, выполненных исследованиях, а также используя новые решения отдельных узлов схем, аппаратов и устройств, лабораторией обезвоживания и водно-шламового хозяйства института "УкрНИИуглеобогащение" были разработаны рекомендации и изданы в 1966, 1968 и 1969 годах.

Настоящее четвёртое издание рекомендаций значительно дополнено новыми достижениями в области улавливания, сгущения и обезвоживания шламов.

Рекомендации предназначаются для проектировщиков и работников фабрик, но они могут быть использованы и другими инженерно - техническими работниками, связанными в той или иной степени с вопросами обогащения углей.

В дальнейшем по мере поступления замечаний и пожеланий от работников фабрик, трестов, институтов и других заинтересованных организаций и лиц, а также накопления практических данных и результатов исследований эти рекомендации будут уточняться и дополняться.

Глава 1. ТЕХНИЧЕСКАЯ ВОДА, ЕЁ ЗАГРЯЗНЕНИЕ И СВОЙСТВА

На углеобогатительных фабриках для уменьшения расхода воды предусматривается её циркуляция. В связи с этим вода загрязняется шламом, насыщается солями и благодаря этому изменяет свои свойства.

Плотность. Плотность химически чистой воды в зависимости от температуры характеризуется следующими данными:

Температура, ^{o}К	Плотность, г/см^{3}
277	1,0
280	0,99997
283	0,99973
288	0,99913
293	0,99823
303	0,99567
323	0,98807

Плотность технической воды, используемой фабриками, вследствие содержания в ней солей несколько отличается от плотности химически чистой воды, но все же близка к ней и условно считается равной 1,0г/см^{3} при температуре 277 – 289°К. Плотность воды, загрязнённой шламом, в зависимости от его содержания и плотности характеризуется данными табл. 1.

Вязкость. Значения динамической вязкости химически чистой воды в зависимости от температуры приведены в табл. 2.

Динамическая вязкость технической воды, в которой растворены соли, повышается незначительно.

Таблица 1

Плотность пульпы в зависимости от содержания твёрдого и его плотности

Содержание твёрдого в воде, г/л	Плотность пульпы (г/см^3) при плотности твёрдого, г/см^3								
	1,35	1,40	1,45	1,50	1,55	1,60	2,20	2,30	2,40
50	1,012	1,014	1,016	1,018	1,019	1,021	1,042	1,046	1,050
100	1,025	1,029	1,033	1,036	1,040	1,044	1,087	1,094	1,102
200	1,049	1,055	1,063	1,070	1,077	1,084	1,168	1,182	1,196
300	1,075	1,086	1,097	1,108	1,118	1,129	1,258	1,279	1,301
400	1,100	1,114	1,128	1,142	1,156	1,171	1,342	1,370	1,398
500	1,125	1,143	1,161	1,179	1,197	1,214	1,429	1,465	1,501
600	1,150	1,172	1,194	1,215	1,237	1,258	1,516	1,559	1,602

Таблица 2

Вязкость воды в зависимости от температуры

Температура, ^{o}K	Динамическая вязкость, н. сек/ $м^2$	Температура, ^{o}K	Динамическая вязкость, н.сек/ $м^2$
278	0,0015180	313	0,0006536
283	0,0013097	318	0,0005970
288	0,0011447	323	0,0005492
293	0,0010087	333	0,0004699
298	0,0008949	343	0,0004571
303	0,0008004	353	0,0003570
308	0,0007208	363	0,0003166

Вода, содержащая шлам, приобретает новые свойства, отличные от свойств технической воды.

При оценке вязкостных свойств воды, загрязненной шламом, нужно учитывать не только содержание твёрдого, но и всю сложность взаимодействия между частицами твёрдого и между твёрдой и жидкой фазами. Поэтому применяемый к циркуляционной воде термин "вязкость" является несколько условным и не отвечает понятию вязкостных свойств, присущих загрязнённым шламом водам.

Для выражения вязкостных свойств загрязнённой воды существует специальный термин "эффективная вязкость".

Фактические данные эффективной вязкости разных шламовых пульп при температуре 288°К приведены в табл. 3.

Установлено, что изменение эффективной вязкости загрязнённой шламом воды резко увеличивается при крупности частиц шлама размером менее 35 – 45 мкм (рис. 1). При размерах частиц шлама более 35 – 45 мкм эффективная вязкость загрязнённой шламом воды практически мало отличается от динамической вязкости технической воды.

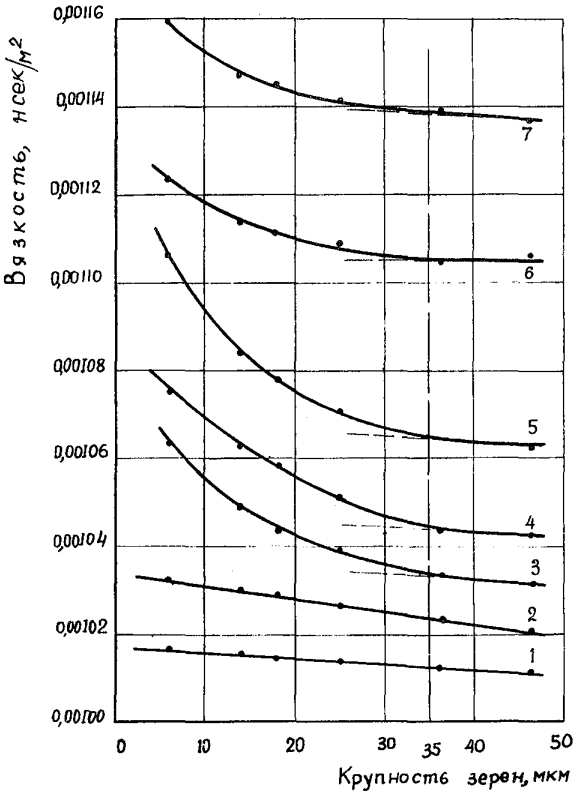


Рис. 1. Эффективная вязкость пульпы в зависимости от крупности шлама при содержании твёрдого, г/л: 1 – 10, 2 – 25, 3 – 50, 4 – 75, 5 – 100, 6 – 150, 7 – 200

Таблица 3

Вязкость пульп в зависимости от дисперсности твёрдого и его содержания

Содержание твёрдого в пульпе, г/л	Вязкость пульпы (н.сек/м^2) при крупности твёрдого, мкм			
	менее 1000	менее 256	менее 75	менее 45
0	0,001140	0,001140	0,001140	0,001140
100	0,001208	0,001204	0,001208	0,001211
200	0,001275	0,001280	0,001308	0,001295
300	0,001321	0,001339	0,001428	0,001429
400	0,001434	0,001458	0,001607	0,001613
500	0,001614	0,001720	0,001955	0,002114
600	0,001704	0,002477	0,002955	0,003396

Эффективная вязкость воды, загрязнённой шламом, определяется по формуле

$$\mu_{эф} = \mu_{в} (1 + AC), \text{ н.сек/м}^2, \quad (1)$$

где $\mu_{в}$ – динамическая вязкость воды, н.сек/м^2;

A – коэффициент, определяемый в зависимости от объёмного содержания шлама крупностью менее 45 мкм в долях единицы по кривой рис. 2;

C – объёмное содержание шлама крупностью менее 45 мкм, равное

$$C = \frac{G}{\delta};$$

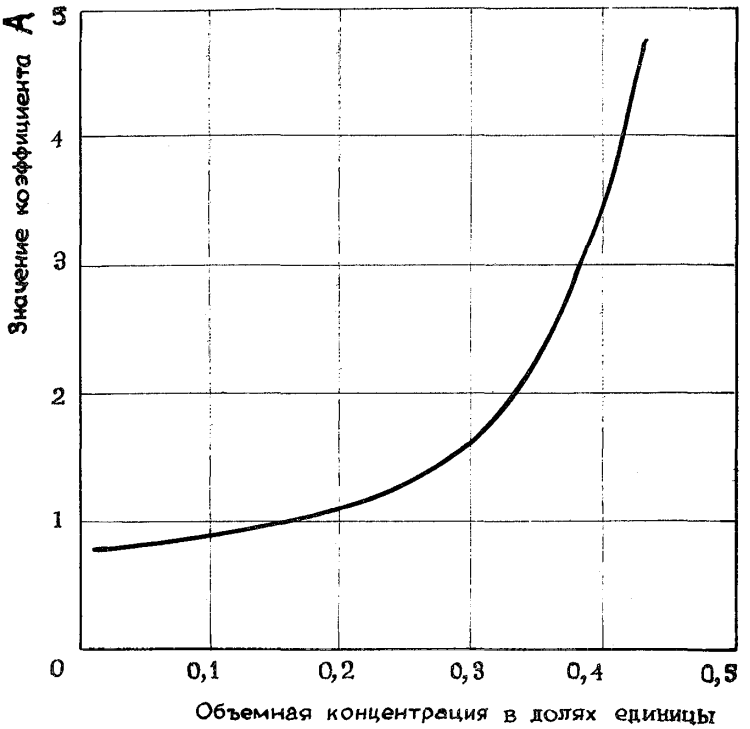


Рис. 2. Зависимость коэффициента А от объёмной концентрации шлама крупностью менее 45 мкм

G – содержание частиц крупностью менее 45 мкм в 1 $м^3$ пульпы, кг/$м^3$;

δ – плотность твёрдого, кг/$м^3$.

Если содержание шлама крупностью менее 45 мкм в циркуляционной воде фабрики равно 60 г/л при плотности 1400 кг/$м^3$, то объёмное содержание в долях единицы составит

$$C = \frac{6 \cdot 1000}{1000 \cdot 1400} = 0{,}043.$$

По кривой рис. 1 находим значение А, равное в данном случае 0,83.

Тогда эффективная вязкость циркуляционной воды при температуре 288°К будет равна

$$\mu_{эф} = 0{,}00114 \ (1 + 0{,}83 \cdot 0{,}043) = 0{,}001181 \text{ н.сек/м}^2.$$

Допустимое содержание твёрдого в циркуляционной воде

С увеличением эффективной вязкости среды возрастает сопротивление падающему телу, вследствие чего снижается эффективность ряда технологических процессов (отсадка, обезвоживание).

Как установлено исследованиями и практикой работы, для обеспечения нормального ведения технологических процессов содержание твёрдого в циркуляционной воде должно быть:

при глинистых шламах – не более 50 г/л

при малоглинистых шламах – не более 80 г/л.

При этих содержаниях показатели обогащения практически не изменяются. С увеличением содержания твёрдого в воде вязкость среды повышается, а показатели обогащения (зольность и глубина) ухудшаются (табл. 4).

Таблица 4

Эффективность процесса отсадки в зависимости от степени загрязнения воды

Продукты	Зольность (%) при содержании твёрдого в циркуляционной воде, г/л	
	200-250	20
Крупный уголь:		
питание	37,30	40,26
концентрат	6,00	5,22
Мелкий уголь:		
питание	15,44	18,97
концентрат	7,58	6,29

Глубина обогащения при этом составила:

при содержании твёрдого 200-250 г/л — 1 мм

при содержании твёрдого 20 г/л — 0,4-0,5 мм

Загрязнённая циркуляционная вода оказывает отрицательное влияние и на процесс обезвоживания (табл. 5).

Таблица 5

Влажность шлама в зависимости от содержания твёрдого в циркуляционной воде

Содержание твёрдого, г/л	Питание грохотов		Обезвоженный шлам	
	Содержание твёрдого, г/л	Зольность, %	Влажность, %	Зольность, %
1	2	3	4	5
165	365	13,24	30,70	9,22

1	2	3	4	5
180	416	14,22	31,00	10,08
190	464	16,29	31,80	13,80
200	400	13.80	33,50	10,31
350	460	13,13	35,10	10,57

В заключение следует отметить, что изменение свойств среды от увеличения содержания твёрдого в ней свыше 50г/л для сильноглинистых и 80г/л для слабоглинистых шламов весьма отрицательно влияет на эффективность таких процессов, как обогащение, сгущение, осветление вод и обезвоживание продуктов обогащения.

Солевой состав воды

Техническая вода, применяемая в качестве среды на углеобогатительных фабриках, всегда содержит некоторое количество растворенных солей. Но её химическое загрязнение происходит и на фабриках за счёт выщелачивания некоторых минеральных компонентов, содержащихся в обогащаемом материале.

В технической воде, поступающей на фабрики, содержатся катионы Na^+, K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Fe^{++} и анионы HCO_3^-, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{--}. Если используются шахтные воды, то в них могут содержаться J^-, Br^- и т.д. Кроме того, в воде содержатся растворимые газы CO_2, O_2, H_2 и N_2. Встречается иногда аммиак, и при наличии серного колчедана может образоваться серная кислота.

О степени химического загрязнения воды можно судить по её жесткости, концентрации водородных ионов. (pH) и

электропроводности. Общая минерализация циркуляционной воды зависит от содержания твёрдого и времени контакта угля с водой.

Солевой состав циркуляционной воды девяти углеобогатительных фабрик Донбасса показан в табл. 6. Приведенные данные показывают, что солевой состав циркуляционных вод фабрик, обогащающих донецкие угли, весьма разнообразен.

Электропроводность технической и циркуляционной воды на 14 фабриках Украины характеризуется данными табл. 7.

Таблица 7

Электропроводность воды

Наименование фабрики	Электропроводность воды в микросименсах	
	технической	циркуляционной
Михайловская	4354	5614
Белореченская	4102	5245
Славяносербская	2667	3333
Черкасская	2949	3787
Октябрьская	1684	2133
Куйбышевская	3595	4637
Суходольская	1684	2286
Дуванская	2286	3721
Кадиевская	1495	3216
Криворожская	2667	3200
Брянковская	3200	4051
Знамя коммунизма	2133	2286
Краснолучская	2581	2711
ОФ. Днепропетровского КХЗ	405	2287

Таблица 6

Солевой состав циркуляционной воды

pH	Сухой остаток, мг/л	Жесткость общая, мг/экв	Ионный состав, мг/л					
			K^+ Na^+	Ca^{++}	Mg^{++}	Cl^-	SO_4^{--}	HCO_3^-
7,5	4051	29,0	716,9	334,7	149,9	314,6	2376,0	109,8
7,5	3338	26,5	577,8	260,5	163,9	352,0	1824,0	231,0
7,5	3470	25,5	638,5	276,5	142,0	324,9	1888,0	292,0
7,5	3100	26,0	544,4	284,0	131,0	444,5	1640,0	183,0
7,3	1638	15,0	269,7	188,4	69,1	215,4	869,0	122,0
7,4	2036	7,5	538,0	108,2	46,8	294,8	937,7	189,1
7,4	2518	11,0	636,9	144,3	46,3	304,3	1247,9	225,7
7,4	3352	32,0	377,1	368,7	169,0	444,5	1614,7	146,4
7,3	2042	12,5	416,0	136,3	69,4	352,2	793,2	256,2

Ранее считалось, что допустимая электропроводность не должна превышать 2500 микросименсов, так как высокая электропроводность вызывает коррозию стальных конструкций. Однако последние исследования института "УкрНИИуглеобогащение" показали, что увеличение минерализации циркуляционной воды на фабриках практически мало изменяет её коррозионную активность. Поэтому использование сильно минерализованных сульфатных шахтных вод на углеобогатительных фабриках вполне допустимо.

При замыкании водного цикла на фабрике в циркуляционной воде устанавливается динамическое равновесие солей в количестве 3000-6000 г/м^3. Соли в таком количестве улучшают процесс осветления загрязненных вод.

Глава П. ШЛАМЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Шлам

В практике обогащения углей обычно шламом называют продукт, получаемый в результате мокрого обогащения, крупность которого не превышает 1 мм. Этот верхний предел крупности шлама сохранился в практике обогащения со времени, когда не применялась флотация, и до сих пор ошибочно принимается при оценке процессов и даже при проектировании фабрик.

Между тем технологической границей, определяющей верхний предел крупности шламов, является граница эффективного обогащения угля методом отсадки и флотации. Этот размер, как показывает практика работы углеобогатительных фабрик, равен 0,5 мм. В силу этого к шламу нужно относить частицы угля, крупность которых менее 0,5 мм.

В связи с тем, что изменение эффективной вязкости загрязнённой шламом воды резко увеличивается при крупности частиц менее 35 мкм, шлам углеобогатительных фабрик следует делить на два следующих вида:

зернистый, размером более 35 мкм, который относительно легко обогащается, улавливается и обезвоживается и

тонкий, размером менее 35 мкм, который весьма труден для обработки, вызывает резкое увеличение эффективной вязкости пульпы и затрудняет ведение таких процессов, как обогащение, обезвоживание, осаждение и фильтрование.

На углеобогатительных фабриках шлам находится в необогащенном виде (рядовой), в обогащенном (флотационный концентрат, концентрат гидроциклонов и концентрационных столов) и в виде хвостов (флотации, гидроциклонов и концентрационных столов).

Состав шламов в разных узлах технологической схемы различен. В рекомендациях приведены данные, относящиеся к рядовому углю, необогащенному шламу и шламу конечному, т. е. находящемуся в конечных продуктах обогащения, включая и шлам сбросовых вод.

Ситовый состав различных шламов характеризуется следующими фактическими данными:

Крупность, мм	Пределы колебания выходов, %	Среднее значение выходов, %
	Необогащенный шлам коксующихся углей	
+1	0 - 9,35	217
0,5 - 1	2,1 - 14,20	10,30
0,25 - 0,5	3,5 - 34,10	11,94
0,125 - 0,25	4,0 - 20,00	10,43
0,045 - 0,125	4,1 - 19,50	11,95
- 0,045	31,2 - 79,50	53,21
	Необогащенный антрацитовый шлам	
+3	0 - 25,80	6,01
1 - 3	4,0 - 30,00	18,01
0,5 - 1,0	6,5 - 15,00	10,56

0,25 – 0,5	7,0 – 22,00	15,00
0,125 – 0,25	6,6 – 19,00	14,09
0,045 – 0,125	4,0 – 15,00	7,18
– 0,045	6,0 – 61,70	29,15

Концентрат флотационный

+ 1	0 – 6,5	2,00
0,5 – 1	0,2 – 33,0	10,00
0,25 – 0,5	0,5 – 37,6	17,42
0,125 – 0,25	0,21 – 27,3	14,08
0,045 – 0,125	0,6 – 46,6	19,35
– 0,045	25,5 – 72,4	37,15

Хвосты флотации

+ 1	0 – 1,5	0,42
0,5 – 1	0,5 – 7,0	2,84
0,25 – 0,5	1,0 – 9,0	4,66
0,125 – 0,25	1,0 – 10,0	5,32
0,045 – 0,125	2,0 – 12,0	6,64
– 0,045	67,0 – 90,0	80,12

Средний размер частиц различных шламов составляет:

необогащенный шлам коксующихся углей – 0,196 мм;

необогащенный антрацитовый шлам – 0,782 мм;

концентрат флотационный – 0,222 мм;

хвосты флотации – 0,079 мм.

Минералогический состав различных шламов характеризуется следующими данными:

Наименование минералов	Пределы колебаний содержания, %	Среднее содержание,%
	Необогащенный шлам коксующихся углей	
Пирит	4,3 - 8,4	5,55
Карбонаты	0,9 - 5,6	2,12
Глинистое вещество	3,7 - 21,6	15,42
Кварц	0 - 0,9	0,61
Органическая масса	64,4 - 84,5	76,30
	Необогащенный антрацитовый шлам	
Пирит	1,1 - 7,5	3,48
Карбонаты	1,7 - 8,8	4,21
Глинистое вещество	8,0 - 39,5	20,90
Кварц	0,5 - 3,6	2,01
Органическая масса	51,9 - 80,5	69,40
	Концентрат флотационный	
Пирит	2,7 - 8,0	5,62
Карбонаты	0,5 - 4,5	1,61
Глинистое вещество	0,48 - 9,3	2,90
Кварц	0 - 0,5	0,25
Органическая масса	85,5 - 92,0	89,62
	Хвосты флотации	
Пирит	1,0 - 6,0	4,42
Карбонаты	1,1 - 6,2	4,33

Глинистое вещество	61,3 - 92,0	73,80
Органическая масса	8,1 - 17,4	13,45

Шлам, удерживаемый концентратом. Количество шлама, удерживаемого неополаскиваемым концентратом, показано в табл. 8.

Таблица 8

Количество шлама, увлекаемого концентратом

Содержание твёрдого в воде, г/л	Содержание шлама в концентрате (%) при крупности в мкм		
	менее 256	менее 90	менее 60
	Концентрат крупностью 12 - 80 мм		
20	0,186	0,180	0,164
50	0,402	0,370	0,400
100	0,581	0,610	0,764
200	1,006	1,560	1,604
300	2,270	2,620	2,309
400	3,960	3,470	3,370
500	5,140	4,003	6,310
	Концентрат крупностью 0,5 - 12 мм		
20	0,390	0,370	0,360
50	0,705	0,520	0,793
100	1,560	1,430	1,510
200	2,660	2,360	2,770
300	3,780	3,790	4,780
400	5,780	5,896	7,110
500	8,520	8,320	11,560

Количество уносимого концентратом шлама при содержании твёрдого в воде до 100 г/л - для крупного концентрата и до 50 г/л - для мелкого концентрата в общем невелико. При большем содержании твёрдого в воде количество уносимого шлама, особенно тонкого, резко возрастает.

На углеобогатительных фабриках процент фактического уноса шлама крупностью менее 0,5 мм с продуктами обогащения в зависимости от степени загрязнения воды составляет от 2 до 10%.

Увеличение зольности неотмытого концентрата за счёт наличия в нём шлама характеризуется данными табл. 9.

Таблица 9

Увеличение зольности концентрата за счёт шлама

Содержание твёрдого в воде, г/л	Зольность концентрата (%) при его крупности, мм	
	12-80	0,5-12
0	7,50	7,50
20	7,52	7,55
50	7,55	7,60
100	7,59	7,73
200	7,65	7,89
300	7,83	8,06
400	8,08	8,35
500	8,26	8,76

Эти данные показывают, что при загрязнённой воде на фабрике ополаскивание концентрата при его обезвоживании является необходимой операцией. При относительно чистой воде (не более 50-80 г/л) зольность концентрата повышается незначительно, менее чем на 0,1%.

Распределение шлама крупностью менее 0,5 мм по про-

дуктам обогащения на углеобогатительных фабриках характеризуется данными, приведенными в табл. 10.

Таблица 10

Содержание шлама крупностью менее 0,5 мм в продуктах обогащения

Продукты	Выход шлама к рядовому, %	Зольность, %	Содержание в шламе, %		Отношение горючей массы к негорючей
			горючей массы	негорючей массы	
1	2	3	4	5	6
ЦОФ "Кураховская", марка Г (содержание твёрдого в воде 45 - 150 г/л)					
В концентрате (+13 мм)	0,270	27,05	72,95	27,05	1 : 2,65
В отсеве и шламе	9,960	24,10	75,9	24,10	1 : 3,15
В породе (+13 мм)	0,008	64,45	35,55	64,45	1 : 0,6
Всего	10,240	24,21	75,79	24,21	1 : 3,13
В рядовом угле	8,74	23,20	76,80	23,20	1: 3,31
Дополнительно образовалось шлама	1,50	30,10	69,90	30,10	1 : 2,33
ЦОФ "Добропольская", марка Г (до внедрения флотации) (содержание твёрдого в воде 280 - 300 г/л)					
В концентрате	6,15	21,05	78,95	21,05	1 : 3,70
В породе	0,80	55,42	44,58	55,42	1 : 0,82
В сбросе	3,44	52,00	48,00	52,00	1 : 0,92
Всего	10,39	33,40	66,60	33,40	1 : 1,90

1	2	3	4	5	6
В рядовом угле	6,60	32,70	67,30	32,70	1 : 2,05
Дополнительно образовалось шлама	3,79	36,11	63,89	36,11	1 : 1,80
ЦОФ "Краснолиманская", марка Г (содержание твёрдого в воде 140 г/л)					
В концентрате	1,12	32,16	67,84	32,16	1 : 2,1
Во флотоконцентрате	6,40	14,65	85,35	14,65	1 : 5,8
В хвостах флотации	2,25	72,25	27,75	72,25	1 : 0,39
В промпродукте и шламе	1,35	42,62	57,38	42,62	1 : 1,35
В породе	0,41	60,86	39,14	60,86	1 : 0,64
В сбросе	1,00	51,25	48,75	51,25	1 : 0,96
Всего	13,13	33,37	66,63	33,37	1 : 1,90
В рядовом угле	5,50	32,00	68,00	32,00	1 : 2,12
Дополнительно образовалось шлама	7,63	36,13	63,87	36,13	1 : 1,77
ЦОФ "Калининская", марка Г (угли шахты "Першотравнева", содержание твёрдого в воде 48 г/л)					
В общем концентрате	8,77	7,84	92,16	7,84	1 : 11,7
В промпродукте	0,18	59,77	40,23	59,77	1 : 0,73
Во флотохвостах	3,60	71,30	28,70	71,30	1 : 0,406

1	2	3	4	5	6
В породе	0,83	66,00	34,00	66,00	1:0,51
Всего	13,38	29,22	70,78	29,22	1:2,42
В рядовом угле	5,3	29,47	70,53	29,47	1:2,4
Дополнительно образовалось шлама	8,08	29,08	70,92	29,08	1:2,44
ЦОФ "Калининская", марка Г (угли шахты "Терновская", содержание твёрдого в воде 40г/л)					
В концентрате	1,22	20,45	79,55	20,45	1:3,88
Во флотоконцентрате	6,66	8,17	91,83	8,17	1:11,35
Во флотохвостах	5,19	48,72	51,28	48,72	1:1,05
В промпродукте	0,13	61,70	38,30	61,70	1;0,625
В породе	0,19	78,50	21,50	78,50	1:0,27
Всего	13,39	26,45	73,55	26,45	1:2,77
В рядовом угле	5,97	22,15	77,85	22,15	1:3,52
Дополнительно образовалось шлама	7,42	30,04	69,96	30,04	1:2,33
ЦОФ "Красноармейская , марка Г (содержание твёрдого в воде 40г/л)					
В концентрате	0,33	12,91	87,09	12,91	1:7,25
Во флотоконцентрате	13,63	20,38	79,62	20,38	1:3,91
В шламе	1,00	23,40	76,60	23,40	1:3,34
Во флотохвостах	4,52	63,29	36,71	63,29	1:0,575

1	2	3	4	5	6
В породе	0,49	75,64	24,36	75,64	1:0,325
Всего	19,97	31,40	68,60	31,40	1:2,17
В рядовом угле	15,00	39,20	60,80	39,20	1:1,55
Дополнительно образовалось шлама	4,97	8,16	91,84	8,16	1:11,14
ЦОФ "Новопавловская", марка А (содержание твёрдого в воде 200-250 г/л)					
В концентрате (+6 мм)	1,05	24,08	75,92	24,08	1:3,20
В шламе	1,41	32,60	67,40	32,60	1;2,07
В штыбе	13,73	27,20	72,80	27,20	1:2,68
В породе (+6 мм)	0,03	44,27	55,73	44,27	1:2,0
Всего	16,22	27,41	72,59	27,41	1:2,42
В рядовом угле	13,29	26,00	74,00	26,00	1:2,85
Дополнительно образовалось шлама	2,93	34,30	65,70	34,30	1:1,93
ЦОФ "Чумаковская", марка ОС (содержание твёрдого в воде 300 г/л)					
В концентрате	11,55	8,84	91,16	8,84	1:10,35
Во флотоконцентрате	15,59	8,97	91,03	8,97	1:10,1
Во флотохвостах	2,07	60,66	39,34	60,66	1:0,64
В промпродукте	0,55	33,60	66,40	33,60	1:2,05
В шламе	0,51	14,40	85,60	14,40	1:6,3

1	2	3	4	5	6
В породе	0,55	29,80	70,20	29,80	1:2,44
Всего	30,82	13,35	86,65	13,35	1,6,54
В рядовом угле	20,65	11,49	88,51	11,49	1:7,72
Дополнительно образовалось шлама	10,17	16,96	83,04	16,96	1,4,9
ЦСФ "Чумаковская", марка ОС (содержание твёрдого в воде 90г/л)					
В концентрате	5,20	12,05	87,95	12,05	1:7,25
Во флотоконцентрате	22,28	8,13	91,87	8,13	1:11,3
В промпродукте	0,38	29,20	70,80	29,20	1:2,42
Во флотохвостах	2,06	65,76	34,24	65,76	1:0,524
В породе	0,04	41,90	58,10	41,90	1:1,35
Всего	29,96	13,10	86,90	13,10	1:6,65
В рядовом угле	21,07	14,45	85,55	14,45	1:5,92
Дополнительно образовалось шлама	8,89	9,85	90,15	9,85	1:9,17
ЦОФ "Горловская", марка Ж (содержание твёрдого в воде 200г/л)					
В концентрате	14,34	12,15	87.85	12,15	1:7,25
Во флотоконцентрате	12,10	9,10	90,90	9,10	1:10
В промпродукте	2,26	52,82	47,18	52,82	1:0,9
Во флотохвостах	4,20	59,90	40,10	59,90	1:0,667

1	2	3	4	5	6
В породе	1,66	63,30	36,70	63,30	1:0,58
Всего	34,56	21,98	78,02	21,98	1:3,55
В рядовом угле	17,30	18,41	81,59	18,41	1:4,45
Дополнительно образовалось шлама	17,26	25,50	74,50	25,50	1:2,91
ЦОФ "Криворожская", марка К (содержание твёрдого в воде 60г/л)					
В концентрате	8,92	6,08	93,92	6,08	1,15,5
Во флотоконцентрате	20,17	9,55	90,45	9,55	1:9,45
Во флотохвостах	4,20	73,50	26,50	73,50	1:0,36
В породе	0,69	52,10	47,90	52,10	1:0,916
Всего	33,98	17,40	82,60	17,40	1:4,75
В рядовом угле	20,27	11,10	88,90	11,10	1:8,0
Дополнительно образовалось шлама	13,71	26,66	73,34	26,66	1:8,02
ЦОФ "Брянковская", марка К (содержание твёрдого в воде 40г/л)					
В концентрате	9,82	8,15	91,85	8,15	1:11,3
Во флотоконцентрате	25,34	8,27	91,73	8,27	1:11,05
Во флотохвостах	4,45	75,97	24,03	75,97	1:0,317
В породе	0,22	59,15	40,85	59,15	1:0,692
Всего	39,83	16,05	83,95	16,05	1:5,22
В рядовом угле	25,70	19,76	80,24	19,76	1:4,06

1	2	3	4	5	6
Дополнительно образовалось шлама	14,13	9,37	90,63	9,37	1:9,62
ЦОФ "Калининская", марка К (содержание твёрдого в воде 40г/л)					
В концентрате	5,43	9,35	90,65	9,35	1:9,65
Во флотоконцентрате	24,58	7,42	92,58	7,42	1:12,5
В промпродукте	0,71	55,00	45,00	55,00	1:0,82
Во флотохвостах	2,85	74,40	25,60	74,40	1:0,345
В породе	0,56	61,00	39,00	61,00	1:0,64
Всего	34,13	15,20	84,80	15,20	1:5,57
В рядовом угле	20,20	17,70	82,30	17,70	1:4,65
Дополнительно образовалось шлама	13,93	11,48	88,52	11,48	1:7,70
ОФ Запорожского КХЗ, шихта (содержание твёрдого в воде 250г/л)					
В концентрате	20,30	10,53	89,47	10,53	1:8,50
В промпродукте	0,80	55,88	44,12	55,88	1:0,78
В породе	0,35	54,00	46,00	54,00	1:0,844
Во флотохвостах	3,48	59,90	40,10	59,90	1:0,675
Всего	24,93	19,50	80,50	19,50	1:4,12
В рядовом угле	16,70	18,26	81,74	18,26	1:4,48
Дополнительно образовалось шлама	8,23	22,00	78,00	22,00	1:3,54

Данные табл. 10 показывают, что количество вновь образовавшегося в процессе обогащения шлама различно для углей разных марок. Различными являются и источники образования шлама. Для некоторых углей это преимущественно порода (марки Г, Д), для отдельных механически малопрочных углей – уголь.

Если, например, требуется обогатить 1000 т угля марки К, то дополнительно в процессе обогащения образуется 14% шлама или

$$1000 \cdot 0{,}14 = 140 \text{ т}.$$

Горючей массы в этом шламе будет

$$\frac{140 \cdot 12{,}25}{14} = 122{,}5 \text{ т},$$

негорючей – 17,5 т.

Плотность. Для определения плотности единицы объёма шламов применяется несколько понятий:

плотность – масса единицы объёма шлама, сплошного (монолитного), без пор;

объёмная плотность – масса единицы объёма шлама в его натуральном виде, т. е. в виде сплошного куска, но с присущими ему порами;

насыпная плотность – масса единицы объёма свежеосыпанного, слежавшегося, уплотнённого шлама.

Плотность органической массы шламов (угольного вещества) колеблется от 1200 до 1500 кг/м^3, а минеральной массы (породы) – от 2000 до 2700 кг/м^3.

Плотность различных шламов коксующихся углей приведена в табл. 11.

Насыпная плотность шламов коксующихся углей в зависимости от их влажности и уплотнения приведена в табл. 12.

С повышением влажности концентрата флотации более 2% величина насыпной плотности резко уменьшается, достигая минимального значения при влажности шлама 12%, а

Таблица 11

Зависимость плотности от крупности и зольности

Размер частиц, мм	Зольность, %	Плотность, кг/м³
Необогащенный шлам		
+ 1	3,38	1334
0,5 - 1	3,39	1345
0,25 - 0,5	4,70	1350
0,10 - 0,25	9,72	1420
0,045 - 0,1	16,55	1535
- 0,045	40,23	1830
	18,97	1551
Концентрат флотационный		
+ 1	3,08	1333
0,5 - 1	3,11	1342
0,25 - 0,5	4,31	1345
0,10 - 0,25	6,60	1375
0,045 - 0,10	6,98	1399
- 0,045	17,42	1515
	8,32	1385
Хвосты флотации		
+ 1	18,00	1455
0,5 - 1	31,12	1559
0,25 - 0,5	34,90	1724

0,10 - 0,25	62,70	2128
0,045 - 0,10	66,30	2268
- 0,045	78,80	2382
	74,83	2329

Таблица 12

Насыпная плотность шламов в зависимости от их влажности

Влажность, %	Насыпная плотность шлама, кг/м³			
	В пересчёте на сухой		С учётом влаги	
	Свеженасыпанного	Уплотнённого	Свеженасыпанного	Уплотнённого
	Концентрат флотации			
Сухой	667	870	667	870
4,76	500	667	524	699
12,04	354	606	397	679
23,07	444	860	546	1058
35,48	666	877	902	1188
	Хвосты флотации			
Сухие	833	1053	833	1053
4,76	759	945	795	990
12,04	550	851	622	962
23,07	553	1206	680	1484
35,48	832	1560	1127	2113
	Необогащенный шлам			
Сухой	693	899	693	899
4,76	541	711	567	744

12,04	385	646	430	724
23,07	461	913	567	1127
35,48	693	990	936	1335

затем с увеличением влажности снова возрастает. Это явление характерно как для свеженасыпанного и уплотненного материала с учётом влаги, так и для пересчитанного на сухой продукт. То же самое наблюдается для хвостов флотации и необогащенного шлама. Для хвостов флотации минимальное значение насыпной плотности соответствует влажности 14%.

Пористость. Средние данные пористости (объём пустот) приведены в табл. 13.

Таблица 13

Пористость шламов в зависимости от их влажности

Влажность, %	Пористость шлама	
	свеженасыпанного	уплотнённого
	Концентрат флотации	
Сухой	0,496	0,372
4,76	0,638	0,518
12,04	0,745	0,562
23,07	0,680	0,378
35,48	0,520	0,367
	Хвосты флотации	
Сухие	0,644	0,550
4,76	0,675	0,595
12,04	0,765	0,635
23,07	0,764	0,484
35,48	0,644	0,330

	Необогащенный шлам	
Сухой	0,553	0,420
4,76	0,650	0,540
12,04	0,752	0,583
23,07	0,703	0,410
35,48	0,552	0,361

Угол естественного откоса отвалов шламов и их форма в зависимости от влажности материала приведены в табл. 14.

Таблица 14

Угол естественного откоса отвалов

Влажность, %	Угол откоса отвалов, градусы	Форма конуса
	Концентрат флотации	
Воздушно - сухой	40	Правильная
2,77	40	-"-
7,89	50	-"-
14,63	40	-"-
23,19	20	Нарушена
35,18	15	Материал растекается
	Хвосты флотации	
Воздушно - сухие	40	Правильная
2,77	40	-"-
10,25	40	-"-
20,45	30	Нарушена

31,37	22	Сильно нарушена
42,85	20	Материал слабо растекается
52,05	10	Материал сильно растекается

Допустимая влажность концентрата флотации при складировании его в конусы (отвалы) не должна превышать 24%. Дальнейшее повышение влажности приводит к растеканию материала, что вызывает дополнительные трудности при складировании и хранении в конусах и штабелях.

Хвосты флотации теряют форму конуса только при влажности 31%. Если влажность превышает 42%, хвосты флотации растекаются. Поэтому площадки для складирования слишком влажных шламов должны иметь ограничительные борты.

Количество частиц в 1г шлама приведено в табл. 15.

Таблица 15

Количество частиц шлама и их выход

Крупность частиц, мкм	Выход по весу, %	Зольность, %	К-во частиц в 1г шлама, шт	Выход по количеству частиц, %
Необогащенный шлам углей марки Г				
+1000	0,85	19,64	1940	0,00000003
410-1000	6,79	24,31	12740	0,00000160
256-410	12,05	24,66	56480	0,00001260
165-256	9,95	25,17	226630	0,00004170
90-165	13,46	28,47	699840	0,00017440
45-90	5,16	31,74	40555600	0,00386067
-45	51,74	56,05	1045000000	99,99590900
Итого	100,00	41,76	-	100,00

Необогащенный шлам углей марки К

+1000	0,30	4,48	1550	0,000005
410-1000	2,10	3,40	9950	0,000223
256-410	3,00	5,02	84320	0,002700
165-256	3,08	5,05	344460	0,011290
90-165	11,11	5,42	1603700	0,189162
45-90	8,67	5,91	4000000	0,368900
-45	71,74	22,61	130000000	99,427700
Итого	100,00	17,72	-	100,00

Хвосты флотации углей марки К

+1000	0,22	5,68	960	-
410-1000	0,86	10,16	9772	-
256-410	1,44	23,01	45205	-
165-256	1,85	45.84	204987	-
90-165	5,67	66,77	811000	-
45-90	5,54	71,62	2540000	-
-45	84,42	80,80	Разбухшая гелеобразная масса	-
Итого	100,00	77,24	-	-

Толщина водных плёнок, образующихся на частицах шлама, зависит от их крупности и свойств поверхности. Начало образования плёнок на частицах соответствует моменту, когда прекращается интенсивное истечение воды из материала и начинается капёж (табл. 16).

Скорости свободного и стеснённого падения частиц угольного шлама плотностью 1350-1400 кг/м^3 и антрацитового шлама плотностью 1550-1600 кг/м^3 в воде приведены в табл. 17 и 18.

Таблица 16

Толщина плёнок воды на частицах шлама

Крупность частиц, мм	Толщина плёнок, мм			
	Концентрат флотации		Хвосты флотации	
	В начале образования	В начале исчезновения	В начале образования	В начале исчезновения
0,5–1	0,13	0,004	0,11	0,004
0,25–0,5	0,065	0,002	0,04	0,002
0,10–0,25	0,04	<0,002	0,017	<0,002
0,045–0,10	0,013	–	0,008	–
–0,045	0,008	–	<0,008	–

Таблица 17

Скорость падения частиц угольного шлама

Крупность частиц, мм	Скорость падения (см/сек) в условиях	
	свободных	стеснённых
1	2	3
1,46	4,48	1,47
0,95	3,17	1,20
0,79	2,64	0,90
0,42	1,53	0,47
0,32	1,15	0,38
0,27	0,95	0,30
0,23	0,83	0,23

1	2	3
0,18	0,74	0,20
0,13	0,35	0,11
0,09	0,21	0,04
0,07	0,14	0,03
0,05	0,11	0,022
0,04	0,064	-
0,03	0,035	-
0,02	0,017	-
0,0148	0,009	-
0,01	0,0058	-

Таблица 18

Скорость падения частиц антрацитового шлама

Крупность частиц, мм	Скорость падения (см/сек) в условиях	
	свободных	стеснённых
1,64	5,17	2,60
0,88	3,70	1,28
0,85	3,56	1,23
0,42	2,29	0,70
0,32	1,75	0,51
0,27	1,43	0,47
0,23	1,14	0,30
0,18	0,98	0,24

1	2	3
0,13	0,52	0,13
0,09	0,31	0,08
0,07	0,18	0,04
0,05	0,13	0,03

Как показывают данные табл. 17 и 18, скорости падения частиц шлама в стесненных условиях меньше скоростей падения в свободных условиях примерно в 3 раза для частиц крупнее 0,1 – 0,15 мм и в 4 раза для более тонких частиц.

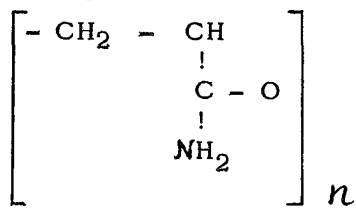
Глава Ш. ФЛОКУЛЯЦИЯ ШЛАМОВ

Для очистки загрязненных вод наряду с механическими средствами на фабриках широко применяются физико-химические методы, т. е. флокуляция шламов. Такое совмещение двух направлений позволило решить проблему осветления воды.

В качестве флокулянтов в нашей стране наибольшее распространение получили гидролизованный и негидролизованный полиакриламид, метас.

Негидролизованный полиакриламид – это синтетическое высокомолекулярное соединение, водный раствор которого представляет собой коллоид, обладающий сильным флокулирующим действием.

Формула полиакриламида имеет следующий вид:



Полиакриламид получают омылением нитрила акриловой кислоты 85%-й серной кислотой и полимеризацией акриламида в присутствии катализаторов.

Степень полимеризации полиакриламида, выпускаемого заводами СССР, колеблется от $2{,}56 \cdot 10^4$ до $9{,}3 \cdot 10^5$, а молекулярная масса от $1{,}8 \cdot 10^6$ до $66 \cdot 10^6$.

Выпускается полиакриламид в виде густого прозрачного желеобразного продукта 8%-й концентрации, плотность которого равна 1030 - 1040 кг/м^3.

Сухой полиакриламид представляет собой порошок, разлагающийся при нагревании выше 473°К. Он не ядовит и хорошо растворяется при интенсивной циркуляции с водой в течение 30 минут.

На углеобогатительных фабриках полиакриламид применяется в виде водного раствора 0,1 - 0,15%-й концентрации. Более концентрированные растворы нежелательны, так как при этом возможны случаи неполного его растворения и снижения активности.

В табл. 19 приведен расчёт дозировки 8%-го полиакриламида при приготовлении различного количества раствора заданной концентрации.

Таблица 19

Расчёт приготовления растворов полиакриламида

Объём приготовляемого раствора, м^3	Необходимое количество 8%-го полиакриламида в кг для приготовления раствора концентрации, %	
	0,1	0,15
1	2	3
0,5	6,25	9,38
1,0	12,50	18,70
1,5	18,75	28,70
2,0	25,00	37,40
2,5	31,25	46,80

1	2	3
3,0	37,50	56,25
4,0	50,00	75,00
5,0	62,50	93,75
6,0	75,00	112,50

Для расчёта необходимого количества исходного полиакриламида при приготовлении его растворов различной концентрации можно пользоваться следующей формулой:

$$G = \frac{1000\ V\ C_p}{C_{исх}}, \text{ кг},$$

где V – объём требуемого водного раствора полиакриламида, м³ (т);

C_p – концентрация требуемого (рабочего) раствора, %;

$C_{исх}$ – концентрация исходного (товарного) полиакриламида, равная 8%–й или близкая к ней.

Если, например, необходимо приготовить 5,5 м³ водного раствора полиакриламида с концентрацией 0,1%, то для этой цели потребуется следующее количество 8%–го полиакриламида:

$$G = \frac{1000 \cdot 5,5 \cdot 0,1}{8,0} = 68,75 \text{ кг}.$$

Схема установки для приготовления раствора полиакриламида показана на рис. 3. Раствор насосом подается в бачок тангенциально, что создаёт вращение жидкости, способствующее более интенсивному растворению полиакриламида. Объём одновременно приготовленного раствора должен быть таким, чтобы обеспечивалась суточная потребность в нём.

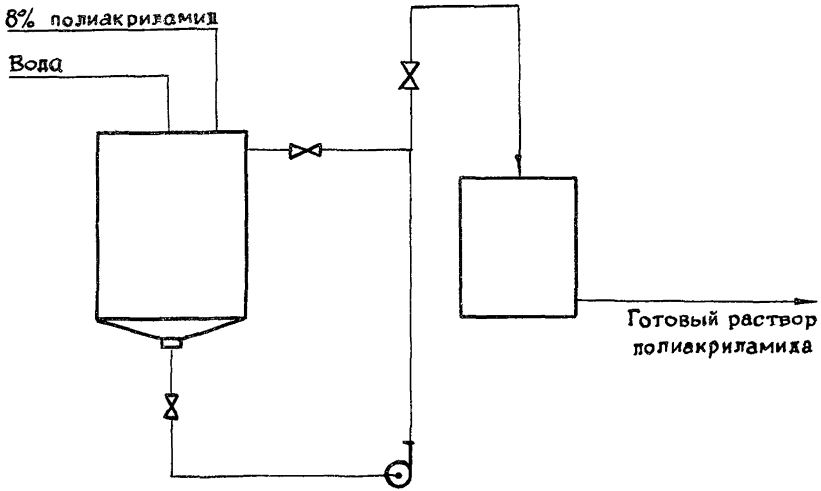


Рис. 3. Схема установки для приготовления раствора полиакриламида

Полиакриламид применяется для осветления вод хвостов флотации, циркуляционных вод, фугатов и флокуляции флотоконцентрата.

Расход полиакриламида в пересчёте на 100% составляет:

при осветлении циркуляционной воды, г/т твёрдого	10 - 15
при флокуляции флотационного концентрата, г/т твёрдого	15 - 20
при осветлении вод хвостов флотации, г/т твёрдого	40 - 60

Большое значение имеет точка ввода раствора полиакриламида в пульпу. При осветлении вод (хвостов флотации, циркуляционной воды, фугатов) в радиальных сгустителях раствор лучше всего вводить в питающий желоб или трубу на расстоянии 2-2,5 м от приёмного стакана. При подаче на вакуум-фильтры - в коллектор на расстоянии 1-1,5 м от его разветвления. Схема расположения точек подачи раствора полиакриламида показана на рис. 4.

Полиакриламид эффективно действует в довольно широком диапазоне показателя pH среды. Однако с изменением pH среды его действие также несколько изменяется. Скорость осаждения твёрдого наибольшая при показателе pH в пределах 4,5-8. В более кислой среде, как и в более щелочной, скорость осаждения шлама снижается.

Наиболее компактные флокулы образуются в среде с pH равным 5-7.

На углеобогатительных фабриках Донбасса водная среда, в которой происходит обогащение, имеет нейтральную или близкую к ней реакцию, что благоприятно влияет на процесс флокуляции шламов.

Установлено, что осветление циркуляционных вод и особенно вод хвостов флотации происходит значительно эффективнее в присутствии минеральных солей, накапливающихся в процессе обогащения углей, чем в менее минерализованных водах.

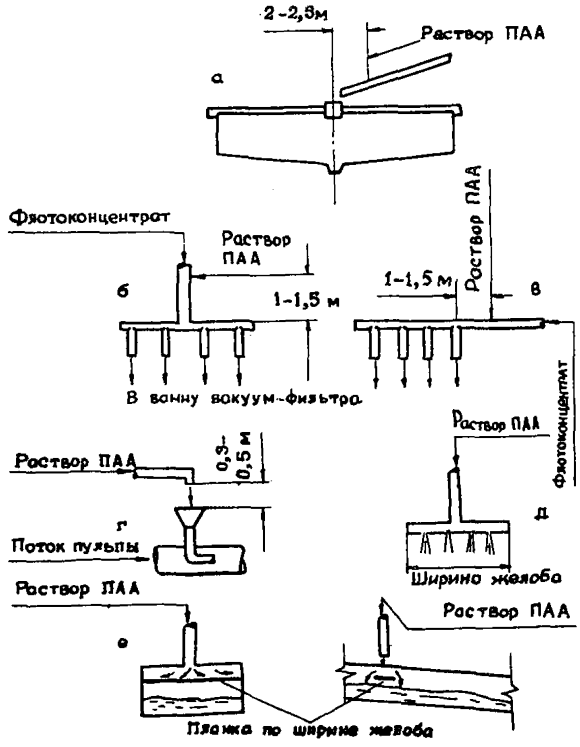


Рис. 4. Схема подачи раствора полиакриламида

Осветление циркуляционных вод полиакриламидом особенно эффективно протекает при содержании минеральных солей до 2000 г/м^3, а вод хвостов флотации - при 3000--6000 г/м^3.

Большое влияние на образование флокул оказывает крупность частиц шлама. Установлено, что угольные частицы размером более 0,25 мм не образуют флокул, а более мелкие - хорошо флокулируются. При флокуляции твёрдой фазы хвостов флотации хорошо флокулируются частицы размером менее 0,1 мм, образуя плотные флокулы.

На скорость осаждения как сфлокулированных, так и несфлокулированных шламов влияет температура среды, что видно из данных табл. 20.

Таблица 20

Влияние температуры среды на скорость осаждения шлама

Температура среды, °К	Скорость осаждения шлама, мм/сек			
	Хвосты флотации		Рядовой шлам	
	Без полиакриламида	С полиакриламидом	Без полиакриламида	С полиакриламидом
278	0,054	2,799	0,137	1,94
283	0,055	3,070	0,155	2,07
288	0,059	3,180	0,195	2,33
293	0,088	3,230	0,251	3,35

Степень разрушения флокул при механическом воздействии на них выяснялась на шламах крупностью менее 90мкм. Перемешивание пульпы производилось в лабораторной мешалке.

Если скорость осаждения флокул угольного шлама 0,360 мм/сек, то при перемешивании пульпы в течение 5 минут она уменьшается до скорости осаждения несфлокулированных частиц, т. е. до 0,182 мм/сек. Это значит, что все флокулы практически разрушены.

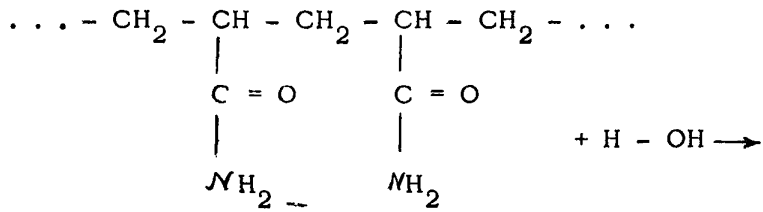
Для хвостов флотации скорость осаждения с увеличением времени перемешивания тоже уменьшается (до 0,18 мм/сек), но она все же выше скорости осаждения несфлокулированных частиц шлама, равной в данном случае 0,158 мм/сек. Оставшиеся после интенсивного механического воздействия флокулы весьма прочны и состоят из наиболее тонких и зольных частиц.

Гидролизованный полиакриламид более интенсивно адсорбируется на поверхности твёрдых частиц шлама и вследствие этого почти полностью реализуется, что значительно сокращает его расход. Поэтому на углеобогатительных фабриках в последнее время полиакриламид стали подвергать дополнительной гидролизации.

В процессе полимеризации акриламида происходит его частичный гидролиз. Количество гидролизованных молекул при этом составляет примерно 8%.

Способ растворения полиакриламида, сопровождаемый более глубоким гидролизом, обеспечивающим доведение количества гидролизованных молекул до 35%, осуществляется в промышленных условиях на многих углеобогатительных фабриках и состоит в следующем: на 26 частей 8%-го полиакриламида, растворенного в подогретой воде, добавляют одну часть 100%-й щелочи $NaOH$ и всё это перемешивают в течение получаса. Приготовленный раствор выстаивается 16 - 24 часа при температуре 320 - 350°К, создаваемой подводимым паром. Гидролизованный раствор разбавляется до 0,05%-й концентрации и является годным для употребления.

Схематично гидролиз полиакриламида протекает следующим образом:



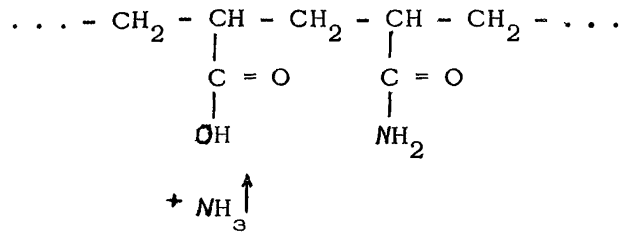


Схема установки для приготовления раствора гидролизованного полиакриламида описанным выше способом показана на рис. 5.

Установка включает бак, в котором происходит гидролизация, и бак готового раствора. В бак гидролизации, одновременно являющийся мешалкой, загружается 8%-й полиакриламид из расчёта обеспечения работы фабрики в течение 20 часов, щелочь (NaOH) в количестве 3,85 кг на 100 кг 8%-го полиакриламида и вода из расчёта концентрации раствора полиакриламида, равной 0,05%. При таком большом разбавлении гидролизация происходит весьма эффективно, но в этом случае необходимы большие ёмкости. Поэтому часто гидролизацию осуществляют при концентрации раствора 0,5% с последующим десятикратным разбавлением водой до 0,05%.

Расход гидролизованного полиакриламида в пересчёте на 100% рекомендуется следующий:

при осветлении вод хвостов флотации, г/т твёрдого	15 - 25
при осветлении циркуляционных вод, г/т твёрдого	4 - 6
при флокуляции флотационного концентрата, г/т твёрдого	6 - 8

Метас представляет собой анионоактивное полимерное соединение, синтезированное на основе метакриловой кислоты, и выпускается в виде гранул. Применяется он в виде водного раствора 0,05%-й концентрации.

По данным института ИОТТ растворение метаса производится в две стадии: сначала получают более концентри-

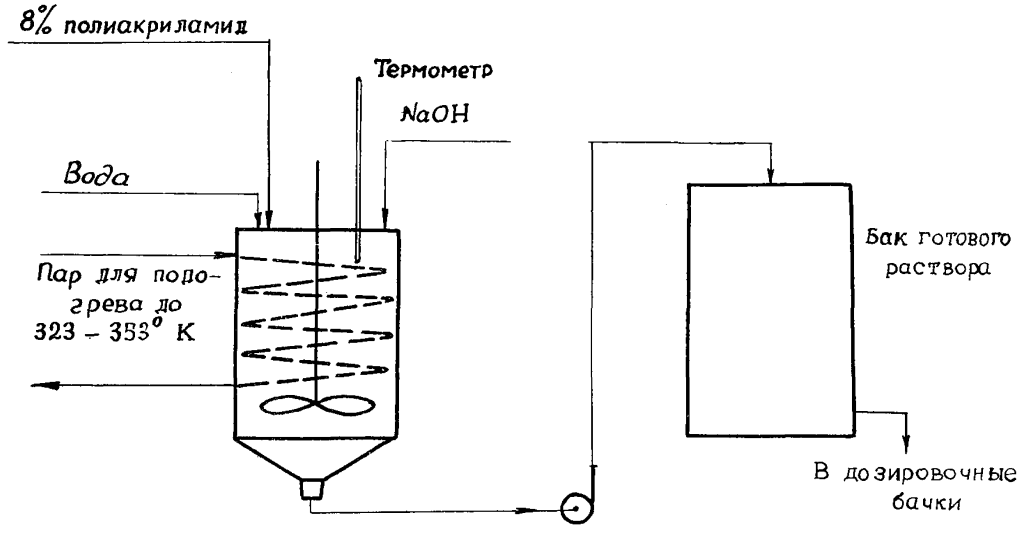


Рис. 5. Схема установки для приготовления раствора гидролизованного полиакриламида

рованный раствор (1-3%), а затем его разбавляют до концентрации 0,05%. На первой стадии растворения к метасу рекомендуется добавлять щелочь ($NaOH$) из расчёта 32 кг на 100 кг сухого (100%-го) полимера. Перемешивание гранул метаса производится до полного их растворения в течение 3-4 часов. Разбавление раствора до 0,05%-й концентрации также сопровождается перемешиванием в течение 0,5 часа.

Расход метаса в среднем составляет 0,5 г/м^3 пульпы, или, при содержании твёрдой фазы в хвостах флотации 30г/л, - 17г/т твёрдого.

Сравнительная эффективность различных флокулянтов при осветлении вод хвостов флотации характеризуется следующими экспериментальными данными:

Полиокс	2,60
Гидролизованный полиакриламид	2,60
Седипур TF	2,60
РПАА-548М	2,58
Сепаран АР 30	2,56
Седипур Т-1	2,50
РПАА-583М	2,43
Седипур TF-7	2,20
Седипур TF	2,10
Седипур TF-2	1,90
Магнафлок Р-155	1,80
Полифлок 100Х	1,64
Сепаран АР-273	1,50
Магнафлок 155	1,33
4% РАА	1,10
Сепаран 2610	1,00
Полиакриламид	1,00
Метас	1,00
Комета	0,93
Седозан	0,92
Полифлок 4Д	0,80
Полифлок 8Н	0,68
Полифлок РХ	0,56
Седипур	0,52
Гипан	0,50
Седипур-1	0,45
НХ-19	0,42
ВА-2	0,41
Тилоза $NaКЦМ$	0,40
Трагафлок	0,36

КОЖК	0,35	Юзерсульфат	0,014
Праестоль 2700 и 2850	0,27	Мучные смётки	0,014
Седомакс	0,26	Сернокислое железо	0,0106
ДТ-120	0,17	Крахмал технический	0,0052
МХДД	0,14	Сернокислый алюминий	0,004
Флокгель	0,08	Хлористое железо	0,002
Карбоксилметилцеллюлоза	0,06	Едкий натрий	0,002
Мезга М-42	0,03	Известь	0,0007
Паудафлок	0,02		
Ламинария	0,02		

Относительная эффективность флокулянтов, применяемых для флокуляции флотационного концентрата, определялась по удельной производительности вакуум-фильтра и характеризуется следующими данными:

Праестоль 2850	1,85
Седипур ТФ	1,15
Седипур ТФ-7	1,00
Полиакриламид (негидролизованный)	1,00

Значения сравнительной эффективности примерно показывают, во сколько раз больше или меньше расход флокулянта по сравнению с негидролизованным полиакриламидом, эффективность которого принята равной единице.

Глава 1У. ВЫДЕЛЕНИЕ ШЛАМОВ ИЗ УГЛЯ

Для улучшения технологии обогащения углей в схемах фабрик используются различного рода гидравлические классификаторы, выделяющие мелочь из отдельных классов угля.

Процесс гидравлической классификации осуществляется в аппаратах и устройствах, которые по способу разгрузки крупнозернистой части материала делятся на классификаторы с механической разгрузкой (скребковые, элеваторные, центробежно-шнековые) и с разгрузкой самотёком (пирамидальные, конические, гидроциклоны).

По принципу действия гидравлические классификаторы делятся на отстойные, процесс разделения в которых осуществляется благодаря действию гравитационных сил (пирамидальные, конические, скребковые, элеваторные), центробежные, в которых действуют центробежные силы (центробежно-шнековые, гидроциклоны), противоточные с использованием восходящего потока и центробежно-ситовые с использованием сит для разделения (дуговые и конические сита).

1. Отстойные классификаторы

К ним относятся пирамидальные отстойники, отстойные классификаторы с механической выгрузкой осевшего материала и багер-зумпфы.

Пирамидальные классификаторы представляют собой ряд железобетонных ёмкостей с пирамидальными днищами и патрубками с кранами для выпуска осевшего материала.

Пирамидальные классификаторы применяются в первой стадии водно-шламовых схем для выделения из шламовых вод крупнозернистого шлама.

Исследованиями и практикой установлено, что пирамидальные классификаторы наиболее эффективно работают, когда нет никаких перегородок ни между ячейками, ни

внутри них, но есть сливной порог в конце классификатора. Скорость горизонтального потока в этом случае (при одинаковой нагрузке) значительно меньше, чем при наличии перегородок. В таком прямоточном классификаторе, в силу малых скоростей потоков и весьма слабых возмущений жидкости, гидродинамический режим наиболее благоприятный для разделения материала по крупности.

Нормально работающий пирамидальный классификатор должен обеспечивать полное отсутствие в сливе зерен размером более 1 мм, а содержание зёрен размером более 0,5 мм не должно превышать 10%. При граничном размере зерна, равном 0,3 мм, и содержании твёрдого в питании 50 г /л удельная нагрузка не должна превышать 15 $м^3/м^2.ч$, при содержании твёрдого в питании 200 г/т – 8 $м^3/м^2.ч$, при 250 г/л – 7 $м^3/м^2.ч$.

На рис. 6 представлены кривые, которые позволяют определять необходимую нагрузку на пирамидальный классификатор в зависимости от содержания твёрдого в питании и требуемого размера граничного зерна разделения.

Предположим, что на пирамидальный классификатор поступает 2500 $м^3/ч$ пульпы с содержанием твёрдого 130 г/л. Требуется расклассифицировать материал по зерну 0,3 мм[x].

По кривой (рис. 6) находим, что при содержании твёрдого в питании 130 г/л удельная нагрузка на классификатор может быть принята равной 10 $м^3/м^2.ч$.

Тогда необходимая площадь классификатора будет

$$2500 : 10 = 250\ м^2.$$

Далее определяем содержание твёрдого в сливе при его содержании в питании 130 г/л и удельной нагрузке 10 $м^3/м^2.ч$ площади. В данном случае оно равно 107 г/л.

Из практики работы пирамидальных классификаторов известно, что при содержании твёрдого в питании не более

---

x) Под граничным размером понимается размер таких зёрен, извлечение которых в продукты равно 50%.

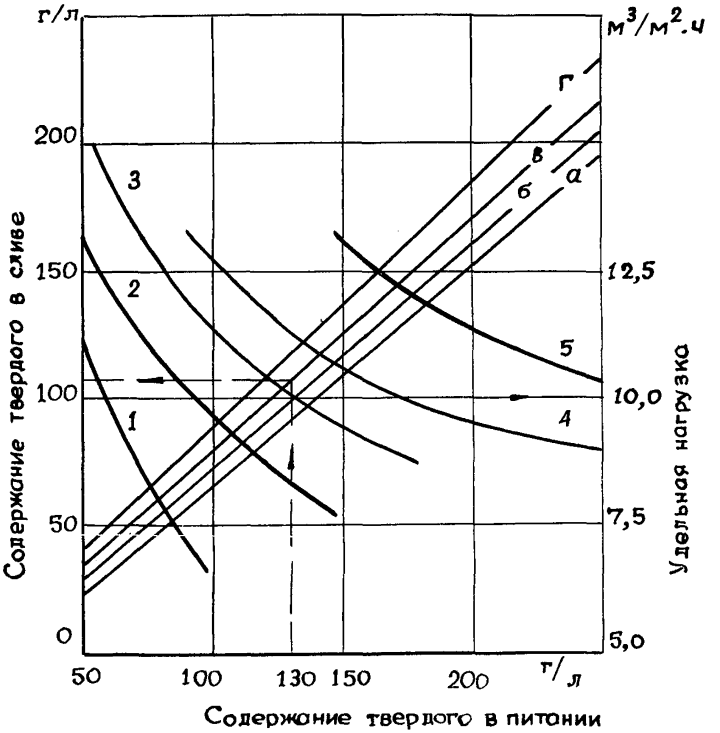


Рис. 6. Кривые технологического расчёта пирамидальных классификаторов:

Удельная нагрузка при размере граничного зерна, мм:
1 – 0,2, 2 – 0,25, 3 – 0,30, 4 – 0,35, 5 – 0,40

Содержание твёрдого в сливе при удельной нагрузке, $м^3/м^2.ч$:
а – 3,0, б – 7,2, в – 10, г – 13,6

110 г/л эти классификаторы работают относительно хорошо – содержание класса более 0,5 мм в сливе не превышает 5–6%. Такая чёткая классификация обеспечивается благодаря большому разжижению пульпы, малой её вязкости и отсутствию налипания шлама на стенках пирамидальной части классификаторов.

При большом содержании твёрдого в питании и той же удельной нагрузке результаты классификации шлама ухудшаются и тем в большей степени, чем выше содержание твёрдого в питании.

Следует отметить, что пирамидальные классификаторы слишком громоздки, требуют специального обслуживания по выпуску сгущённого крупнозернистого продукта.

В последние годы на вновь проектируемых фабриках они не предусматриваются, так как эта операция совмещается с предварительным обезвоживанием концентрата.

Элеваторный классификатор (багерзумпф). Такие классификаторы применяются на углеобогатительных фабриках для предварительного обезвоживания мелкого концентрата и выделения шлама с размером частиц менее 0,5 мм. Применение этих классификаторов значительно упрощает схему обезвоживания мелкого концентрата и классификации шлама. Из схемы исключаются обезвоживающие и шламовые грохоты, пирамидальные классификаторы.

Принцип работы элеваторного классификатора так же, как и пирамидального, основан на осаждении частиц под действием силы тяжести. Однако условия осаждения в элеваторном классификаторе отличаются от условий осаждения частиц в пирамидальном тем, что крупнозернистый шлам в нём осаждается вместе с крупными частицами угля (до 13 и даже до 25 мм). Это создаёт более благоприятные условия осаждения, чем в пирамидальных классификаторах.

Значительно повышается эффективность работы элеваторных классификаторов в схемах, предусматривающих выделение шлама из угля перед его обогащением.

Удельная нагрузка на элеваторный классификатор принимается 25 – 30 $м^3/м^2 . ч$.

Если содержание твёрдого в циркуляционной воде не превышает 100 г/л, выделение шлама из мелкого концентрата происходит весьма эффективно. Содержание класса более 0,5 мм в сливе при этом не превышает 10%. При слишком загрязнённой циркуляционной воде эффективность работы этих классификаторов ухудшается.

Зависимость изменения содержания класса крупнее 0,5 мм в сливе элеваторных классификаторов от содержания твёрдого в циркуляционной воде (рис. 7) показывает, что применение таких классификаторов весьма эффективно при содержании твёрдого в циркуляционной воде менее 120 г/л.

Скребковый классификатор отстойного типа с механической выгрузкой осадка (КО-1, КО-2 и КО-3) применяется для классификации мелкого концентрата и рядового угля по зерну размером 0,5 мм. Площадь классификации равна: КО-1 20, КО-2 16 и КО-3 12 $м^2$.

Принцип работы скребкового классификатора, так же как и элеваторного классификатора, основан на осаждении крупнозернистой части материала под действием силы тяжести. Общий вид скребкового классификатора, разработанного институтом "УкрНИИуглеобогащение," представлен на рис. 8.

Установлено, что при соотношении в питании Т:Ж =1:3 максимальная нагрузка материала на классификатор при разделении по размеру 0,5 мм составляет:

при содержании твёрдого в циркуляционной воде

200 г/л - 10 $м^3/м^2 \cdot ч$ (3,61 $т/м^2 \cdot ч$)

100 г/л - 30 $м^3/м^2 \cdot ч$ (10,8 $т/м^2 \cdot ч$).

При большем разжижении питания удельная нагрузка может быть еще большей, что видно из фактических данных работы классификаторов (табл. 21).

Ситовые анализы продуктов классификации приводятся в табл. 22.

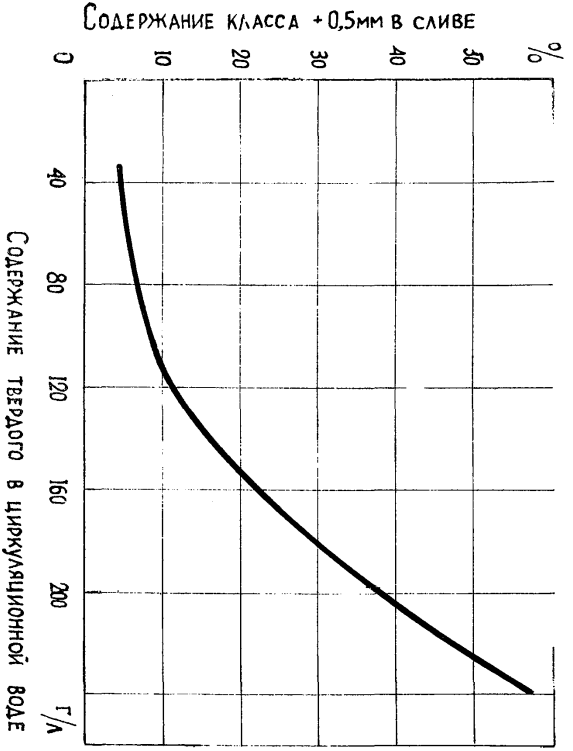


Рис. 7. Содержание зёрен +0,5 мм в сливе багерзумпфа в зависимости от загрязнения циркуляционной воды

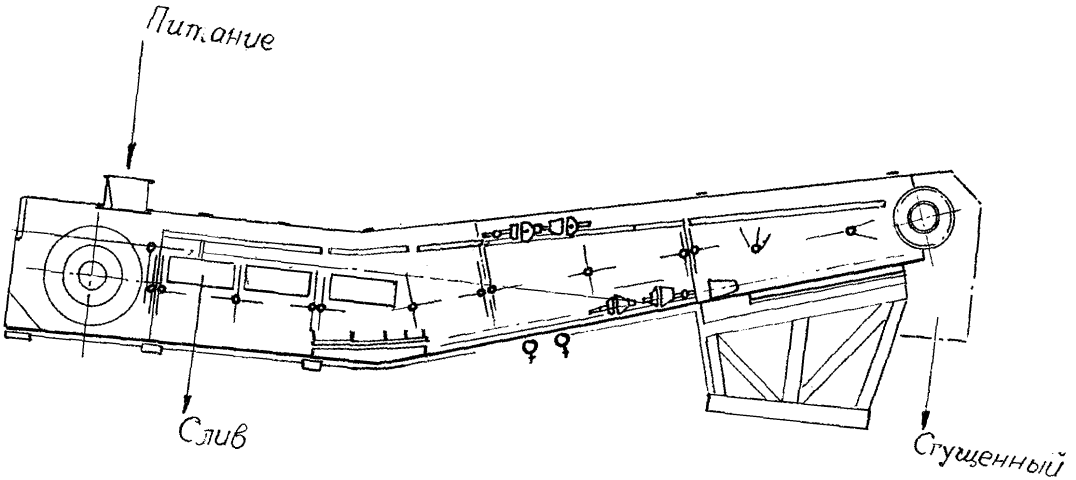


Рис. 8. Скребковый классификатор

Таблица 21

Результаты работы скребковых классификаторов

Показатели	Фабрики			
	Брянковская	Октябрьская	Красноли-манская	Красноар-мейская
1	2	3	4	5
Крупность материала, поступающего на классификатор, мм	0 - 8	0 - 30	0 - 100	0 - 25
Производительность по питанию:				
Общая, $м^3/ч$	485	401	248	770
т/ч	157	120	53	129
удельная, $м^3/м^2.ч$	38,8	32,0	20,0	38,5
$т/м^2.ч$	12,5	9,6	4,26	6,45
Весовое отношение твёрдого к жидкому в питании	1:2,5	1:2,8	1 : 3	1:4,5
Производительность по осадку, т/ч	138,6	69,4	32,8	106,0

1	2	3	4	5
Содержание класса менее 0,5 мм в осадке, %	15,26	6,34	2,57	4,7
Влажность осадка, %	28,5	21,2	18,4	30,4
Содержание твёрдого в сливе, г/л	111	150	95	36
Содержание класса более 0,5 мм в твёрдом слива, %	18,24	10,67	3,65	13,5
Размер граничного зерна, мм	0,36	0,60	0,65	0,44
Зольность, %				
питания	10,85	10,34	17,38	22,60
осадка	10,11	5,63	10,22	20,94
слива	13,16	16,84	31,00	36,97

Таблица 22

Ситовые анализы продуктов классификации

Крупность, мм	Питание		Осадок		Слив	
	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
1	2	3	4	5	6	7
	Брянковская ЦОФ					
6 - 13	5,91	6,26	7,70	6,21	-	-
3 - 6	23,06	6,07	30,55	6,07	-	-
1 - 3	19,27	6,55	26,19	6,55	-	-
0,5 - 1	19,80	9,84	20,30	11,58	18,24	3,91
0,25 - 0,5	11,69	14,02	8,30	21,83	21,71	4,83
0,125 - 0,25	7,41	20,47	4,74	30,18	15,22	11,17
0,045 - 0,125	3,92	15,14	0,83	21,90	13,08	13,81
- 0,045	8,94	24,33	1,39	20,41	31,75	24,87
Итого :	100,00	10,85	100,00	10,11	100,00	13,16

1	2	3	4	5	6	7
			ЦОФ "Октябрьская"			
+ 13	15,48	4,94	26,68	4,93	-	-
6 - 13	14,12	3,53	27,48	3,52	-	-
3 - 6	8,83	3,54	12,09	3,54	-	-
1 - 3	13,24	3,64	21,27	3,75	2,13	2,20
0,5 - 1	7,15	5,34	6,14	8,50	8,54	2,20
0,25 - 0,5	9,14	6,43	2,59	21,50	18,20	3,60
0,125 - 0,25	7,86	9,71	1,18	21,40	17,10	8,60
0,045 - 0,125	4,21	12,48	1,48	24,32	5,29	10,30
- 0,045	19,97	30,06	1,09	38,26	48,74	28,96
Итого	100,00	10,34	100,00	5,63	100,00	16,84

1	2	3	4	5	6	7
			ЦОФ "Красноармейская"			
+ 6	35,8	29,9	39,9	29,9	-	-
3 - 6	23,7	16,8	26,5	16,8	-	-
1 - 3	21,9	12,5	24,2	12,6	2,7	7,4
0,5 - 1	6,2	10,9	6,1	11,2	5,2	7,4
0,1 - 0,5	5,8	15,8	2,9	22,7	31,2	9,8
- 0,1	6,6	54,3	0,4	46,5	60,9	54,8
Итого:	100,00	22,6	100,00	20,94	100,00	36,97

Расчёт основных показателей работы скребковых классификаторов отстойного типа может быть выполнен при использовании зависимостей, изображенных на рис. 9.

Если в циркуляционной воде фабрики содержится твёрдого 80 г/л, то прямую, соответствующую такому содержанию твёрдого, проводим до пересечения с кривой 1 и 2. По кривой 1 устанавливаем содержание твёрдого в сливе -105 г/л, а по кривой 2 - содержание в сливе зёрен более 0,5 мм - - 7,4%.

Двухступенчатый классификатор. Схема устройства такого классификатора показана на рис. 10.

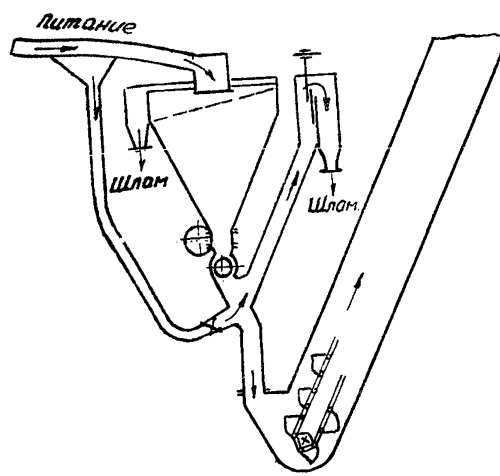


Рис. 10. Двухступенчатый противоточный классификатор

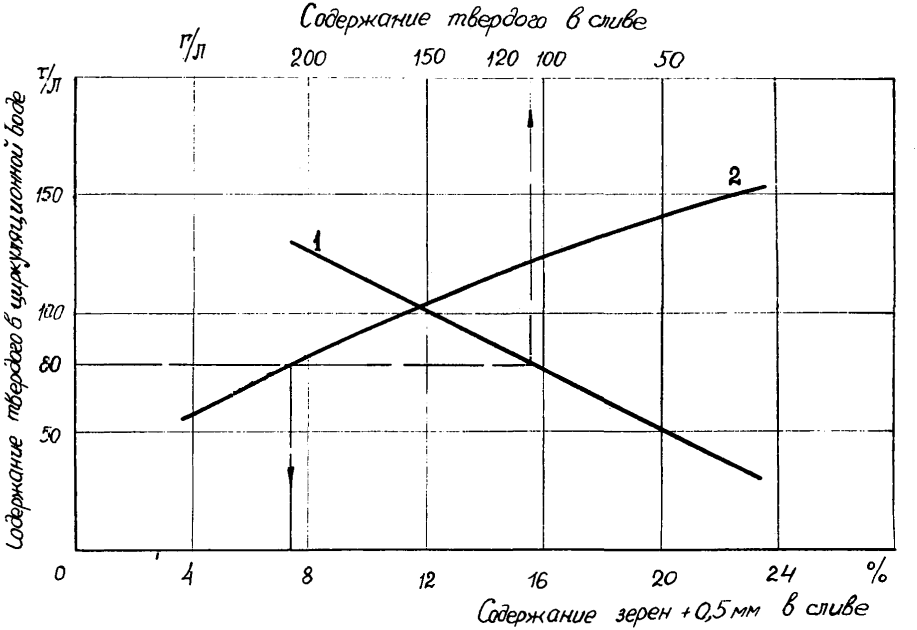


Рис. 9. Содержание твёрдого (кривая 1) и зёрен +0,5 мм (кривая 2) в сливе классификатора в зависимости от содержания твёрдого в циркуляционной воде

По данным института "КузНИИуглеобогащение", классификаторы этого типа на Беловской ЦОФ имеют следующие показатели:

Удельная нагрузка, $м^3/м^2 \cdot ч$	28 - 30
Содержание класса менее 0,5 мм в исходном угле, %	31
Содержание твёрдого в сливе 1 камеры, г/л	144
Содержание твёрдого в сливе П камеры, г/л	151
Содержание класса более 0,5 мм в сливе первой камеры, %	10-13
Содержание класса более 0,5 мм в сливе второй камеры, %	14 - 18
Содержание класса менее 0,5 мм в обесшламленном продукте, %	12 - 20
Граничный размер разделения в 1 камере, мм	0,28
Граничный размер разделения во II камере, мм	0,29

Следует отметить, что эти классификаторы дают хороший обезвоженный уголь, однако содержание класса более 0,5 мм в сливе высокое. Кроме того, эти классификаторы очень громоздки.

2. Центробежные классификаторы

Различают три типа центробежных классификаторов: дуговые сита, сита ОСО и гидроциклоны.

Дуговое сито-классификатор. Дуговые сита СД (СД-1, СД-2 и СДО-3) предназначены для мокрой классификации мелкого угля перед отсадкой, шлама перед флотацией и реже хвостов флотации. С их помощью выделяется шлам крупностью менее 0,5 мм. Для этих классификаторов используются щелевидные сита, согнутые по дуге.

Сита изгибаются таким образом, чтобы колосники клино - видной формы располагались поперёк или вдоль потока.

	СД-1	СД-2	СДО-3
Полезная площадь дуговых сит, $м^2$	0,95	1,9	3,0
Производительность по питанию, $м^3/ч$	150-200	300-400	450-500

На дуговые сита рекомендуется подавать по возможности сгущенное питание, так как при сильном разжижении повышается влажность надрешетного продукта.

Конический центробежный классификатор ОСО. Для предварительного обезвоживания мелкого концентрата и удаления из него шлама используются конические сита типа ОСО следующих типоразмеров:

Площадь сита, $м^2$	0,6	1,0	1,5	2,5	4,0	6,0	8,0	10
Ширина щели, мм	0,5	0,6	0,75	0,8	1,0	1,5	2,0	
Напор, м	0,7-1,2				1,1-2		1,7-2,5	

Результаты работы сита ОСО диаметром 2 м характеризуются следующими данными:

Производительность,	$м^3/ч$	450 - 500
	т/ч	100 - 120
Влажность питания, %		65 - 70
Ширина щели сита, мм		1,0
Гидростатический напор, м		0,7 - 0,8
Влажность обезвоженного, %		25 - 35
Содержание твёрдого в подрешетном (фильтрате), г/л		230 - 240

Содержание класса менее 0,5 мм в подрешетном, % 95 - 97

Гидроциклоны. На углеобогатительных фабриках применяются гидроциклоны диаметром 630, 900 и 1200 мм. Гидроциклоны таких размеров заменяют пирамидальные классификаторы, занимая при этом гораздо меньшую площадь и объём. Содержание твёрдого в сгущенном продукте гидроциклонов значительно выше – 800-900 г/л вместо 250-500 г/л.

Показатели работы гидроциклонов характеризуются следующими данными:

Тип гидроциклона		Г-6	Г-9	Г-12
Производительность по пульпе ($м^3$/ч) при напоре, м вод.ст.	10	300	450	-
	20	-	650	1000
Диаметр цилиндрической части, мм		630	900	1200
Угол конусности, град.		20	20	20
Угол наклона к горизонту, град.		30-40	30-40	30-40
Диаметр питающего патрубка, мм		200	200	200
Диаметр сливного стакана, мм		190	240	320
Диаметр отверстия насадки, мм		от 50 до 100		

Диаметр отверстия насадки для выпуска сгущенного продукта подбирается в процессе регулировки с учётом содержания твёрдого в сгущенном продукте и в сливе. Чем больше размер выпускного отверстия, тем меньше содержание твёрдого в сгущенном продукте. С уменьшением размера выпускного отверстия для сгущенного продукта увеличивается крупность частиц в сливе, возрастает выход слива.

В заключение следует отметить, что достоинством бесситных (гидравлических) классификаторов является высокая

их эффективность по технологической подготовке продуктов классификации к обогащению.

Глава У. СГУЩЕНИЕ ШЛАМОВ И ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ

Процесс сгущения шламов заключается в его осаждении в жидкости и уплотнении в осевшем осадке. В результате этого получается осветленный слой и осадок твёрдого.

Для улавливания и сгущения шламов применяются различные аппараты и устройства, а именно: радиальные сгустители, сгустители с осадкоуплотнителями, секционные отстойники, шламовые бассейны и илонакопители. Принцип действия всех этих аппаратов и устройств основан на использовании силы тяжести твёрдых тел.

Радиальные сгустители. В водно-шламовых схемах фабрик они используются для обработки части или всей циркуляционной воды и хвостов флотации.

В радиальных сгустителях распределение осадка по дну происходит следующим образом: максимальная толщина осадка на периферической части днища и минимальная у центра. Это объясняется тем, что у центра сгустителя вследствие больших скоростей потока происходит недостаточное осаждение шлама, а осевший шлам подвергается размывающему действию потока, тогда как дальше от центра скорость потока значительно меньше.

При применении флокуляции твёрдых частиц распределение потоков в радиальном сгустителе остаётся прежним, но осаждение флокул происходит не в горизонтальном, а в вертикальном, нисходящем потоке. Образовавшиеся флокулы как бы прижимаются потоком к центру днища сгустителя, что ускоряет процесс осаждения. Благодаря этому весь шлам осаждается в центре радиального сгустителя, что облегчает выгрузку осевшего шлама.

Таким образом, нагрузка на привод при применении флокуляции будет меньше, чем при осаждении шлама без

его флокуляции. Однако следует иметь в виду, что при увеличении содержания твёрдого в питании и несвоевременной выдаче сгущенного продукта высота осветленного слоя воды в радиальном сгустителе резко уменьшается и шлам осаждается по всей площади.

Большое влияние на скорость движения потоков в радиальном сгустителе оказывает конструкция загрузочного устройства. При применении загрузочного устройства с боковыми отверстиями движение потоков воды в сгустителе более благоприятное, так как поток движется в верхней части сгустителя. Горизонтальный поток при таком распределительном устройстве более растянут по высоте, чем при загрузочном устройстве типа стакана с решеткой в нижней части.

При устройстве с боковыми окнами средняя скорость движения горизонтального потока снизилась: при нагрузке 0,75 $м^3/м^2.ч$ – с 0,0077 до 0,0015 м/сек, а при нагрузке 1,5 $м^3/м^2.ч$ – с 0,0107 до 0,0032 м/сек, т. е. в три–пять раз.

При применении флокуляции шлама более приемлемо загрузочное устройство в виде стакана с решеткой в нижней части.

Содержание твёрдого и граничный размер разделения угольного шлама в зависимости от удельной нагрузки и содержания твёрдого в питании приведены в табл. 23.

Удельная нагрузка на 1 $м^2$ площади радиального сгустителя при применении флокуляции шламов может быть принята 3,5 и даже 4,5 $м^3/ч$, в зависимости от содержания твёрдого в питании.

Без применения полиакриламида допустимая нагрузка значительно меньше (табл. 22).

Выпуск из радиального сгустителя слишком густых пульп (400 г/л и более) приводит к тому, что в слив уносится большое количество твёрдого. Вследствие этого нагрузка на радиальный сгуститель уменьшается. Максимальная нагрузка по питанию в зависимости от характеристики шлама при содержании твёрдого в сгущенном продукте 400–500 г/л равна 1,2–1,5 $м^3/м^2.ч$. С применением

Таблица 23

Показатели работы радиального сгустителя

Удельная нагрузка, $м^3/м^2 \cdot ч$	Содержание твёрдого в питании сгустителя, г/л					
	50		100		150	
	Содержание в сливе, г/л	Граничный размер, мм	Содержание в сливе, г/л	Граничный размер, мм	Содержание в сливе, г/л	Граничный размер, мм
	С применением полиакриламида 10 г/т					
0,75	-	-	3	0,010	25	0,050
1,50	1,1	0,019	6	0,025	27	0,055
2,50	2,9	0,021	8	0,030	27	0,058
3,50	6,75	0,027	10	0,035	29	0,062
4,50	12,00	0,033	25	0,048	47	0,110
	Без полиакриламида					
0,75	11,0	0,034	26,8	0,051	90	0,160
1,50	18,0	0,040	39,5	0,085	116	0,175
2,50	27,0	0,052	46,0	0,100	118	0,180
3,50	34,5	0,070	58,0	0,120	125	0,195
4,50	37,5	0,080	62,0	0,145	135	0,200

флокулянта, при том же содержании твёрдого в сгущенном продукте, удельная нагрузка может быть увеличена в 2–2,5 раза. При меньшем содержании твёрдого в сгущенном продукте (не более 250 г/л) нагрузка на радиальный сгуститель при зольности шлама не более 20% может быть увеличена без применения флокулянтов до 4–4,5 $м^3$/ч на 1 $м^2$ площади осветления. При зольности шлама более 20% удельная нагрузка на радиальный сгуститель снижается. Например, при зольности шлама 40% нагрузка, даже при флокуляции шлама, не превышает 2–2,3 $м^3/м^2$.ч.

Максимальное содержание твёрдого в питании (для шламов со значительным содержанием тонких классов) не должно превышать 120 г/л. При таком содержании твёрдого в питании и выдаче разжиженного сгущенного продукта, содержащего твёрдого менее 250 г/л, процесс осветления воды протекает с достаточной эффективностью и без флокуляции. Содержание твёрдого в сливе радиального сгустителя в этом случае не превышает 80 г/л.

Основные показатели работы радиального сгустителя при осветлении циркуляционной воды, загрязненной шламом, могут быть определены по расчётным кривым рис. 11.

Например, при содержании твёрдого в сливе радиального сгустителя 80 г/л содержание твёрдого в сгущенном продукте (кривая 2) составляет 240 г/л при удельной нагрузке 3,5 $м^3/м^2$.ч. При зольности шламов более 20% и их флокуляции удельная нагрузка на радиальный сгуститель может быть принята по кривой рис. 12.

При осветлении в радиальном сгустителе вод хвостов флотации нагрузка на 1 $м^2$ площади осветления без добавок флокулянта не должна превышать 0,25 $м^3$/ч. При флокуляции твёрдой фазы хвостов флотации нагрузка на 1 $м^2$ площади осветления может быть принята, в зависимости от характеристики хвостов, от 1 до 1,3 $м^3$/ч.

Для углеобогатительных фабрик рекомендуются одноярусные радиальные сгустители с периферическим приводом. Практика эксплуатации показала, что радиальные сгустители с центральным приводом иногда зашламовываются, вследствие чего могут быть поломки привода. Между тем в

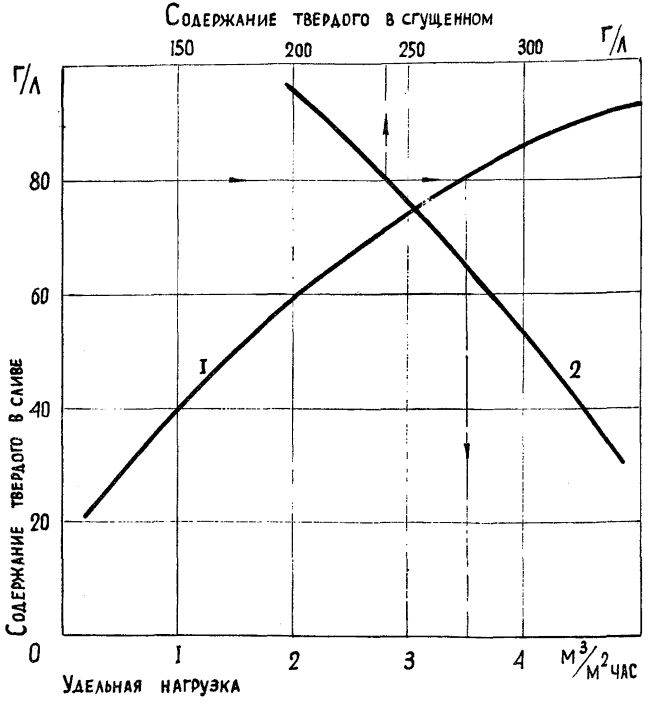


Рис. 11. Содержание твёрдого в сливе (кривая 1) и в сгущенном (кривая 2) радиального сгустителя в зависимости от удельной нагрузки

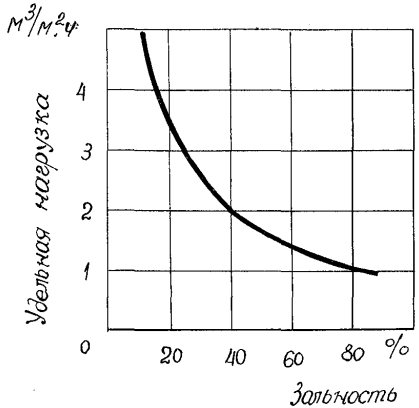


Рис. 12. Удельная нагрузка на радиальный сгуститель в зависимости от зольности шлама

радиальных сгустителях с периферическим приводом это исключено.

К недостаткам радиальных сгустителей относятся малая их удельная производительность и слабая степень сгущения выдаваемого осадка.

В практике углеобогащения наибольшее распространение получили радиальные сгустители диаметром 30 м. Радиальные сгустители с большим диаметром в технологическом отношении менее выгодны, так как в центральной части таких сгустителей возникают слишком большие скорости потоков и вследствие этого шлам осаждается преимущественно на их периферии. Это не позволяет достаточно эффективно использовать всю площадь сгустителя.

Сгуститель с осадкоуплотнителем разработан институтом "УкрНИИуглеобогащение" и предназначен для улавливания различных шламов, хвостов флотации, осветления воды и сгущения осадков с высокой степенью уплотнения.

Схема работы сгустителя представлена на рис. 13. Исходные хвосты подаются в приёмное устройство (стакан) с распределительным конусом внизу. Туда же подаётся и флокулянт. Расход флокулянта при осветлении вод хвостов флотации такой же, как и при его подаче в радиальные сгустители.

Из рис. 13 видно, что основная часть потока движется в цилиндрической части сгустителя в зоне осветления воды 1 к периферическому сливу. Меньшая часть потока образует небольшие завихрения в зоне коллективного осаждения флокул П. Уплотнение осадка (сжатие) происходит в зоне Ш, образуемой конической частью сгустителя, которая названа осадкоуплотнителем.

Общий вид сгустителя показан на рис. 14. Уплотнение осадка происходит за счёт давления, создаваемого действием сил тяжести осевшей твёрдой массы. При осветлении вод хвостов флотации ЦОФ "Криворожская" без добавок флокулянта и содержании в сгущенном продукте 250–300 г/л твёрдого получены следующие показатели:

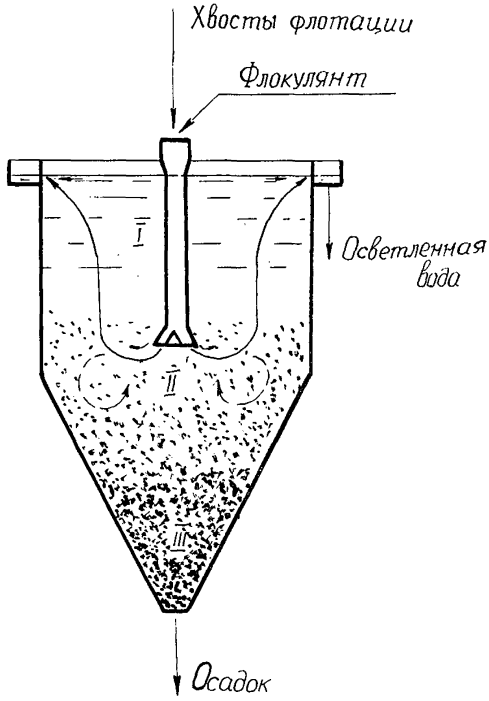


Рис. 13. Схема работы цилиндрического сгустителя с осадкоуплотнителем

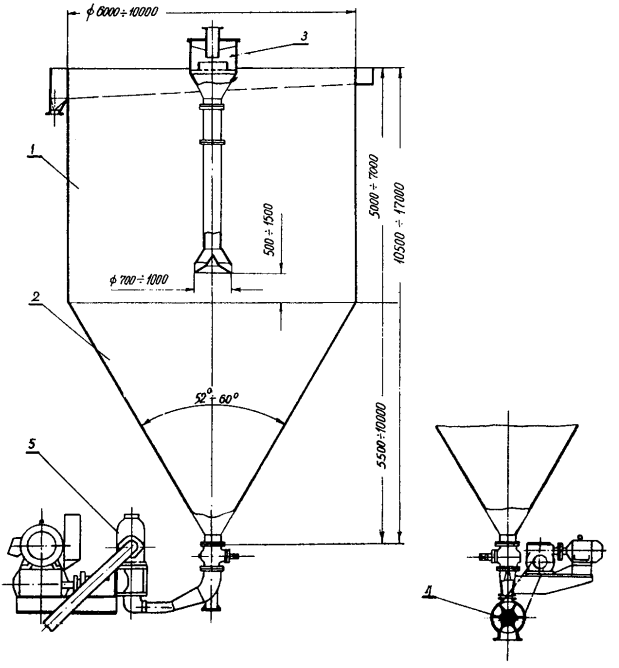


Рис. 14. Цилиндрический сгуститель с осадкоуплотнителем

1 – цилиндрическая часть, 2 – коническая часть, 3 – загрузочное устройство, 4 – роторный разгрузчик, 5 – диафрагмовый насос

Нагрузка, $м^3/м^2.ч$	Содержание твёрдого в сливе, г/л
0,2 - 0,25	чистая вода
0,4	0,5 - 0,8
0,6	3 - 4
0,8 - 1,0	15 - 18

Из этого следует, что во многих случаях применение сгустителей с осадкоуплотнителем возможно и без флокуляции твёрдой фазы, но при удельной нагрузке, не превышающей $0,5 м^3/м^2.ч$. При более высокой удельной нагрузке флокуляция является обязательной.

Расход полиакриламида негидролизованного - 30-60 г/т, гидролизованного - 12-25 г/т твёрдого. Содержание твёрдого в сливе менее 1 г/л.

При флокуляции твёрдой фазы хвостов флотации удельная нагрузка по данным зарубежной практики (ФРГ, Англия) гораздо выше и, в зависимости от содержания твёрдого в сгущенном продукте, составляет:

Удельная нагрузка, $м^3/м^2.ч$	Содержание твёрдого в сгущенном, г/л
8,0	200
6,0	300
4,8	400
4,0	500
3,5	600
3,0	700
2,6	800

Полученные осадки в отличие от сильно разжиженных хвостов флотации обладают в какой-то мере механическими свойствами, а именно: прочностью, упругостью, эластичностью. Исходя из этого хвосты флотации в зависимо-

сти от содержания в них твёрдого рекомендуется оценивать следующими показателями:

При содержании твёрдого менее 200 г/л – эффективной вязкостью (н. сек/м^2);

При содержании твёрдого от 200 до 900 г/л – предельным статическим натяжением сдвига (н/м^2);

При содержании твёрдого более 900 г/л – пластической прочностью (н/м^2).

Средние сдвиговые деформации для сфлокулированных и несфлокулированных сгущенных хвостов флотации характеризуются следующими данными:

Содержание твёрдого, г/л	343	384	396	461	515	678
Предельное статическое напряжение сдвига сфлокулированных хвостов флотации, н/м^2	1,6	3,0	4,2	7,5	12,5	47,5
Предельное статическое напряжение сдвига несфлокулированных хвостов флотации, н/м^2	0,6	1,1	1,3	1,9	3,0	8,0

Эти данные показывают, что флокулирование хвостов флотации в значительной степени повышает прочность осадков.

При лёгком перемешивании осадки более интенсивно уплотняются, чем без перемешивания. Например, с перемешиванием осадка, содержащего 640 г/л твёрдого, предельное статическре напряжение составляет 39,5 н/м^2, а без перемешивания – всего лишь 16,8 н/м^2. Это объясняется тем, что при перемешивании происходит разрушение агрегатов, что и способствует более интенсивной отдаче воды.

На степень уплотнения осадков значительное влияние оказывают добавки к хвостам флотации породы крупностью менее 6 мм.

Например:

Количество добавляемой породы, %	0	40	60	80	100
Содержание твёрдого в осадке (без породы), г/л	527	575	620	672	692

Установлено, что сгущенные хвосты флотации по своим структурно-механическим свойствам и трудности обработки в зависимости от содержания глинистого вещества и других факторов делятся на три основные группы:

	Лёгкая	Средняя	Трудная
Содержание глинистого вещества, %	менее 65	65-75	более 75
Предельное статическое напряжение сдвига, x) н/м^2	менее 18	18-35	более 35
Предел текучести, x) н/м^2	менее 5,5	5,5-7	более 7
Набухание, %	менее 14	14-19	более 19

Сгуститель с осадкоуплотнителем в сравнении с радиальным сгустителем имеет ряд преимуществ. Он обладает более высокой удельной нагрузкой и более высокой степенью сгущения.

В радиальном сгустителе, как известно, наблюдаются в основном две зоны: осветления воды и сгущения твёрдого, тогда как в сгустителе с осадкоуплотнителем имеется и зона уплотнения.

---

x) Данные относятся к хвостам, сгущенным до концентрации 800 г/л.

Секционные отстойники. Секционные (наружные) отстойники на всех фабриках, обогащающих коксующиеся угли, предназначались для улавливания и обезвоживания шлама и осветления воды. В последние годы на этих фабриках все шламы подвергаются флотации и секционные отстойники используются, главным образом, для хвостов флотации. Секции по очереди или последовательно заполняются хвостами флотации с помощью распределительного желоба. Нагрузка по питанию в зависимости от характеристики илов или хвостов флотации составляет 0,15 – – 0,2 $м^3/м^2 . ч$.

Хвосты флотации часто поступают в секционные отстойники предварительно сгущенными в радиальных сгустителях. После заполнения секции осадок отстаивается, уплотняется и когда достигает влажности не более 35% – – для угольных шламов и 45% – для хвостов флотации удаляется грейфером из отстойников на дренажные площадки или непосредственно в транспортные средства (железнодорожные вагоны, автомашины).

Насыпная плотность вынимаемого из отстойников осадка примерно составляет: угольного шлама 0,9 – 1,1 $т/м^3$, антрацитового шлама 1,1 – 1,2 $т/м^3$ и хвостов флотации – – 1,5 – 1,8 $т/м^3$.

Выемка уплотненного осадка осуществляется козловым или мостовым краном с грейфером. Перед выемкой осадка из секции осветлённая вода удаляется, а остаток загрязненной воды перекачивается насосом в другую секцию, которая в это время заполняется пульпой. Осветленная вода подаётся на фабрику в сборный резервуар.

Глава У1. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ МЕТОДОМ ДРЕНИРОВАНИЯ

Обезвоживание методом дренирования - операция по снижению содержания влаги в различных шламах путём естественного стекания воды под действием собственного веса.

Обезвоживание методом дренирования происходит в статических условиях, когда частицы шлама неподвижны относительно друг друга, или кинетических, когда частицы шлама находятся в движении. Эта операция осуществляется на дренажных площадках, грохотах, реже в элеваторах.

Эффективность процесса обезвоживания шлама определяется по формуле

$$E = \frac{100 - W_{ф}}{100 - W_{мак}} \cdot 100, \ \%, \qquad (2)$$

где $W_{ф}$ - фактическое содержание влаги после обезвоживания шлама, %;

$W_{мак}$ - максимальная молекулярная влагоёмкость шлама, %, равная

$$W_{мак} = W_{вн} + W_{а} \frac{100 - W_{вн}}{100}, \ \%;$$

$W_{вн}$ - содержание внешней влаги, %;

$W_{а}$ - содержание влаги в аналитической воздушной пробе, %.

Обезвоживание на дренажных площадках. Количество дренирующей воды в шламе происходит неравномерно. Вначале обезвоживания происходит наиболее интенсивный дренаж. Причем, чем выше слой и мельче шлам, тем продолжительнее его обезвоживание.

Следует иметь в виду, что обезвоживание шлама или хвостов флотации на дренажных площадках в сухое летнее время эффективно, но в дождливое время и особенно зимой этот метод обезвоживания становится малоэффективным и вызывает трудности в работе фабрики.

При обезвоживании шламов методом дренирования время отстаивания является основным фактором.

Обезвоживанию на дренажных площадках подвергают угольные и антрацитовые шламы и хвосты флотации. Влажность хвостов флотации, вынимаемых из секционных отстойников грейферным краном, для складирования на дренажных площадках не должна превышать 45%, а угольных шламов - 35%.

При более высокой влажности материал сильно растекается по площадке, и в этом случае её нужно обваловывать высушенным материалом или устанавливать ограничительные борты.

Отгружаемый просушенный материал с дренажных площадок должен иметь влагу не более:

хвосты флотации - 30%,

угольные шламы - 20%.

Обезвоживание на грохотах. Процесс обезвоживания шлама на грохотах отличается от процесса обезвоживания на дренажных площадках тем, что отделение воды происходит здесь в процессе продвижения материала по решету.

Основная масса воды на обезвоживающих грохотах удаляется под решето на первой его половине. Дополнительное снижение влаги при обезвоживании угольного шлама происходит за счёт ополаскивания движущегося слоя струёй чистой воды. Снижение влаги при этом составляет примерно 1,8%. В качестве брызгал применяются трубы с отверстиями 3-4 мм, насадки и специальные желоба со сливным порогом. Расход воды для ополаскивания шлама составляет 0,75-1 $м^3/т$.

Наибольшее распространение из обезвоживающих грохотов получили быстроходные качающиеся, вибрационные и

резонансные. Производительность грохотов при обезвоживании шлама относительно небольшая и, в зависимости от характеристики шлама, составляет 18-30 т/ч. Удельная производительность грохотов при обезвоживании шламов зависит и от размера отверстий щелевидных сит. При размере отверстий сит 0,5 мм она равна 1,2-2 т/м^2.ч, а при размере 0,3 мм - 1,0-1,2 т/м^2.ч.

Влажность обезвоженного шлама на грохотах составляет 22-28%.

При применении плетеных сит типа "Луганка" с размерами отверстий 0,4-1,2 мм удельная производительность грохотов составляет: по питанию - 5-6 т/м^2.ч, по надрешетному продукту 2,8-3,4 т/м^2.ч.

Следует отметить, что в последние годы обезвоживание шлама на грохотах применяется редко, так как шлам как правило обогащается флотацией и обезвоживается на вакуум-фильтрах.

Глава УП. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ШЛАМА В ЦЕНТРОБЕЖНОМ ПОЛЕ

Процесс обезвоживания шламов с использованием центробежных сил осуществляется в центробежных аппаратах. К ним относятся осадительные центрифуги, гидроциклоны и дуговые сита.

Гидроциклоны и дуговые сита рассмотрены в главе 1У "Выделение шламов из угля", так как по своему принципу и характеру работы эти устройства относятся более к классификаторам. Осадительные центрифуги более тяготеют к обезвоживающим аппаратам.

В настоящее время на базе центрифуги УЦМ-2 выпускается осадительная центрифуга НОГШ-1350 (непрерывнодействующая осадительная горизонтальная шнековая с диаметром 1350 мм). Принцип действия этой центрифуги основан на осаждении твёрдых шламовых частиц из жидкости и их обезвоживании в сформировавшемся осадке под дейст-

вием центробежных сил. Слой осадка из зоны осаждения поступает в зону обезвоживания (незаполненную жидкостью часть конуса), где от него дополнительно отделяется вода.

Влажность обезвоженного шлама в осадительных центрифугах зависит, главным образом, от гранулометрического состава поступающего в центрифугу материала и удельной нагрузки.

На углеобогатительных фабриках осадительные центрифуги получили распространение при обезвоживании необогащенных шламов, особенно антрацитовых, и реже хвостов флотации.

Производительность осадительной центрифуги НОГШ--1350 по исходной пульпе составляет 200 - 250 $м^3$/ч, по твёрдому - 13 - 18 т/ч. Влажность осадка - 26 - 35%.

Содержание твёрдого в фугате в зависимости от износа шнека колеблется от 40 до 70 г/л.

Для улавливания и обезвоживания крупнозернистого антрацитового шлама используются установки ОК (рис. 15).

Установка ОК состоит из гидроциклона и дугового сита. Исходный материал подаётся в гидроциклон, сгущенный продукт которого обезвоживается на дуговом сите.

Характеристика установки

Диаметр гидроциклона, мм	630
Размер насадки для выпуска сгущенного продукта, мм	150; 170; 190
Угол наклона гидроциклона к горизонту, град.	12
Площадь дугового сита, $м^2$	1,25
Размер (ширина) щели сита, мм	1,0
Напор на вводе в гидроциклон, м вод. ст.	не менее 5
Максимальная (допустимая) крупность материала, мм	40

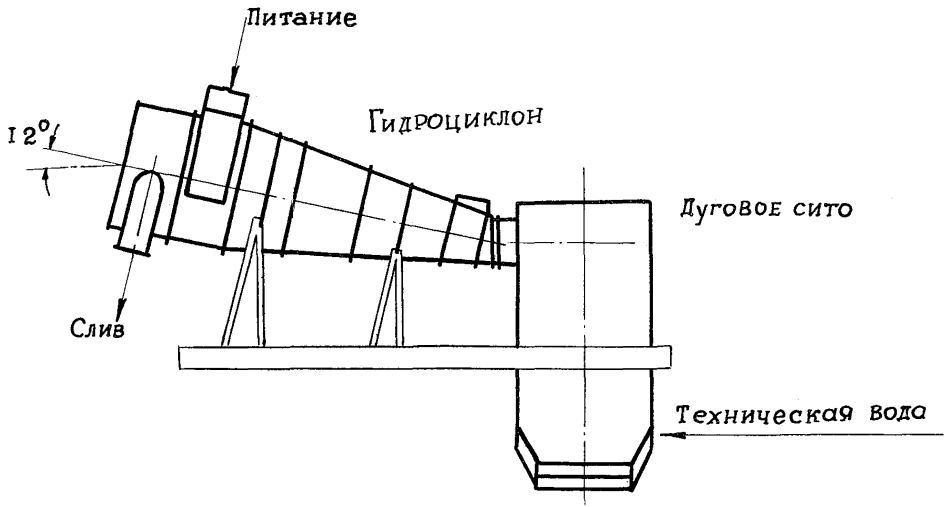


Рис. 15. Схема обезвоживающей установки крупнозернистого шлама (ОК)

Производительность установки по объёму, $м^3/ч$:	
при напоре 5 м вод. ст.	до 180
при напоре 10 м вод.ст.	до 300
Производительность по твёрдому при обезвоживании мелкого концентрата, т/ч	60
Влажность надрешетного продукта дугового сита, %	30 - 37
Содержание зёрен более 1 мм в сливе гидроциклона, %	0,8
Содержание зёрен более 1 мм в подрешетном продукте дугового сита, %	0,45
Влажность подрешетного продукта при обезвоживании антрацитового шлама, %	16 - 20

Глава УШ. ОБЕЗВОЖИВАНИЕ ФИЛЬТРОВАНИЕМ

Процесс обезвоживания фильтрованием заключается в образовании осадка из твёрдых частиц на фильтрующей перегородке и удалении жидкой фазы через слой осадка и перегородку.

Протекание жидкой фазы через образующийся осадок и фильтрующую перегородку происходит под влиянием разности давления, создаваемого по обеим сторонам перегородки.

Максимальный размер частиц шлама, обезвоживаемого фильтрованием на углеобогатительных фабриках, обычно не превышает 2 мм, а размер преобладающих частиц составляет менее 1 мм. С увеличением размера фильтруемого материала размер отверстий фильтрующей перегородки возрастает. Однако отношение размеров отверстий к размерам

фильтрующего материала носит не прямолинейный характер (рис. 16). Как видно из рисунка, с увеличением размеров зёрен отношение убывает, а с уменьшением зёрен, напротив, возрастает и приближается к размеру зёрен. Для тонкого материала размер отверстий может быть больше максимального размера зёрен. В практике фильтрования угольных флотационных концентратов применяются сетки с размером отверстий 0,25 мм.

1. Обезвоживание концентрата флотации методом фильтрования

Для обезвоживания относительно тонких материалов в практике углеобогащения применяются следующие типы фильтров:

1. Вакуум-фильтры – дисковые, барабанные, ленточные, тарельчатые и патронные;

2. Фильтрпрессы.

Наибольшее распространение для обезвоживания концентрата флотации получили дисковые вакуум-фильтры.

Дисковые вакуум-фильтры. Среди многих конструкций дисковых вакуум-фильтров наиболее широкое распространение в СССР получили восьмидисковые фильтры "Украина-80" с диаметром дисков 2,7 м, разработанные институтом "УкрНИИуглеобогащение" совместно с заводом "Прогресс".

Схема установки вакуум-фильтра "Украина-80" представлена на рис. 17. Ресиверы зон фильтрования и просушки подсоединены к одному вакуум-насосу вместо двух, предусмотренных проектом. Это несколько снизило вакуум, но производительность вакуум-фильтра и влажность осадка практически остались на прежнем уровне.

На углеобогатительных фабриках применяются следующие схемы фильтровальных установок (рис. 18). На рис. 18 а представлена схема, в которой вакуум-фильтр расположен на нижних отметках здания фабрики. Фильтрат по этой схеме удаляется насосом. Схема не надёжна в работе, так как вакуум в системе может превышать разрежение, развиваемое

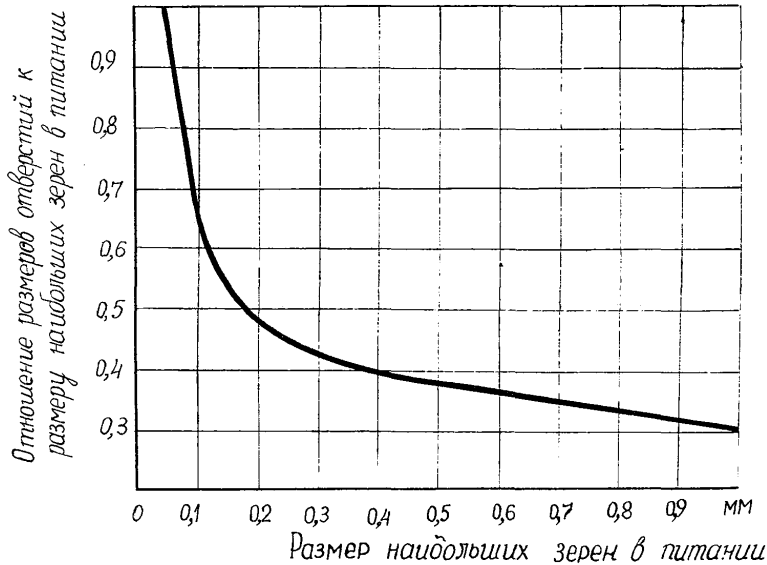


Рис. 16. Отношение размеров отверстий сит к размеру наибольших зёрен в питании

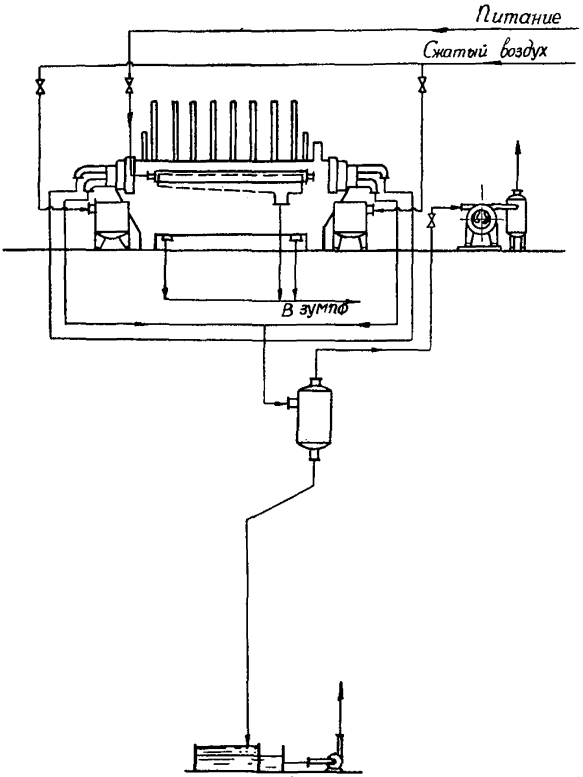


Рис. 17. Схема установки вакуум-фильтра "Украина-80"

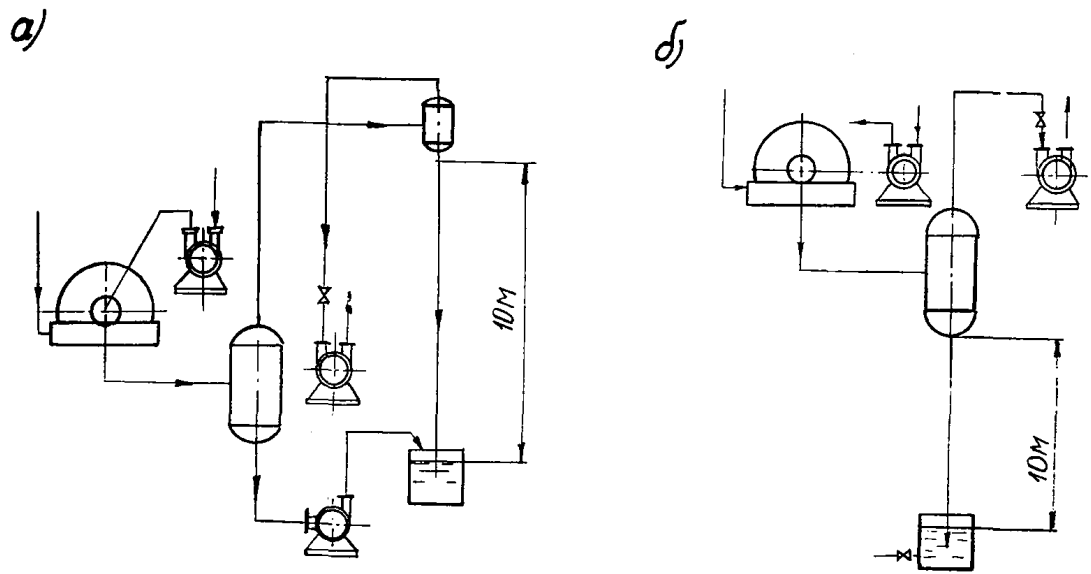


Рис. 18. Схема фильтровальных установок

а) при расположении фильтра на нижних отметках фабрики;

б) при расположении фильтра на верхних отметках.

насосом, что затрудняет удаление фильтрата. Кроме того, неплотная набивка сальников снижает вакуум в системе.

При установке вакуум-фильтров на отметках фабрики более 10 м используется схема, изображенная на рис. 18 б. Эта схема более надёжна в эксплуатации и в настоящее время является наиболее распространённой.

Тип вакуум-насоса для фильтровальной установки принимается из расчёта 0,8 $м^3$/мин воздуха на 1 $м^2$ фильтрующей поверхности вакуум-фильтра. Величина вакуума не должна быть меньше 500 мм рт. ст.

На современной углеобогатительной фабрике для обезвоживания большого количества флотационного концентрата предусматривается 6-8 высокопроизводительных вакуум-фильтров. В связи с этим известно несколько схем соединения вакуум-насоса с фильтром и удаления фильтрата, а именно: общая, групповая и индивидуальная (рис. 19).

Наибольшее распространение на фабриках получила общая схема (рис. 19 а). Она позволяет компактно размещать оборудование, уменьшать протяженность трубопроводов и в случае остановки действующего вакуум-насоса заменить его резервным. Однако она не лишена и недостатков. Соединение нескольких вакуум-фильтров в одну общую схему затрудняет поддержание стабильности величины вакуума на уровне 500 мм рт. ст. Любые неисправности в коммуникациях и порыв фильтровальной ткани приводят к снижению вакуума на всех фильтрах.

При индивидуальной вакуумной схеме (рис. 19в) исключаются перечисленные недостатки, но она требует установки большого количества оборудования.

При групповой вакуумной схеме (рис. 19 б) объединяются два-три вакуум-фильтра. Эта система занимает промежуточное положение между общей и индивидуальной системами.

Схемы подачи пенного продукта на вакуум-фильтры представлены на рис. 20.

Если флотационные машины размещены на верхних перекрытиях здания фабрики, применяют схему, изображенную на рис. 20 а. При расположении флотационных машин на нижних перекрытиях здания фабрики применяется схема, представлен-

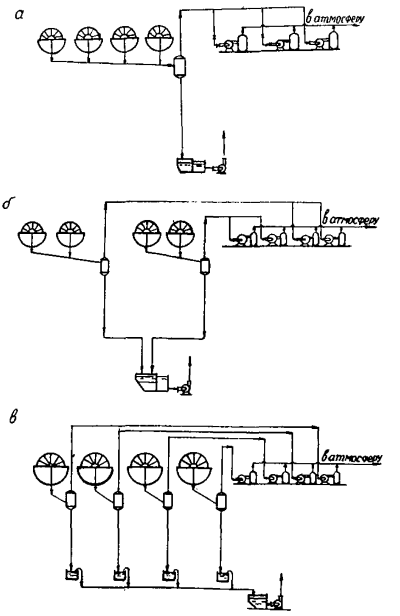


Рис. 19. Системы удаления фильтрата:

а – общая; б – групповая; в – индивидуальная

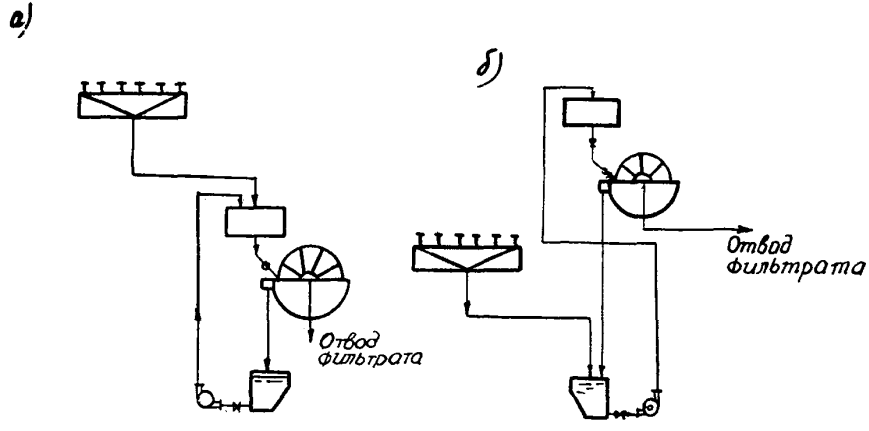


Рис. 20. Схемы подачи пенного продукта на вакуум-фильтры

ная на рис. 20б. К недостаткам схемы (рис. 20б) следует отнести возможные затруднения при перекачке флотационного концентрата насосом.

На производительность вакуум-фильтров большое влияние оказывает зольность тонких классов (менее 0,06 мм) фильтруемого флотационного концентрата. Присутствие глинистых частиц в фильтруемом материале приводит к образованию более плотных осадков с малой проницаемостью, снижению скорости фильтрования и забиванию фильтрующей перегородки.

Флотационный концентрат, поступающий на дисковые вакуум-фильтры, характеризуются следующими данными:

	Флотационный концентрат углей марок	
	ОС, Ж, К, шихты	Г
Содержание класса размером менее 0,06 мм, %	17 - 46	40 - 60
Зольность класса менее 0,06 мм, %	12 - 24	16 - 35
Удельная производительность вакуум-фильтра, т/м^2.ч	0,2 - 0,4	0,1 - 0,15

Установлено, что фильтрование на дисковых вакуум-фильтрах наиболее благоприятно при содержании класса менее 0,06 мм в флотационном концентрате в пределах 20 - 40%.

При содержании тонкого класса во флотационном концентрате меньше 20% или больше 40% работа вакуум-фильтра ухудшается.

Гранулометрический состав материала на различной высоте в ванне вакуум-фильтра приведен в табл. 24.

Одновременно с изменением крупности по высоте слоя пульпы в ванне вакуум-фильтра меняется и содержание твёрдого. Если в переливе оно равно 250 г/л, то на дне ванны содержание твёрдого 500 г/л.

Ситовые составы осадка на дисках вакуум-фильтра характеризуются данными табл. 25.

Таблица 24

Ситовый состав материала в ванне фильтра

Крупность, мм	Дно ванны		Середина ванны		Перелив	
	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
+ 1	0,95	2,22	–	–	–	–
0,5 – 1	18,97	2,89	7,73	2,04	–	–
0,25 – 0,5	35,17	5,80	28,95	3,36	6,88	2,40
0,15 – 0,25	20,73	10,84	22,14	5,90	15,19	3,00
0,06 – 0,15	12,32	14,92	17,98	9,72	29,57	4,36
– 0,06	11,86	26,40	23,20	22,90	48,36	16,54
И т о г о	100,00	9,82	100,00	9,50	100,00	9,91

Таблица 25

Ситовый состав осадка

Крупность, мм	Периферия диска		Середина диска		Основание диска	
	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %	Выход, %	Зольность, %
+ 1	0,7	-	0,5	-	0,2	-
0,5 - 1	20,4	2,48	14,5	2,18	4,3	2,20
0,25 - 0,5	29,6	4,50	29,8	3,80	18,2	3,34
0,15 - 0,25	17,6	7,86	19,4	5,82	17,4	4,90
0,06 - 0,15	12,1	10,64	13,3	8,50	18,2	5,84
- 0,06	19,6	20,52	22,5	17,50	41,7	15,45
И т о г о	100,00	8,55	100,00	7,66	100,00	9,06

Исследованиями и практикой работы дисковых вакуум-фильтров установлено, что основными факторами увеличения производительности фильтров являются: повышение содержания твёрдого в питании, увеличение средней крупности частиц, флокуляция фильтруемого материала и увеличение числа оборотов дисков.

Среднюю крупность фильтруемого материала увеличивают, добавляя малозольный крупнозернистый шлам с размером частиц не более 2 мм. Если присаживать крупнозернистый шлам в количестве 40%, то производительность вакуум-фильтра может быть увеличена на 25-30% без учёта присадки.

Весьма эффективным методом интенсификации процесса фильтрования и повышения производительности вакуум-фильтров является флокуляция флотационного концентрата. Подача раствора флокулянта осуществляется в питающую трубу на расстоянии 1,5 м от коллектора, распределяющего пульпу по ванне вакуум-фильтра.

Исследованиями установлено, что основная роль флокулянта заключается в изменении физических свойств пульпы, проявляющемся в замедленном осаждении крупных флокул. Пульпа как бы стабилизируется и тем самым предотвращается в какой-то степени расслоение материала по крупности в ванне фильтра.

Ситовый состав сфлокулированного полиакриламидом флотационного концентрата по высоте ванны вакуум-фильтра представлен в табл. 26.

Стабилизация пульпы посредством флокулирования флотоконцентрата обеспечивает получение осадков с более равномерными сопротивлением и толщиной по радиусу диска. Если толщина осадка без флокулирования изменяется по радиусу диска от 30-40 до 10-15 мм у основания, то с применением флокуляции она изменяется в меньшей степени, а именно с 40-45 до 30-35 мм.

При расходе негидролизованного полиакриламида 15-20г/т производительность вакуум-фильтра увеличивается на 15-20%, а при расходе 25-40г/л - на 40-50%.

Следует иметь в виду, что при большом содержании илистых частиц во флотационном концентрате требуется повышен-

Таблица 26

Ситовый состав флотоконцентрата в ванне вакуум-фильтра

Крупность, мм	Выход, %		
	Дно ванны	Середина ванны	Перелив
+ 0,5	5,0	4,3	1,2
0,25 - 0,5	20,3	17,2	11,8
0,15 - 0,25	27,9	28,1	23,7
0,06 - 0,15	21,2	23,0	26,2
- 0,06	25,6	27,4	37,1
Итого	100,00	100,00	100,00
Содержание твёрдого, г/л	388	375	270

ный расход полиакриламида и при этом производительность вакуум-фильтра возрастает больше, чем при малом содержании илистых частиц (всего на 5 - 10%).

Флокуляция флотационного концентрата перед фильтрованием на вакуум-фильтрах уменьшает и содержание твёрдого в фильтрате. Если при работе без добавок полиакриламида содержание твёрдого в фильтрате в среднем составляет 30--40 г/л, то с применением полиакриламида - лишь 10--20 г/л, а в отдельных случаях даже менее 10 г/л.

2. Предварительное сгущение флотационного концентрата перед его фильтрованием

Предварительное сгущение флотационного концентрата позволяет значительно повысить производительность вакуум-фильтров.

Свойства сгущенного флотационного концентрата. При сгущении флотоконцентрата до содержания в нём твёрдого 600 - 700 г/л его свойства изменяются не так резко, как при содержании твёрдого более 700 г/л. Слишком густые пульпы малоподвижны и обладают значительным сопротивлением. Предельное статическое напряжение сдвига сгущенных флотоконцентратов характеризуется данными табл. 27. Данные таблицы показывают, что увеличение содержания твёрдого во флотационном концентрате более 600 - 700 г/л нецелесообразно, так как фильтрование слишком густых пульп затруднительно. Этот вывод подтверждается следующими значениями коэффициента текучести сгущенной пульпы, содержащей 30% класса менее 0,045 мм:

Содержание твёрдого в пульпе, г/л	400	500	600	700	800
Значение коэффициента текучести	0,83	0,67	0,33	0,28	0,08

Таблица 27

Предельное статическое напряжение сдвига сгущенных флотоконцентратов

Содержание класса менее 0,06мм,%	Предельное статическое напряжение сдвига ($н/м^2$) при содержании твёрдого в пульпе, г/л				
	400	500	600	700	800
20	0,187	0,236	0,545	1,39	3,18
30	0,278	0,417	1,256	2,06	5,04
40	0,402	0,572	1,675	2,68	6,21
50	0,574	0,880	1,760	3,98	9,14

Пористость сгущенных флотационных концентратов характеризуется данными табл. 28.

Таблица 28

Пористость осадков флотационного концентрата

Давление, $кн/м^2$	Пористость осадка в долях единицы при содержании твёрдого в исходной суспензии, $кг/м^3$		
	300	400	500
0	0,406	0,337	0,251
100	0,355	0,297	0,226
200	0,341	0,281	0,204
300	0,332	0,269	0,187
400	0,325	0,259	0,175
500	0,312	0,251	0,162

Удельное сопротивление осадков в зависимости от со-

держания класса крупностью менее 60 мкм без флокуляции и с флокуляцией флотационного концентрата характеризуется следующими данными:

Содержание класса менее 60 мкм, %	Удельное сопротивление осадка $\gamma \cdot 10^{-12}$, м/кг, при содержании твердого 200 г/л	
	Сфлокулированный флотоконцентрат	Несфлокулированный флотоконцентрат
15	0,40	3,2
25	0,31	4,5
35	0,81	7,5
45	1,26	10,2
55	2,37	14,7
65	3,40	12,4

Сгущение флотоконцентрата в промышленных условиях. Предварительное сгущение флотационного концентрата в СССР осуществляется двумя способами – в радиальных сгустителях (ЦОФ "Колосниковская", ОФ Магнитогорского, Карагандинского и Череповецкого металлургических комбинатов) и в ячейковых фильтр-сгустителях (ОФ Западно-Сибирского металлургического завода).

Схема сгущения флотационного концентрата в радиальных сгустителях изображена на рис. 21.

При осуществлении этой схемы рекомендуется исходить из следующих средних данных:

Удельная нагрузка на радиальный сгуститель по флотоконцентрату, $м^3/м^2 \cdot ч$	0,6 – 0,7
Удельная нагрузка на радиальный сгуститель по фильтрату, $м^3/м^2 \cdot ч$	1 –1,2
Общая удельная нагрузка на радиальный сгуститель, $м^3/м^2 \cdot ч$	1,6 – 1,7

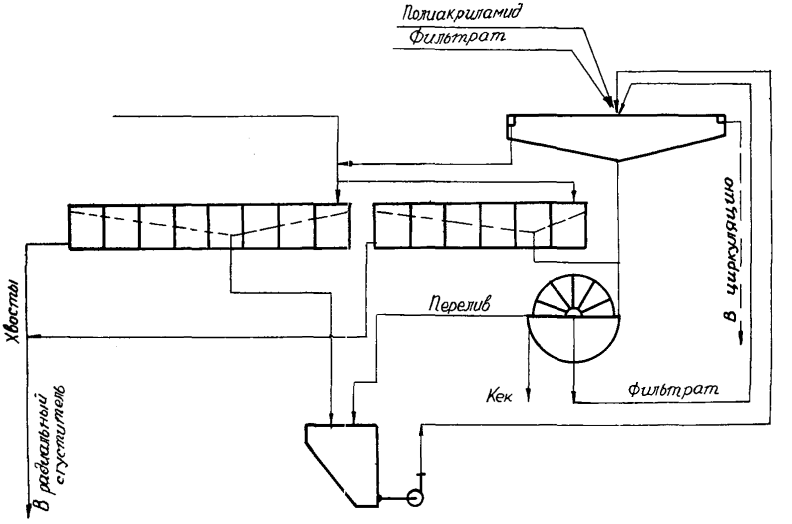


Рис. 21. Схема сгущения флотационного концентрата в радиальном сгустителе

Содержание твёрдого в сгущенном флотоконцентрате, г/л	400 - 500
Удельная производительность вакуум-фильтра, т/м^2.ч	0,35 - 0,5
Содержание твёрдого в сливе радиального сгустителя, г/л	30 - 35
Расход гидролизованного полиакриламида, г/т	5 - 10

Успешное осуществление схемы предварительного сгущения флотационного концентрата в значительной степени зависит от разбавления пенного продукта фугатом в радиальном сгустителе. Это позволяет улучшить осаждение угольных частиц и отмучивание более тонких и более зольных частиц в слив.

При разбавлении пенного продукта происходит более интенсивное разрушение пены и поэтому радиальные сгустители не запениваются.

Подача слива радиального сгустителя вместе с исходным необогащенным шламом в отдельную флотационную машину способствует получению концентрата хорошего качества.

3. Фильтрование антрацитового шлама

Особенностью антрацитовых шламов является их более высокая плотность, относительно больший выход крупных классов.

Удельное сопротивление осадков, сформированных из антрацитовых шламов обогатительных фабрик Донбасса, колеблется в значительных пределах и характеризуется следующими данными:

Крупность шлама, мм	0 - 1	0 - 3
Удельное сопротивление осадка, $\gamma . 10^{-9}$, м/кг	10 - 400	6 - 350

Значительные колебания величины удельного сопротивления осадков объясняются большим различием гранулометрического и минералогического составов антрацитовых шламов, что видно из следующей классификации:

Фильтруемость	Содержание шлама менее 0,06мм, %	Содержание глины, %	Величина удельного сопротивления осадка $\gamma \cdot 10^{-9}$, м/кг
Очень лёгкая	12 - 24	1 - 7	менее 35
Лёгкая	17 - 30	5 - 12	35 - 100
Средняя	27 - 48	10 - 18	100 - 300
Трудная	45 - 55	16 - 22	более 300

Для обезвоживания антрацитовых шламов используются дисковые и ленточные вакуум-фильтры.

При использовании дисковых вакуум-фильтров для обезвоживания антрацитовых шламов (обогащенных и необогащенных) рекомендуются следующие удельные нагрузки:

При содержании в питании класса менее 0,06 мм, %	18	35	55
Удельная нагрузка, т/м^2.ч, при содержании твёрдого в питании,г/л:			
250	0,18	0,15	0,10
320	0,25	0,20	0,15
450	0,30	0,25	0,20

Влажность осадка составляет 21-23%, а содержание твёрдого в фильтрате 60-80г/л. Извлечение твёрдого в осадок составляет 75-85%.

При работе дисковых вакуум-фильтров на антрацитовых шламах наблюдается расслоение материала в ванне и особенно интенсивное при содержании твёрдого в питании менее 250г/л.

Применение ленточных вакуум-фильтров при содержании твёрдого в питании 700-900 г/л, содержании класса менее 0,06 мм 8-10% и зольности его 32-39% позволяет получить удельную нагрузку на антрацитовых шламах по осадку 2,5-3 т/м^2.ч. Влажность осадка 18-23%, а содержание твёрдого в фильтрате 75-90 г/л.

Работа ленточного вакуум-фильтра характеризуется высоким извлечением твёрдого в осадок - 94-96%. Применение ленточных вакуум-фильтров для антрацитовых шламов весьма перспективно, так как здесь расслоение материала способствует процессу фильтрования. Однако следует иметь в виду, что как и при работе дисковых вакуум-фильтров, необходимо предварительное сгущение антрацитовых шламов.

4. Фильтровальные сетки

Пропускная способность различных сеток различна и характеризуется данными табл. 29. Самую высокую пропускную способность, с учётом всей площади, имеет фосфористо-бронзовая сетка (196,5 см^3/см^2.сек), а самую низкую - капроновая ткань (32,9 см^3/см^2.сек). С учётом только живого сечения наибольшую пропускную способность также имеет фосфористо-бронзовая сетка (955 см^3/см^2.сек), а самую малую - полипропилен (291 см^3/см^2.сек). Это объясняется свойствами материала, из которого изготовлены сетки, и, в частности, поверхностным натяжением, электрическим зарядом и гидравлическим сопротивлением.

Если сравнить сейлон, имеющий живое сечение 48,9%, с фосфористо-бронзовой сеткой с живым сечением всего лишь 20,6%, то оказывается, что скорость прохождения воды у фосфористо-бронзовой сетки значительно больше и составляет 955 см^3/см^2.сек вместо 334 см^3/см^2.сек у сейлоновой сетки.

Набухание нитей сеток несколько уменьшает их живое сечение. Так, за семь месяцев нахождения сеток в воде живое сечение сейлоновой сетки уменьшилось на 6%, а капроновой на 2,8% (рис. 22).

Таблица 29

Характеристика сеток

Наименование сетки	Средний размер отверстий, мм		Живое сечение	Удельный расход воды	
	по основе	по утку	%	с учётом общей площади сетки, $см^3/см^2 \cdot сек$	через живое сечение, $см^3/см^2 \cdot сек$
1	2	3	4	5	6
Фосфористо-бронзовая	0,283	0,284	20,6	196,5	955
Нержавеющая сталь саржевого плетения	0,282	0,285	33,3	165,9	499
Полипропилен ТТ-156	0,370	0,550		165,3	
Сейлон (Чехословакия)	0,378	0,396	48,9	160,6	334
Нержавеющая сталь (Франция)	0,217	0,225	40,9	158,9	338
Полипропилен ТТ-164	0,160	0,360		151,3	
Полипропилен ТТ-151	0,400	0,520		131,5	
Капросталь	0,476	0,202	35,6	130,0	364

1	2	3	4	5	6
Сталь - полиэтилен	0,462	0,287	33,3	102,9	309
Сетка капроновая	0,284	0,174	22,5	91,8	405
Полипропилен ТТ-152	0,080	0,390		80,8	
Полипропилен ТТ-153	0,120	0,280		77,5	
Полиэтилен	0,880	0,379	23,3	76,1	327
Полипропилен	0,595	0,255	20,3	59,0	291
Ткань капроновая	0,133	0,255	7,5	32,9	440

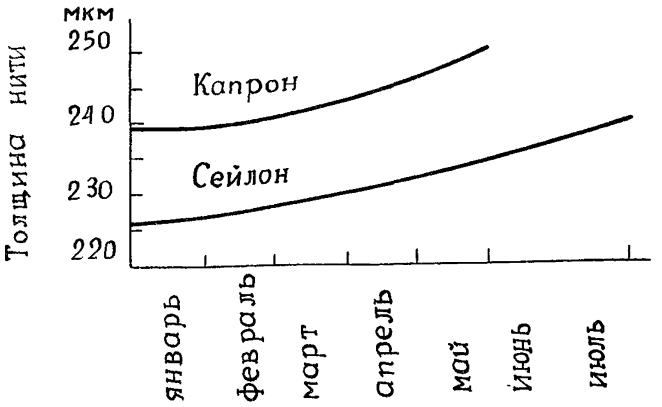


Рис. 22. Набухание нитей

Глава IX. ВОДНО-ШЛАМОВОЕ ХОЗЯЙСТВО

Водно-шламовое хозяйство современной углеобогатительной фабрики представляет собой сложный комплекс в общей схеме обогащения углей.

В последние годы наметилась тенденция к упрощению водно-шламовых схем. Этот процесс идет по пути совмещения ряда технологических операций, применения как механических, так и физико-химических средств обработки шламов, замены устаревшего оборудования новым, более эффективным, применения более рациональных технологических режимов эксплуатации машин, аппаратов и устройств. Однако различный подход к основам разработки водно-шламовых схем привел к большой их разнотипности.

1. Схемы осветления воды

Применяемые на углеобогатительных фабриках водно-шламовые схемы осветления воды делятся на три основных типа. К первому типу (рис. 23) относятся схемы с глубоким осветлением всей циркуляционной воды, т. е. схемы, обеспечивающие возвращение в циркуляцию чистой воды. В этих схемах для глубокого осветления шламовых вод используются сгустительно-осветлительные устройства с применением флокуляции шламов и хвостов флотации (рис.23а) или без флокуляции шламов, но с флокуляцией хвостов флотации (рис. 23 б).

Ко второму типу (рис. 24) относятся комбинированные схемы, предусматривающие глубокое осветление только части циркуляционной воды. Другая часть шламовой воды подвергается неглубокому осветлению или возвращается в циркуляцию без какой-либо обработки (рис. 24 а, б, в).

К третьему типу (рис. 25) относятся схемы с неглубоким осветлением всей шламовой воды.

Если схемы первого и второго типов могут быть осуществлены без сгустительно-осветлительных устройств перед флотацией шлама, то в схемах третьего типа наличие этих устройств является обязательным.

Схемы первого типа на углеобогатительных фабриках применяются редко. Схема (рис. 23 а) была испытана на трёх фабриках (ОФ Ясиновского КХЗ, ЦОФ "Криворожская" и "Белореченская"). При работе фабрики на чистой воде уменьшились потери с отходами, снизилась зольность концентрата, особенно класса менее 3 мм. Однако незначительное содержание в питании флотации зёрен крупнее 0,3 мм повлекло за собой резкое снижение производительности вакуум-фильтров, в результате чего возникли трудности с обезвоживанием флотационного концентрата. В силу этого такие схемы не получили широкого распространения.

Схема с направлением всей циркуляции воды на флотацию и последующим глубоким осветлением хвостов флотации (рис. 23 б) применяется на одной фабрике (ЦОФ "Куйбышевская"). Применение этой схемы позволило улучшить качественные показатели работы фабрики, однако большое

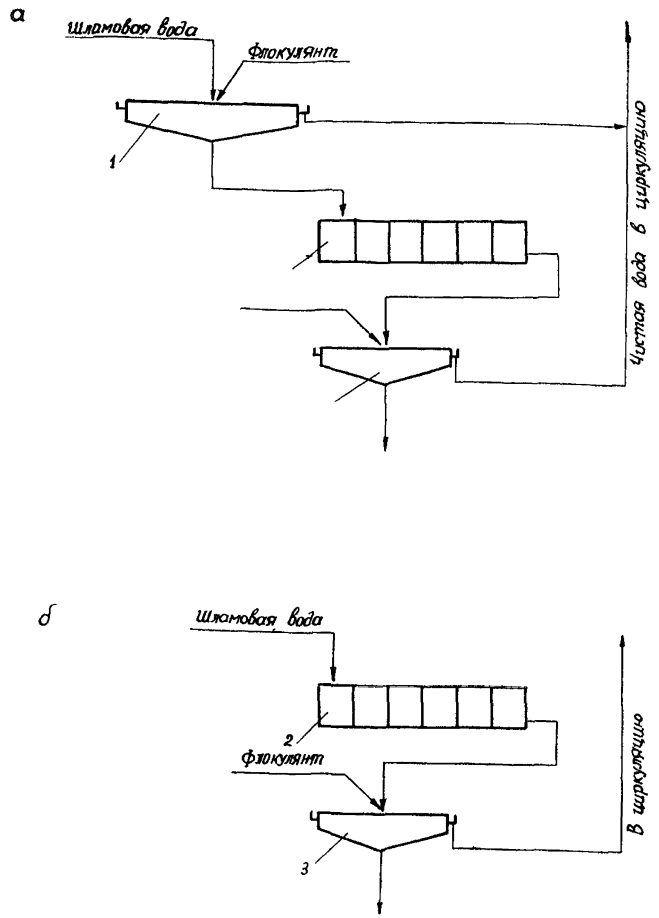


Рис. 23. Схема с глубоким осветлением циркуляционной шламовой воды:

а – с флокуляцией шлама и хвостов флотации;

б – с флокуляцией хвостов флотации;

1 – сгуститель осветления шламовых вод;

2 – флотационные машины;

3 – сгуститель осветления хвостов флотации

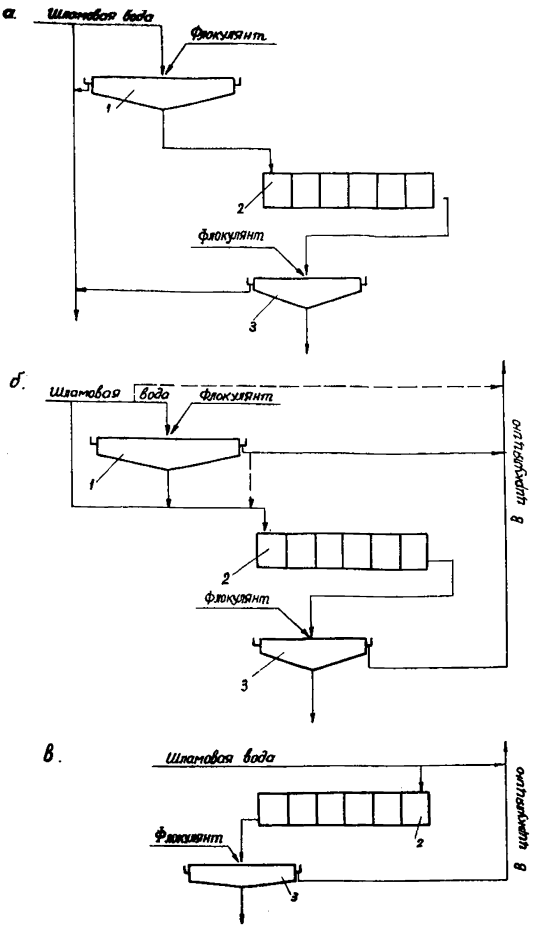


Рис. 24. Комбинированная схема осветления циркуляционной шламовой воды:

а – с глубоким осветлением части шламовой воды;

б – с предварительным сгущением части шламов;

в – без предварительного сгущения шлама;

1 – сгуститель осветления шламовой воды;

2 – флотационные машины;

3 – сгуститель осветления вод хвостов флотации

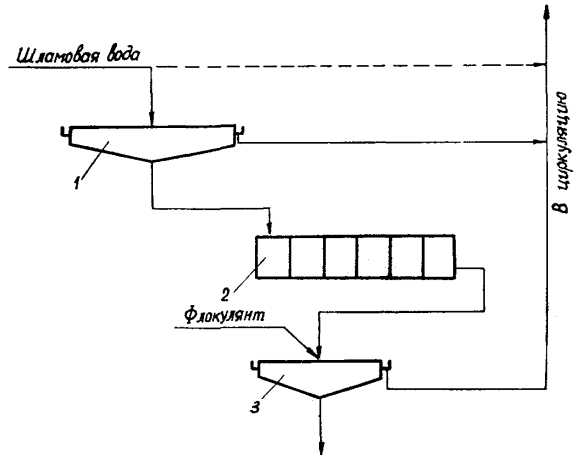


Рис. 25. Схема с неглубоким осветлением шламовой воды (двухстадиальная):
1 - сгуститель для осветления шламовой воды;
2 - флотационные машины;
3 - сгуститель осветления вод хвостов флотации

разжижение питания флотации снизило производительность флотомашин и вакуум-фильтров.

В последние годы всё большее распространение на фабриках получают схемы второго типа, т.е. комбинированные (см. рис. 24).

Комбинированная схема (рис. 24 а) использовалась на ОФ Горловского КХЗ, схема (рис. 24 б) применяется на ОФ Днепропетровского КХЗ, ЦОФ "Калининская" и "Дзержинская", схема (рис. 24 в) - на углеобогатительных фабриках Ясиновского, Макеевского, Карагандинского, Енакиевского КХЗ, ЦОФ "Колосниковская", "Октябрьская", "Краснолиманская", "Добропольская" и др.

Комбинированная схема осветления циркуляционных вод и обработки шламов, предусматривающая глубокое осветление части шламовой воды и предварительное сгущение шламов другой её части, находит применение и за рубежом. Эти схемы позволяют поддерживать содержание твёрдого в циркуляционной воде не более 40-60 г/л при относительно хороших качественно-количественных показателях обогащения.

На многих углеобогатительных фабриках еще сохранились схемы третьего типа, так называемые двухстадиальные схемы (рис. 25). Они предусматривают в первой стадии классификацию шлама по крупности, а во второй - осветление воды и предварительное сгущение шлама. Эти схемы менее эффективны.

2. Обоснование и выбор водно-шламовой схемы

Для оценки схем осветления воды рекомендуется показатель циркуляции К. Он представляет собой отношение количества шлама, поступающего в систему с рядовым углем и дополнительно образовавшегося в процессе обогащения, ко всему шламу, поступающему в систему с рядовым углем, дополнительно образовавшемуся, циркулирующему с оборотной водой и энергетическому шламу, теряемому со сбросами, т.е.

$$K = \frac{G_р + G_д}{G_р + G_д + G_ц + G_с}, \qquad (3)$$

где $G_р$ – количество шлама, поступающего в систему с рядовым углём, т/ч;

$G_д$ – количество шлама, дополнительно образующегося в процессе обогащения, т/ч;

$G_ц$ – количество шлама в циркуляционной воде, т/ч;

$G_с$ – количество шлама, теряемого со сбросами, т/ч.

Для конкретной фабрики чем больше шлама в циркуляционной воде, тем меньше показатель циркуляции К. При чистой циркуляционной воде и отсутствии сбросов показатель циркуляции равен максимальному своему значению, т.е. единице.

Режим водно-шламового хозяйства считается нормальным, если значение показателя К равно:

для фабрик, обогащающих антрациты – более 0,35,

для фабрик, обогащающих коксовые угли – более 0,45,

для фабрик, обогащающих газовые угли – более 0,50.

Если значение К меньше указанных величин, водно-шламовая схема не обеспечивает нормальной работы, что влечет за собой сброс шлама или чрезмерное загрязнение циркуляционной воды.

3. Расчёт водно-шламовых схем

Ниже приведен порядок расчёта наиболее перспективных в настоящее время комбинированных водно-шламовых схем.

Комбинированная схема с предварительным сгущением части шлама рассчитывается, исходя из следующих величин (рис. 26):

$Q_о$ – количество шлама, поступающего в систему с рядовым углём и образующегося в процессе обогащения, равное количеству шлама подвергающегося флотации Q_5, кг/ч;

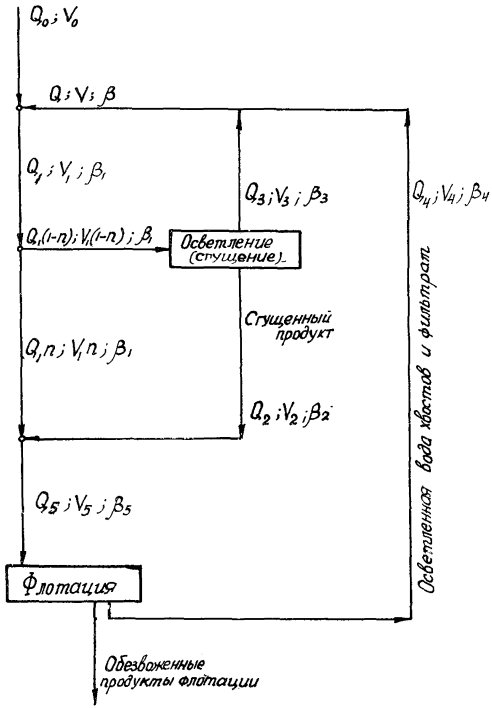


Рис. 26. Комбинированная схема с предварительным сгущением части шлама

V – количество циркуляционной воды, м^3/ч;

β – требуемое содержание твёрдого в циркуляционной воде, кг/м^3;

β_5 – требуемое содержание твёрдого в питании флотации, кг/м^3;

β_2 – содержание твёрдого в сгущенном продукте сгустителя, кг/м^3.

Величина n, отражающая количество шламовой воды, направляемой на флотацию без сгущения (в долях единицы), может быть определена из равенства (рис. 26)

$$V_1 n = V_5 - V_2, \quad \text{м}^3/\text{ч}, \qquad (4)$$

где V_1 – количество циркуляционной (V) и технической (V_0) воды, м^3/ч. Так как величина V_0 по сравнению с количеством циркуляционной воды невелика, то ею можно пренебречь и далее считать $V_1 = V$;

V_5 – количество шламовой воды, поступающей на флотацию, м^3/ч;

V_2 – количество сгущенного продукта, м^3/ч.

Величина V_5 определяется из формулы

$$V_5 = \frac{Q_0}{\beta_5}, \quad \text{м}^3/\text{ч}, \qquad (5)$$

а величина V_2 может быть найдена из равенства

$$V_2 \beta_2 = V(1-n)\beta_1 - V_3 \beta_3, \quad \text{кг/ч}, \qquad (6)$$

где $(1-n)$ – количество шламовой воды, поступающей в сгуститель, доли ед.;

β_1 – содержание твёрдого в питании сгустителя, кг/м^3;

V_3 – количество слива радиального сгустителя, $м^3/ч$;

β_3 – содержание твёрдого в сливе сгустителя, $кг/м^3$.

Количество шлама в сливе сгустителя $V_3\beta_3$ определяется из разности (рис. 26)

$$V_3\beta_3 = V\beta - V_4\beta_4, \quad кг/ч,$$

где V_4 – осветленная вода хвостов флотации и фильтрат, возвращаемые в циркуляцию, $м^3/ч$;

β_4 – содержание твёрдого в объёме V_4, $кг/м^3$.

Твёрдым в объёме V_4 можно пренебречь, т.к. количество его по сравнению с общим количеством шлама невелико, тогда

$$V_3\beta_3 = V\beta, \quad кг/ч.$$

Содержание твёрдого в питании сгустителя β_1, входящее в выражение (6), равно

$$\beta_1 = \frac{Q_o + V\beta}{V}, \quad кг/м^3. \qquad (7)$$

Подставляя полученные выражения для β_1 и $V_3\beta_3$ в равенство (6), получим

$$V_2\beta_2 = V(1-n)\frac{Q_o + V\beta}{V} - V\beta, \quad кг/ч.$$

Откуда

$$V_2 = \frac{Q_o - n(Q_o + V\beta)}{\beta_2}, \quad м^3/ч. \qquad (8)$$

Заменяя в исходном равенстве (4) величины V_5 и V_2 их выражениями (5) и (8), т.е.

$$Vn = \frac{Q_o}{\beta_5} - \frac{Q_o - n(Q_o + V\beta)}{\beta_2}, \quad м^3/ч,$$

найдём искомую величину n

$$n = \frac{Q_o(\beta_2 - \beta_5)}{\beta_5[V(\beta_2 - \beta) - Q_o]}, \text{ доли ед.} \quad (9)$$

Количество шламовой воды, направляемой непосредственно на флотацию, составит

$$Vn = \frac{VQ_o(\beta_2 - \beta_5)}{\beta_5[V(\beta_2 - \beta) - Q_o]}, \ м^3/ч. \quad (10)$$

Количество шламовой воды, направляемой в сгуститель, будет,

$$V(1-n) = V - \frac{VQ_o(\beta_2 - \beta_5)}{\beta_5[V(\beta_2 - \beta) - Q_o]}, \ м^3/ч. \quad (11)$$

Количество сгущенного продукта, поступающего на флотацию

$$V_2 = V_5 - Vn, \ м^3/ч. \quad (12)$$

Но так как по условию $Q_5 = Q_o$, то

$$V_2 = \frac{Q_o}{\beta_5} - Vn, \ м^3/ч. \quad (13)$$

Количество шламовой воды, поступающей в слив сгустителя, определяется следующим образом:

$$V_3 = V - V_4, \ м^3/ч. \quad (14)$$

Так как количество воды, уходящей с обезвоженным флотоконцентратом, относительно невелико, то $V_4 = V_5$ и согласно начальному условию

$$V_4 = V_5 = \frac{Q_o}{\beta_5}, \ м^3/ч.$$

Тогда величина V_3 будет равна

$$V_3 = V - \frac{Q_o}{\beta_5}, \ м^3/ч. \quad (15)$$

Содержание твёрдого в сливе сгустителя согласно выражению (7), если пренебречь твёрдым, содержащимся в осветлённых хвостах флотации и фильтрате, будет равно

$$\beta_3 = \frac{V\beta}{V_3}, \quad кг/м^3,$$

или, подставив значение V_3 из выражения (15), получим

$$\beta_3 = \frac{V\beta\beta_5}{V\beta_5 - Q_0}, \quad кг/м^3. \qquad (16)$$

Таким образом, выведены все выражения величин, необходимые для расчёта комбинированной водно-шламовой схемы с предварительным сгущением только части шламов (рис. 26).

Расчёт схем, предусматривающих направление фильтрата не в оборотную воду, а на флотацию, производится по полученным выражениям, но количество циркуляционной воды V должно быть уменьшено в соответствующих формулах на величину $\frac{0,1\,Q_0}{\beta_ф}$, т.е. на количество фильтрата, содержание твёрдого в котором $\beta_ф$ принимается равным 30-40 кг/м^3.

Комбинированная схема без предварительного сгущения части шламов может быть рассчитана при заданном содержании твёрдого в циркуляционной воде либо при заданном содержании твёрдого в питании флотации (рис. 27).

В первом случае исходными величинами являются:

Q_0 – количество шлама, поступающее в систему и подлежащее флотации;

V – количество циркуляционной воды и

β – требуемое содержание твёрдого в циркуляционной воде.

Поскольку количество добавляемой в процесс технической воды V_0 по сравнению с количеством циркуляционной невелико, то им можно пренебречь и в дальнейшем считать $V = V_1$.

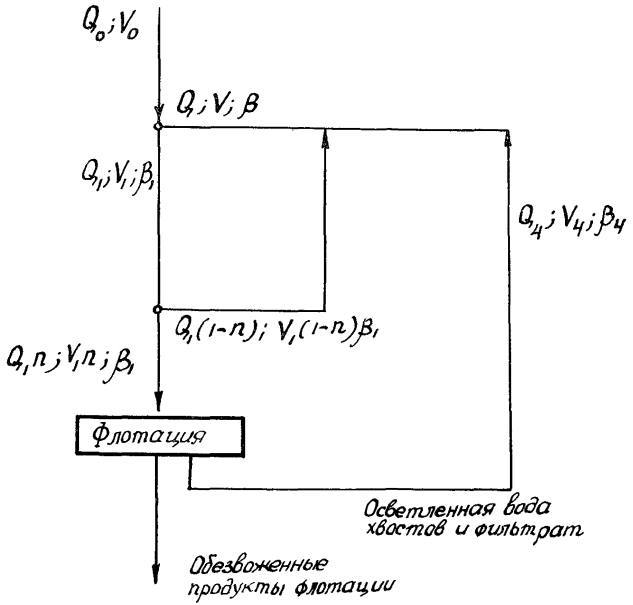


Рис. 27. Комбинированная схема осветления шламовой воды без предварительного сгущения шламов

Количество шламовой воды, направляемой на флотацию, согласно условию равно

$$V n \beta_1 = Q_o , \quad м^3/ч. \qquad (17)$$

Содержание твёрдого в питании флотации β_1 определяется из равенства

$$V\beta_1 = Q_o + V\beta , \quad кг/ч;$$

откуда

$$\beta_1 = \frac{Q_o + V\beta}{V} , \quad кг/м^3. \qquad (18)$$

Подставив выражение β_1 в условие (17), запишем

$$V n \frac{Q_o + V\beta}{V} = Q_o , \quad кг/ч$$

и, преобразовав относительно величины n, получим

$$n = \frac{Q_o}{Q_o + V\beta} , \quad доли \ ед. \qquad (19)$$

Количество шламовой воды, возвращаемой в циркуляцию, равно

$$V(1 - n) = V - \frac{Q_o V}{Q_o + V\beta} , \quad м^3/ч. \qquad (20)$$

Во втором случае задаётся содержание твёрдого в питании флотации β_1. Тогда величина n равна (рис. 27):

$$n = \frac{Q_o}{V\beta_1} , \quad доли \ ед. \qquad (21)$$

Количество шламовой воды, возвращаемой в циркуляцию, составит

$$V(1-n) = V - \frac{Q_o}{\beta_1}, \quad м^3/ч. \qquad (22)$$

Содержание твёрдого в циркуляционной воде определится из равенства

$$V\beta_1 = V\beta + Q_o, \quad кг/ч,$$

т.е. $$\beta = \frac{V\beta_1 - Q_o}{V}, \quad кг/м^3. \qquad (23)$$

Более часто применяются схемы, в которых только часть шламовой воды направляется на предварительную классификацию по крупности с последующей флотацией слива. Крупнозернистый шлам возвращается при этом на отсадочные машины (рис. 28).

Количество шламовой воды, направляемой на флотацию, определяется так же, как и прежде, и равно произведению

$$nV.$$

Однако в этом случае величина n определяется по формуле

$$n = \frac{Q_o + V\beta}{Q_o + 2V\beta}. \qquad (24)$$

Содержание твёрдого в питании флотации при этом будет равно

$$\beta_5 = \frac{Q_o}{nV}; \quad кг/м^3. \qquad (25)$$

Количество осветлённой воды хвостов флотации и фильтрата можно принимать в расчёте равным количеству шламовой воды, поступающей на флотацию, т.е. $V_4 = V_5$.

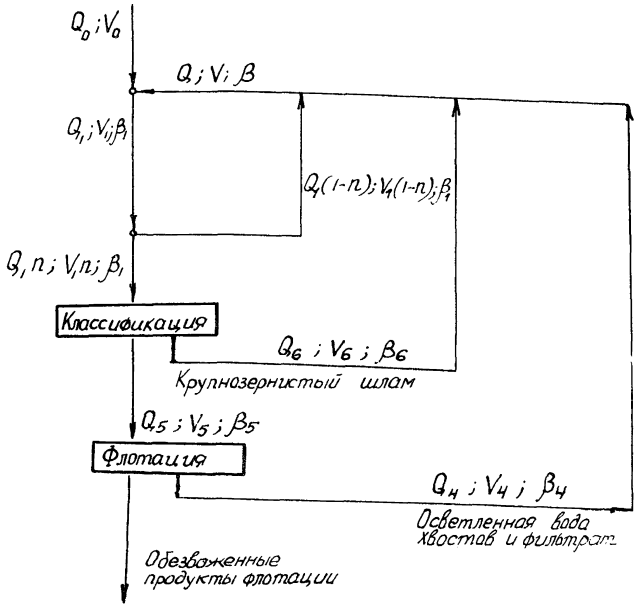


Рис. 28. Комбинированная схема осветления циркуляционной шламовой воды с циркуляцией крупнозернистого шлама

Таким образом, получены все необходимые выражения для основных потоков различных вариантов комбинированных схем.

Требуемая площадь сгустителя шламовой воды определяется исходя из удельной нагрузки. Экспериментально установлено, что удельная нагрузка на сгуститель зависит от содержания твёрдого в питании и необходимого содержания твёрдого в продуктах сгустителя.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получена следующая зависимость для удельной нагрузки:

$$q = \sqrt{|A^2 - B|} + A, \ м^3/м^2 \cdot ч, \qquad (26)$$

где

$$A = 6{,}5 - 1{,}08 \ln \left(100 \frac{P_п - P_{сл}}{P_п} \right) - 0{,}507 \frac{P_п}{100},$$

$$B = \left| \left(1{,}34 - 0{,}437 \ln \frac{P_{сг} - P_п}{10} \right) \cdot \frac{P_{сл}}{100} \right|;$$

$P_п$ – содержание твёрдого в питании сгустителя, г/л;

$P_{сл}$ – содержание твёрдого в сливе, г/л;

$P_{сг}$ – содержание твёрдого в сгущенном продукте, г/л.

Зная удельную нагрузку, можно определить требуемую площадь осветления шламовой воды

$$F = \frac{V}{q}, \ м^2,$$

где V – количество шламовой воды, направляемой в сгуститель, $м^3/ч$.

Требуемая площадь сгустителя на одну тонну обрабатываемого шлама будет равна

$$f = \frac{V}{Q_o q}, \ м^2 \cdot ч/т. \qquad (27)$$

Производительность флотационных машин по твёрдому при прочих равных условиях зависит от содержания твёрдого в питании. Эта зависимость может быть представлена в виде[x]

$$Q = Q_o \sqrt[3]{\left(\frac{P}{P_o}\right)^2}, \quad т/ч, \qquad (28)$$

где Q – производительность флотационных машин при требуемом содержании твёрдого в питании P, т/ч;

Q_o – производительность флотационных машин при фактическом содержании твёрдого в питании P_o, т/ч.

При уменьшении содержания твёрдого в питании от P_o до P производительность флотационных машин уменьшается от Q_o до Q, т.е. в

$$m = \frac{Q}{Q_o} = \sqrt[3]{\left(\frac{P}{P_o}\right)^2}, \quad раз. \qquad (29)$$

Если, например, содержание твёрдого в питании флотации уменьшается с 200 до 100 г/л, то производительность флотационных машин уменьшается в

$$m = \sqrt[3]{\left(\frac{200}{100}\right)^2} = 1{,}6 \text{ раза.}$$

Во столько же раз потребуется увеличить количество флотационных машин при обогащении одного и того же количества шлама.

Содержание твёрдого в пенном продукте зависит от содержания твёрдого в питании флотации и по данным практики (при содержании твёрдого в питании в пределах 50–350 г/л) может быть выражено следующей зависимостью:

$$P_{пен} = 100 + (1{,}2 \div 1{,}3) P_п, \qquad (30)$$

x) В.П.Щербенко. Автореферат кандидатской диссертации, 1971.

где $Р_{пен}$ – содержание твёрдого в пенном продукте, кг/м^3;

$Р_п$ – содержание твёрдого в питании флотации, кг/м^3;

(1,2÷1,3) – числовой коэффициент: при более глинистых шламах принимается 1,2; при менее глинистых – 1,3.

Производительность вакуум-фильтров в значительной степени зависит от содержания твёрдого в пенном продукте.

Для расчёта удельной производительности вакуум-фильтров можно пользоваться формулой

$$q = \frac{A}{\sqrt{\frac{1}{C} - \frac{1}{\rho}}}, \quad т/м^2 \cdot ч, \qquad (31)$$

где A – коэффициент, учитывающий особенности вакуум-фильтра. Для флотационных концентратов коксующихся углей, обезвоживаемых на дисковых вакуум-фильтрах, значение A может приниматься равным 0,0197;

C – содержание твёрдого в питании фильтра, кг/м^3;

ρ – плотность твёрдого, кг/м^3.

С увеличением плотности твёрдого согласно формуле (32) уменьшается расчётная удельная производительность вакуум-фильтра. Это объясняется тем, что увеличение плотности флотационных концентратов, как правило, сопровождается ростом его зольности.

Ниже приведен расчёт комбинированных водно-шламовых схем ЦОФ "Калининская" и ОФ Ясиновского КХЗ.

ЦОФ "Калининская". Особенностью комбинированной схемы этой фабрики является подача на флотацию вместе со сгущенным продуктом радиального сгустителя части его слива и возврата на флотацию фильтрата вакуум-фильтров. Для обезвоживания мелкого концентрата применяются багер-зумпфы, где и происходит достаточная классификация угля.

Слив багерзумпфа поступает в радиальный сгуститель. Чистый слив радиального сгустителя хвостов флотации смешивается со сливом шламового радиального сгустителя и поступает в циркуляцию.

Для расчёта этой схемы приняты следующие исходные данные:

количество шлама, поступающего в процесс обогащения Q_o = 114 000 кг/ч; количество циркуляционной воды V = = 2 890 м³/ч, требуемое содержание твёрдого в циркуляционной воде β = 50 кг/м³, содержание твёрдого в питании флотации β_5 = 135 кг/м³ и содержание твёрдого в сгущенном продукте β_2 = 235 кг/м³.

Количество шламовой воды, направляемой на флотацию, в данном случае совместно с фильтратом, определяется по формуле (10):

$$V_n = \frac{2890 \cdot 114\,000\ (\ 235 - 135)}{135\ [2890\ (235 - 50) - 114000]} = 580\ м^3/ч.$$

Количество фильтрата составляет

$$\frac{0{,}1\ Q_o}{\beta_ф} = \frac{0{,}1\ \cdot\ 114\,000}{40} = 285\ м^3/ч.$$

Тогда количество шламовой воды (по данной схеме количество слива радиального сгустителя), направляемое на флотацию, будет

$$V_n - \frac{0{,}1\ Q_o}{\beta_ф} = 580 - 285 = 295\ м^3/ч.$$

Количество шламовой воды, поступающей в радиальный сгуститель на данной фабрике, равно количеству циркуляционной воды, т.е. 2890 м³/ч, а содержание твёрдого в питании по формуле (7) составит

$$\beta_1 = \frac{Q_o + V\beta}{V} = \frac{114\,000 + 2\,890\ \cdot 50}{2890} = 90\ кг/м^3.$$

Количество сгущенного продукта, направляемое на флотацию, согласно формуле (13) будет равно

$$V_2 = \frac{Q_o}{\beta_5} - V_n = \frac{114\,000}{135} - 580 = 265\ м^3/ч.$$

Количество слива сгустителя, направляемое в циркуляцию, составит

$$V_3 = V - V_2 - \left(Vn - \frac{0,1\,Q_o}{\beta_\phi} \right) = 2890 - 265 - 295 = 2330 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Содержание твёрдого в сливе сгустителя будет равно

$$\beta_3 = \frac{V\beta}{V_3} = \frac{2890 \cdot 50}{2330} = 62 \text{ кг/м}^3.$$

Таким образом, рассчитаны характеристики всех основных потоков схемы. Однако содержание твёрдого в сгущенном продукте радиального сгустителя может быть несколько иным, чем принято в исходных данных. Это отклонение практически вполне допустимо и вызывается сделанными некоторыми допущениями при выводе расчётных формул.

Удельная нагрузка на радиальный сгуститель рассчитывается по формуле (26)

$$q = \sqrt{|A^2 - B|} + A, \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч},$$

где

$$A = 6,5 - 1,08 \ln (100 \frac{90 - 62}{90}) - 0,507 \frac{90}{100} = 2,185$$

$$B = \left| (1,34 - 0,437 \ln \frac{235 - 90}{10}) \cdot \frac{62}{100} \right| = 0,107$$

$$q = \sqrt{2,185^2 - 0,107} + 2,185 = 4,345 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}.$$

Требуемая площадь осветления будет равна

$$F = \frac{2890}{4,345} = 668 \text{ м}^2.$$

Диаметр радиального сгустителя составит

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 668}{3,14}} = 29,2 \approx 30 \text{ м}.$$

ОФ Ясиновского КХЗ. На этой фабрике принята комбинированная схема без предварительного сгущения части шлама. Классификации по размеру 0,5 мм подвергается только та часть шлама, которая поступает на флотацию. Остальная часть шламовой воды возвращается в циркуляцию.

Исходные данные для расчёта :

$$Q_o = 200\,000 \text{ кг/ч}; \quad \beta = 130 \text{ кг/м}^3; \quad V = 3\,200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Количество шламовой воды, поступающей на флотацию, по формуле (24) составит

$$n = \frac{Q_o + V\beta}{Q_o + 2V\beta} = \frac{200\,000 + 3\,200 \cdot 130}{200\,000 + 2 \cdot 3200 \cdot 130} = 0{,}6$$

или

$$Vn = 3200 \cdot 0{,}6 = 1920 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Содержание твёрдого в питании флотации определяем по формуле (25)

$$\beta_5 = \frac{Q_o}{Vn} = \frac{200\,000}{1920} = 104 \text{ кг/м}^3.$$

4. Сравнение различных вариантов схем

Для сравнения показателей различных вариантов водно-шламовых схем приняты: количество шлама 100 т/ч, что соответствует производительности фабрики (секции) 500 т/ч по рядовому углю; количество циркуляционной воды из расчёта 4 м^3 на 1 тонну рядового угля – 2000 м^3/ч; содержание твёрдого в циркуляционной воде 20, 40, 60 и 80 г/л. Во всех схемах приняты флотационные машины ФМУ-2-63 и вакуум-фильтры "Украина-80".

Таблица 30

Основные расчётные показатели двухстадиальной и комбинированной схем

Наименование показателей	Содержание твёрдого в циркуляционной воде, кг/м³			
	20	40	60	80
1	2	3	4	5
Двухстадиальная схема				
Количество шламовой воды, поступающей на флотацию, м³/ч	500	500	500	500
Количество шламовой воды, поступающей в сгуститель, м³/ч	2000	2000	2000	2000
Содержание твёрдого в питании сгустителя	70	90	110	130
Количество слива сгустителя, м³/ч	1500	1500	1500	1500
Содержание твёрдого в сливе сгустителя, кг/м³	27	53	80	107
Количество сгущенного продукта, м³/ч	500	500	500	500
Содержание твёрдого в сгущенном продукте, кг/м³	200	200	200	200
Удельная производительность радиального сгустителя для осветления шламовой воды, м³/м².ч	3,39	4,06	4,76	5,36
Удельная площадь сгустителя на 1 т шлама, м².ч/т	5,90	4,93	4,21	3,73

1	2	3	4	5
Необходимая площадь сгустителя, $м^2$	590	493	421	373
Удельный объём флотокамер на 1 т шлама, $м^3 . ч/т$	0,525	0,525	0,525	0,525
Содержание твёрдого в пенном продукте, $кг/м^3$	350	350	350	350
Площадь фильтрования на 1т шлама, $м^2 . ч/т$	1,97	1,97	1,97	1,97
Количество хвостов флотации, поступающих на осветление, $м^3/ч$	257	257	257	257
Удельная нагрузка на сгуститель хвостов флотации, $м^3/м^2 . ч$	1,2	1,2	1,2	1,2
Требуемая площадь осветления хвостов флотации на 1т обрабатываемого шлама, $м^2 . ч/т$	2,12	2,12	2,12	2,12
Суммарная площадь осветления шламовой воды и хвостов флотации на 1т шлама, $м^2 ч/т$	8,02	7,05	6,33	5,85
Комбинированная схема с предварительным сгущением части шлама				
Количество шламовой воды, поступающей непосредственно на флотацию				
n , доли единицы	0,116	0,122	0,128	0,135
$м^3/ч$	233	244	256	270
Общее питание флотации, $м^3/ч$	500	500	500	500

1	2	3	4	5
Количество шламовой воды, поступающей в сгуститель, $м^3/ч$	1767	1756	1744	1730
Содержание твёрдого в питании сгустителя, $кг/м^3$	70	90	110	130
Количество слива сгустителя, $м^3/ч$	1267	1256	1244	1230
Содержание твёрдого в сливе сгустителя, $кг/м^3$	26	51	77	101
Количество сгущенного продукта, $м^3/ч$	267	256	244	230
Удельная производительность радиального сгустителя, $м^3/м^2.ч$	3,3	3,9	4,5	4,9
Удельная площадь сгущения на 1т шлама, $м^2.ч/т$	5,32	4,42	3,88	3,48
Необходимая площадь сгущения, $м^2$	532	442	388	348
Удельный объём флотокамер, $м^3.ч/т$	0,488	0,488	0,488	0,488
Содержание твёрдого в пенном продукте, $кг/м^3$	350	350	350	350
Удельная площадь фильтрования, $м^2.ч/т$	1,97	1,97	1,97	1,97
Количество хвостов флотации, $м^3/ч$	257	257	257	257
Удельная нагрузка на сгуститель хвостов флотации, $м^3/м^2.ч$	1,2	1,2	1,2	1,2

1	2	3	4	5
Удельная площадь сгустителя при осветлении вод хвостов флотации, $м^2 . ч/т$	2,12	2,12	2,12	2,12
Суммарная удельная площадь осветления на т шлама, $м^2 . ч/т$	7,44	6,54	6,00	5,90
Комбинированная схема без предварительного сгущения части шламов				
Количество шламовой воды, поступающей на флотацию:				
n, доли единицы	0,715	0,556	0,455	0,385
$м^3/ч$	1430	1120	910	770
Содержание твёрдого в питании флотации, $кг/м^3$	70	90	110	130
Удельный объём флотационных камер, $м^3 . ч/т$	1,05	0,89	0,78	0,69
Содержание твёрдого в пенном продукте, $кг/м^3$	188	213	238	262
Удельная площадь фильтрования на 1 т шлама, $м^2 . ч/т$	3,45	3,22	3,03	2,78
Количество хвостов флотации, $м^3/ч$	875	710	552	446
Удельная производительность сгустителя для хвостов флотации, $м^3/м^2 . ч$	1,2	1,2	1,2	1,2
Удельная площадь сгустителя для хвостов флотации, $м^2 ч/т$	8,1	5,9	4,6	3,72

Из приведенных сравнительных данных видно, что наибольшая суммарная площадь осветления шламовых вод требуется для схемы с неглубоким осветлением всей шламовой воды.

Необходимый объём флотокамер и площадь фильтрования с неглубоким осветлением всей шламовой воды и в комбинированной схеме с предварительным сгущением части шлама одинаковые, а в комбинированной схеме без предварительного сгущения - значительно больший.

Количество флотомашин и вакуум-фильтров в первых двух типах схем одинаково и не зависит от содержания твёрдого в циркуляционной воде, а в схеме без предварительного сгущения части шлама оно увеличивается по мере снижения содержания твёрдого в циркуляционной воде и расхода воды на 1 т рядового угля.

Относительно рассмотренных и других вариантов водно-шламовых схем можно сделать следующие выводы.

Водно-шламовая схема, предусматривающая подачу всей воды и шлама (без предварительного сгущения) на флотацию, может быть рекомендована к применениею только при расходе воды на 1 т обогащаемого угля не более 2 $м^3$. При бóльшем расходе воды эта схема (иногда её называют "прямая") менее выгодна, так как требует большого количества флотомашин, вакуум-фильтров и значительной площади осветления хвостов флотации.

Схема с неглубоким осветлением всей шламовой воды может оказаться в какой-то степени применимой только при выдаче сгущенного продукта из радиальных сгустителей с таким содержанием твёрдого, которое требуется для флотации. Это позволит направлять сгущенный продукт на флотацию без разбавления. Однако и в этом случае площадь для осветления шламовой воды и хвостов флотации будет достаточно велика.

Комбинированные водно-шламовые схемы как с предварительным сгущением части шлама, так и без него более предпочтительны.

Комбинированная схема с предварительным сгущением части шлама является наиболее приемлемой, так как она требует меньшие общие площади для осветления вод, меньшее

количество флотационных машин и вакуум-фильтров. Эта схема наиболее гибкая и менее чувствительна к колебаниям в расходах воды. Комбинированная схема без предварительного сгущения части шлама также может быть рекомендована для применения. Основное её преимущество - простота и удобство в эксплуатации. Однако с увеличением расхода воды на 1 т рядового угля более 2 м^3 и с уменьшением содержания твёрдого в циркуляционной воде количество флотационных машин и вакуум-фильтров значительно увеличивается.

К недостаткам этой схемы следует отнести и излишнее измельчение циркулирующего крупнозернистого шлама.

5. Рекомендуемые водно-шламовые схемы

Для фабрик, имеющих флотацию, рекомендуются преимущественно комбинированные схемы с предварительным сгущением части шлама перед флотацией. По этой схеме (рис. 29) мелкий концентрат обезвоживается в багерзумпфах. Часть слива зумпфа поступает непосредственно на флотацию, а другая часть - в радиальный сгуститель. Нагрузка на сгуститель при выдаче сгущенного продукта с содержанием твёрдого 220-270 кг/м^3 может приниматься равной 4-5 м^3/м^2.ч.

Комбинированная схема без предварительного сгущения шлама перед флотацией, как менее экономичная, может быть рекомендована для фабрик, где расход циркуляционной воды не превышает 2,5-3 м^3/т и где к качеству циркуляционной воды предъявляются более низкие требования.

Более преспективной является схема, изображенная на рис. 30. Отличительной особенностью этой схемы является отделение шлама в начале процесса, предотвращающее излишнее шламообразование и циркуляцию шламов. При такой схеме в процесс обогащения подаётся практически чистая вода. Подрешетный продукт классификации рядового угля по зерну 13 (10) мм направляется в гидравлический классификатор, где выделяется шлам крупностью менее 0,5 мм. Расход воды на мокрую классификацию не превышает 2,5-3 м^3/т, поэтому слив классификатора направляется непосредственно на флотацию. Мелкий концентрат отсадочных машин

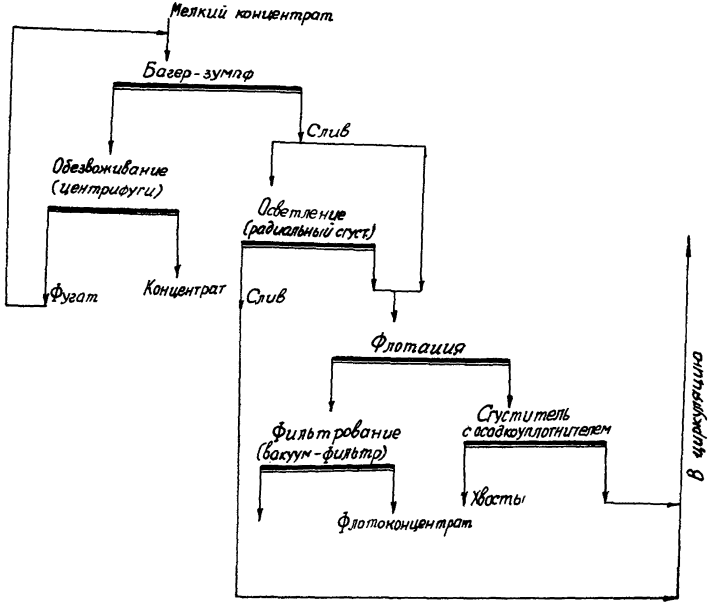


Рис. 29. Водно-шламовая схема для фабрик с флотацией шлама

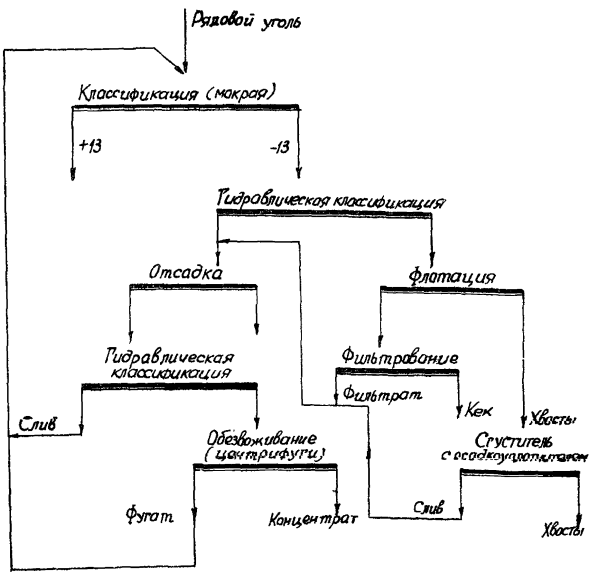


Рис. 30. Перспективная, водно-шламовая схема для фабрик с флотацией шлама

также поступает в гидравлический классификатор. Так как практически весь исходный шлам выделен вначале, в сливе классификатора содержится небольшое количество шлама и он используется для классификации рядового угля.

Для фабрик, не имеющих флотации, с глубиной обогащения 13 (10) мм рекомендуется следующая водно-шламовая схема (рис. 31). Подрешетная вода подаётся в гидроциклоны диаметром 900 или 1200 мм. Сгущенный продукт гидроциклонов поступает на ленточный вакуум-фильтр, осадок которого направляется на сушку, а фильтрат в циркуляцию. Часть слива гидроциклона возвращается в циркуляцию, а другая направляется в сгуститель с осадкоуплотнителем. Сгущенный продукт этого сгустителя также подаётся на ленточный вакуум-фильтр, а чистый слив возвращается в циркуляцию. В тех случаях, когда твёрдое слива сгустителя и фильтрата ленточного вакуум-фильтра имеет высокую зольность, эти продукты полностью или частично сбрасываются в илонакопитель.

Для фабрик, обогащающих антрациты, перспективной является схема (рис. 32), при которой осуществляется полное обогащение антрацитов по крупности. Эта схема обеспечивает улавливание и обезвоживание шламов и приемлемое содержание твёрдого в циркуляционной воде.

6. Схемы обезвоживания и складирования хвостов флотации

В связи со сложностью решения вопросов обезвоживания и складирования хвостов флотации на углеобогатительных фабриках применяются и испытываются различные схемы.

Наиболее распространенной схемой обработки хвостов флотации является схема, изображенная на рис. 33 а, по которой вода с помощью флокулянта осветляется в радиальном сгустителе до содержания твёрдого в сливе менее 1 г/л и направляется в циркуляцию, а сгущенные до 180–300 г/л хвосты сбрасываются в наружные отстойники. Осевший

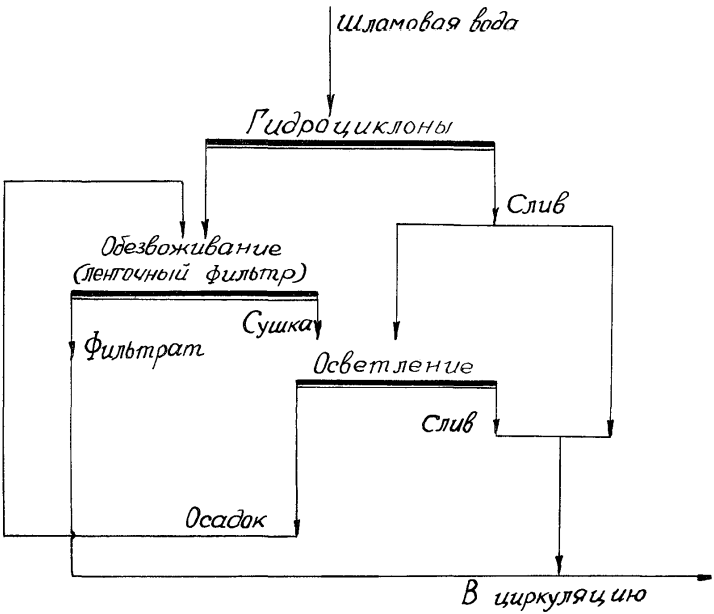


Рис. 31. Водно-шламовая схема для фабрик без флотации шлама

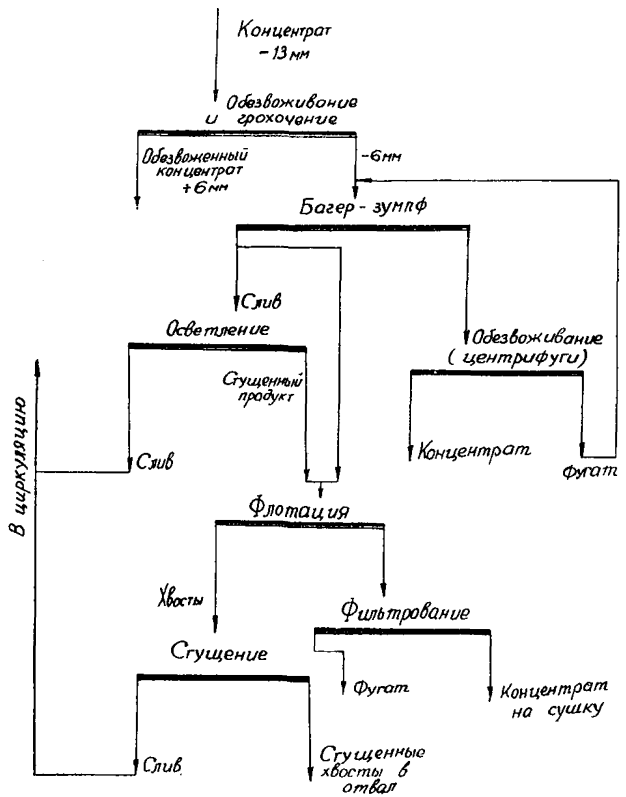


Рис. 32. Водно-шламовая схема антрацитовых фабрик с флотацией шлама

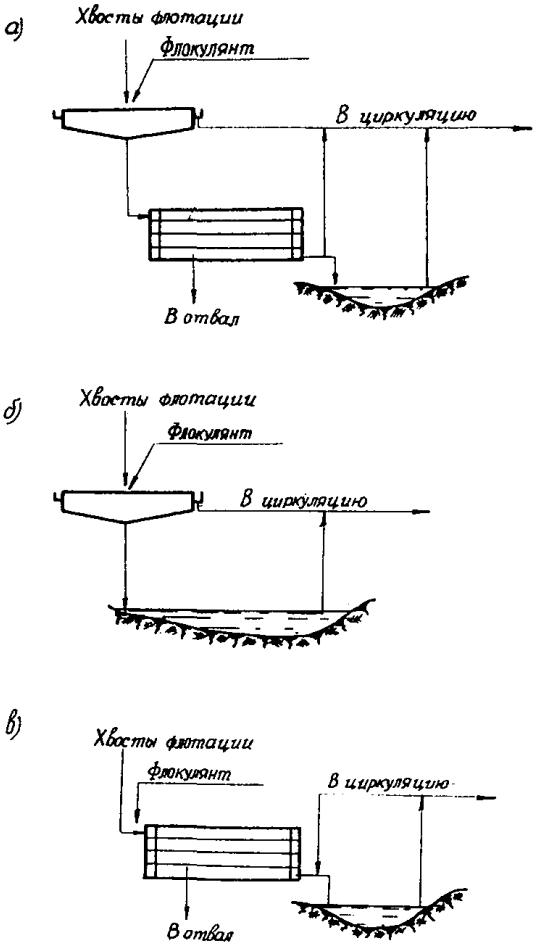


Рис. 33. Схемы обезвоживания хвостов флотации:

а – с применением радиального сгустителя и секционных наружных отстойников;
б – без наружных отстойников;
в – без радиального сгустителя.

материал из отстойников разгружается краном и складируется в отвал, а слив направляется в илонакопитель или частично в циркуляцию.

Несколько реже применяется эта схема в упрощенном виде (рис. 33 б), т.е. сгущенные хвосты флотации сбрасываются непосредственно в илонакопитель. Преимуществом схемы (рис. 33 а) является то, что не вся масса твёрдого сбрасывается в илонакопитель, а недостатоком - несколько худшее осаждение и уплотнение в нём твёрдого. Схема (рис. 33 б) обеспечивает лучшее осаждение и уплотнение осадка, но в этом случае требуются большие объёмы илонакопителя.

Схема (рис. 33 в) применяется еще реже, чем схема (рис. 33 б). Основной недостаток этой схемы - быстрое заполнение рыхлым осадком секций наружных отстойников, в плохом уплотнении его и, вследствие этого, возникающих трудностях при выгрузке осадка и эксплуатации отстойников.

В последние годы началось внедрение схем обработки хвостов флотации с использованием центробежно-флокуляционного и гравитационно-флокуляционного методов обезвоживания.

Центробежно-флокуляционный метод обезвоживания хвостов флотации с применением осадительных центрифуг осуществляется по схеме рис. 34. В зависимости от конкретных условий применяется параллельное (рис. 34 а) или последовательное (рис. 34 б) соединение центрифуг. В схеме (рис. 34 б) флокулянт дозируется только в центрифуги второй ступени, выделяющие наиболее высокодисперсные фракции твёрдой фазы. Обезвоженный осадок складируется в отвалы в смеси с породой.

Гравитационно-флокуляционный метод обезвоживания хвостов флотации может быть осуществлен по схеме (рис. 35 а), если сгущенные хвосты флотации направляются для дальнейшей обработки, и по схеме (рис. 35 б), если предусматривается смешивание сгущенных хвостов флотации с породой и их совместное складирование. Для получения более прочной и более обезвоженной массы рекомендуются добавки извести в количестве 5-15 кг/т.

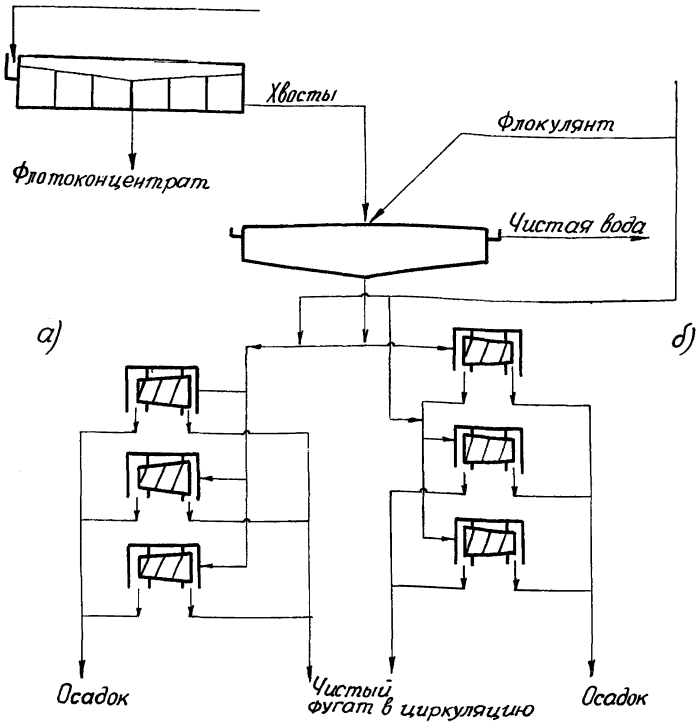


Рис. 34. Центробежно-флокуляционный метод обезвоживания хвостов флотации:

а – с параллельным подключением центрифуг;

б – с последовательным подключением центрифуг.

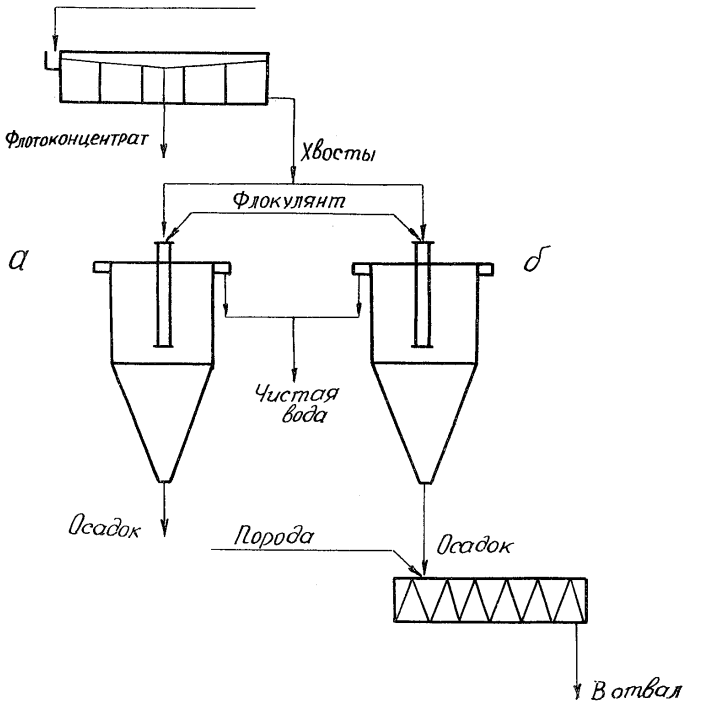


Рис. 35. Гравитационно-флокуляционный метод обезвоживания хвостов флотации

а – сгущение в сгустителе с осадкоуплотнением;
б – сгущение и смешивание с породой.

Исходные хвосты флотации по схеме (рис. 35) поступают в цилиндрическую часть сгустителя, туда же подается раствор флокулянта. Чистая вода слива возвращается в циркуляцию, а осевшая в конической части сгустителя твёрдая фаза уплотняется и выдается роторным разгрузчиком в виде густой массы.

Преимущество схем (рис. 35 а, б) в том, что в них исключаются радиальные сгустители. Кроме того, удельная нагрузка на сгуститель с осадкоуплотнителем значительно больше, чем на радиальные сгустители, а содержание твёрдого в сгущенном продукте можно доводить до 700-800 г/л вместо обычных для радиальных сгустителей 180-300 г/л.

В последние годы на фабриках нашла применение схема обработки хвостов флотации с помощью ленточных вакуум-фильтров (рис. 36). Исходные хвосты флотации поступают в гидроциклон. Слив гидроциклонов сбрасывается в наружные отстойники или илонакопители, а сгущенный зернистый продукт направляется на ленточные вакуум-фильтры. К недостаткам этой схемы относится неполное улавливание и обезвоживание твёрдого хвостов, так как значительная часть тонкой фракции, наиболее трудно поддающейся обработке, не улавливается.

Глава X. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ ШЛАМОВ

Контроль работы классификаторов и обезвоживающих устройств заключается в определении характеристики пульп, содержания твёрдого в продуктах, выходов, граничного зерна разделения и оценке результатов.

Основные характеристики шламовых пульп определяются по следующим формулам:

Плотность пульпы $\Delta_п$ - масса единицы её объёма:

$$\Delta_п = \frac{G}{V} = \Delta + \frac{\rho(\delta - \Delta)}{1000\,\delta}, \ г/см^3, \qquad (32)$$

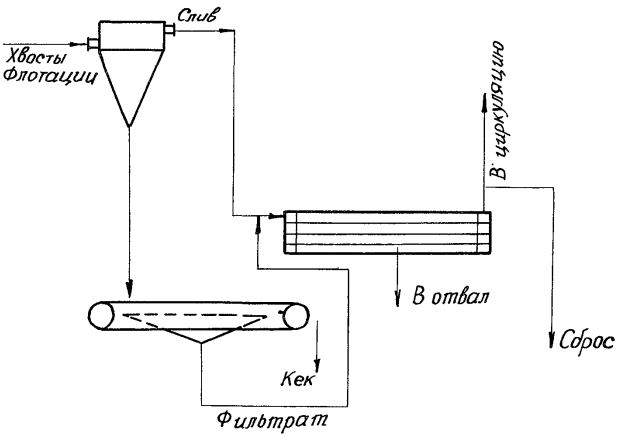


Рис. 36. Схема обработки хвостов флотации с ленточными вакуум-фильтрами

где G – масса пульпы, г;

V – объём пульпы, $см^3$;

δ – плотность твёрдого, $г/см^3$;

ρ – содержание твёрдого в пульпе, г/л;

Δ – плотность воды, равная $1 г/см^3$.

Содержание твёрдого в пульпе ρ .

$$\rho = \frac{1000\,\delta\Delta}{\Delta + n\delta}, \quad г/л, \tag{33}$$

где n – весовое отношение жидкости к твёрдому

$$n = \frac{(1000\,\delta - \rho)\Delta}{\rho\delta} . \tag{34}$$

Плотность твёрдого, выраженная через параметры пульпы

$$\delta = \frac{\rho\Delta}{1000\Delta - n\rho}, \quad г/см^3. \tag{35}$$

Объёмное содержание жидкого в 1 л пульпы $V_ж$

$$V_ж = \frac{1000\,\delta - \rho}{\delta}, \quad см^3 \text{ в } 1 л. \tag{36}$$

Объёмное содержание твёрдого в 1 л пульпы $V_т$

$$V_т = \frac{\rho}{\delta}, \quad см^3 \text{ в } 1 л. \tag{37}$$

Содержание твёрдого по весу в 1 л пульпы P , выраженное в процентах

$$P = \frac{\rho\, 100}{1000\, \Delta n}, \ \%. \qquad (38)$$

Число тонн твёрдого в 1 м^3 пульпы Q

$$Q = \frac{\rho}{1000} \ \text{или} \ \frac{\delta\Delta}{\Delta + n\delta}, \ \text{т в } 1\,\text{м}^3. \qquad (39)$$

Объём пульпы на 1 т сухого твёрдого C

$$C = \frac{1}{Q} = \frac{\Delta + n\delta}{\delta\Delta}, \ \text{м}^3 \text{ на } 1\,\text{т}. \qquad (40)$$

Процент твёрдого в пульпе по объёму q

$$q = \frac{100 V_т}{V_ж + V_т} = \frac{100\rho}{1000\delta}, \ \%. \qquad (41)$$

Основные технологические характеристики шламовых пульп можно определить и по диаграмме (рис. 37). Из пяти параметров необходимо знание двух, чтобы определить остальные три. Например, известно, что содержание твёрдого плотностью 1350 кг/м^3 составляет 200 г/л. Определяем плотность пульпы, весовое и объёмное содержание твёрдого в ней. Для этого находим точку пересечения луча ОА, соответствующего плотности 1350 кг/м^3, и линии ВЕ, соответствующей 200 г/л. Точка С искомая. Горизонталь СГ показывает, что плотность суспензии составляет 1050 кг/м^3; перпендикуляр СД – содержание твёрдого по объёму – 15%. Точка С находится от линии КЕ на расстоянии 1%, т.е. весовое содержание твёрдого составляет 19%.

Выход продуктов определяется из балансовых уравнений. Объёмный выход сгущенного продукта

$$\gamma_{сг} = \frac{100\,(\rho_1 - \rho_3)}{\rho_2 - \rho_3}, \ \%. \qquad (42)$$

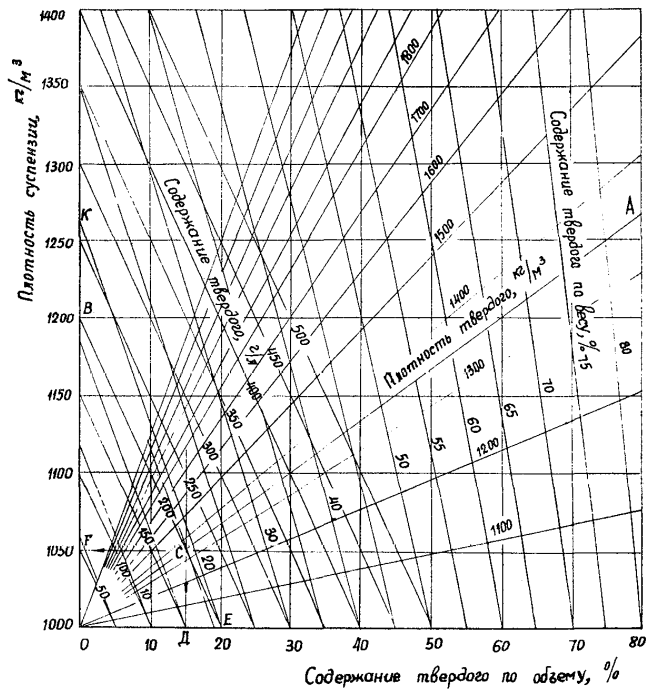


Рис. 37. Диаграмма характеристик шламовых пульп

Объёмный выход слива

$$\gamma_{сл} = \frac{100\ (\rho_2 - \rho_1)}{\rho_2 - \rho_3}\ ,\ \%\ , \qquad (43)$$

где ρ_1 – содержание твёрдого в питании, г/л;

ρ_2 – содержание твёрдого в сгущенном продукте, г/л;

ρ_3 – содержание твёрдого в сливе, г/л.

Граничное зерно классификации определяется графическим путём. Данные ситового анализа наносятся на диаграмму (рис. 38). На оси ординат откладываются извлечение фракций крупности от исходного, на оси абсцисс – размер отверстий сит. Пересечение кривых извлечения крупного и мелкого продуктов даёт точку, абсцисса которой представляет собой величину граничного зерна разделения данного материала. Зёрна этой крупности поровну распределились между сливом и сгущенным продуктом.

Оценка результатов работы классифицирующих и обезвоживающих аппаратов. Эффективность классификации может быть подсчитана по формуле

$$E = \frac{\varepsilon_{сл}\ \varepsilon_{сг}}{100}\ ,\ \%\ ,$$

где $\varepsilon_{сл}$ – извлечение зёрен крупностью менее 0,5 мм в слив, равное

$$\varepsilon_{сл} = \frac{\gamma_{сл}\ \beta}{\alpha}\ ,\ \%\ ;$$

$\varepsilon_{сг}$ – извлечение зёрен крупностью более 0,5 мм в сгущенный продукт, равное

$$\varepsilon_{сг} = \frac{\gamma_{сг}\ \theta}{100 - \alpha}\ ,\ \%\ ;$$

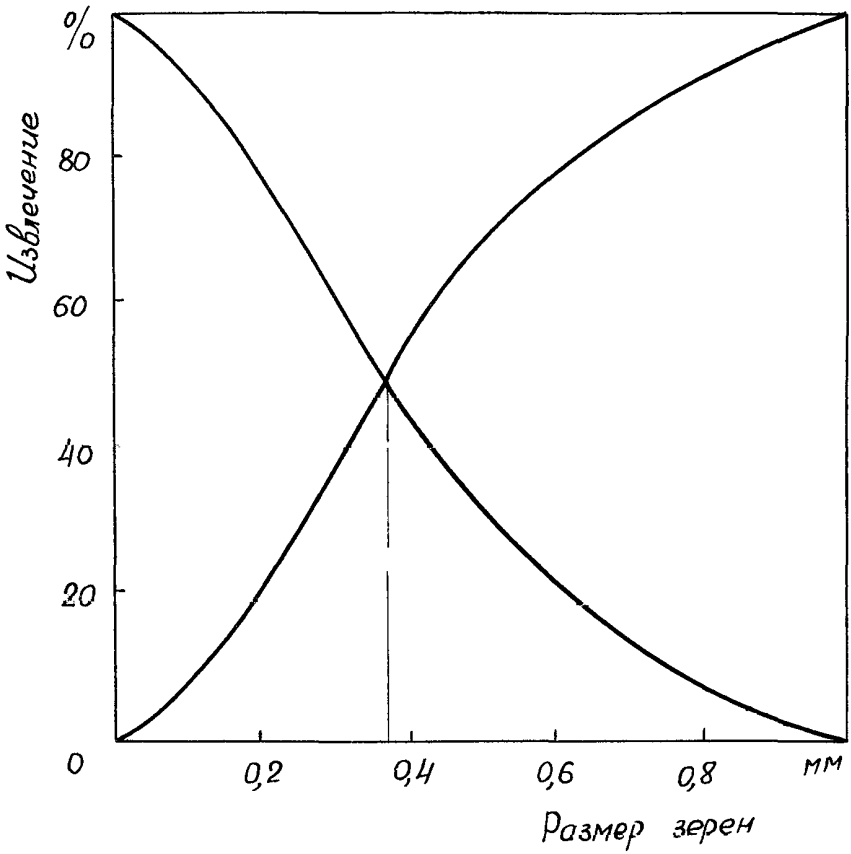


Рис. 38. Определение граничного зерна классификации

$\gamma_{сл}$ – выход твёрдого в сливе от исходного, %;

β – содержание зерен крупностью менее 0,5 мм в сливе, %;

α – содержание зерен крупностью менее 0,5 мм в исходном продукте, %;

$\gamma_{сг}$ – выход сгущенного продукта от исходного, %;

θ – содержание зёрен крупностью более 0,5 мм в сгущенном продукте, %;

$(100-\alpha)$ – содержание зерен крупностью более 0,5 мм в исходном, %.

Подставляя значения $\varepsilon_{сл}$ и $\varepsilon_{сг}$ в начальную формулу, получим расчётное выражение для определения эффективности

$$E = \frac{\gamma_{сл}\beta \cdot \gamma_{сг}\theta}{100\alpha(100-\alpha)}, \%. \qquad (44)$$

В случае идеальной классификации содержание зёрен менее 0,5 мм в сливе и крупнее 0,5 мм в сгущенном равны 100%, выход слива равен содержанию в исходном зёрен крупностью менее 0,5 мм, а выход сгущенного продукта – содержанию в исходном зёрен крупнее 0,5 мм. Следовательно, теоретическая эффективность всегда будет равна 100%, поэтому абсолютная фактическая эффективность является и относительной.

Если выход твёрдого в сливе от исходного – 10,1%,

содержание зёрен крупностью менее 0,5 мм в сливе – 92,1%,

выход твёрдого в сгущенном продукте от исходного – 89,9%,

содержание зёрен крупностью более 0,5 мм в сгущенном продукте – 96,7%,

содержание зёрен крупностью менее 0,5 мм в исходном продукте – 12,4%,

то эффективность составит

$$E = \frac{10,1 \cdot 92,1 \cdot 89,9 \cdot 96,7}{100 \cdot 12,4\ (100 - 12,4)} = 74,5\%.$$

Эффективность осветления воды рассчитывается по формуле

$$E = \frac{100\,(\rho_1 - \rho_3)\,\rho_2}{(\rho_2 - \rho_3)\,\rho_1}, \%, \qquad (45)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 - те же обозначения, что и в формулах (42) и (43).

Степень обезвоживания определяется по формуле

$$\eta = \frac{W^{ММВ}}{W^{Р}} \cdot 100, \%, \qquad (46)$$

где $W^{ММВ}$ - максимальная молекулярная влажность, равная для шлама 8,1-8,2%;

$W^{Р}$ - влажность шлама после обезвоживания, %.

Измельчаемость продукта подсчитывается по формуле

$$И = \frac{d_{ср\,п} - d_{ср\,(ос+Ф)}}{d_{ср\,п}} \cdot 100\%, \qquad (47)$$

где $d_{ср\,п}$ - средний размер частиц питания, мм;

$d_{ср(ос+ф)}$ - суммарный средний размер частиц продуктов аппарата, равный

$$d_{ср\,(ос+ф)} = \frac{\gamma_{ос}\, d_{ср\,ос} + (100 - \gamma_{ос})\, d_{ср\,Ф}}{100}, мм, \qquad (48)$$

$d_{ср_{ос}}, d_{ср_{ф}}$ – средний размер частиц осадка и фугата (фильтрата), мм;

$\gamma_{ос}$ – выход твёрдого в осадок, %.

Точность классификации характеризуется средним вероятным отклонением от граничного размера разделения

$$E_{рт} = \frac{d_{75} - d_{25}}{2}, \text{ мм}, \qquad (49)$$

где d_{75} – крупность зёрен узкого класса, извлечение которого в сгущенный продукт составляет 75%;

d_{25} – крупность зёрен узкого класса, извлечение которого составляет 25%.

Показатель погрешности $\mathcal{J}$ подсчитывается по формуле

$$\mathcal{J} = \frac{E_{рт}}{d_{50}}, \qquad (50)$$

где d_{50} – граничное зерно классификации.

Чем меньше величина $\mathcal{J}$, тем точнее процесс классификации материала.

Для определения вероятного отклонения и показателя погрешности строим кривую извлечения зёрен различной крупности в сгущенный продукт (рис. 39). Например, извлечение зёрен крупностью менее 0,1 мм в сгущенный продукт составит

$$\frac{0{,}4 \cdot 89{,}9}{6{,}6} = 6{,}05\% \text{ и т.д.}$$

Согласно кривой d_{75} = 0,53 мм, d_{25} = 0,17 мм. По формуле (49) величина $E_{рт}$ составит

$$E_{рт} = \frac{0{,}53 - 0{,}17}{2} = 0{,}18 \text{ мм}.$$

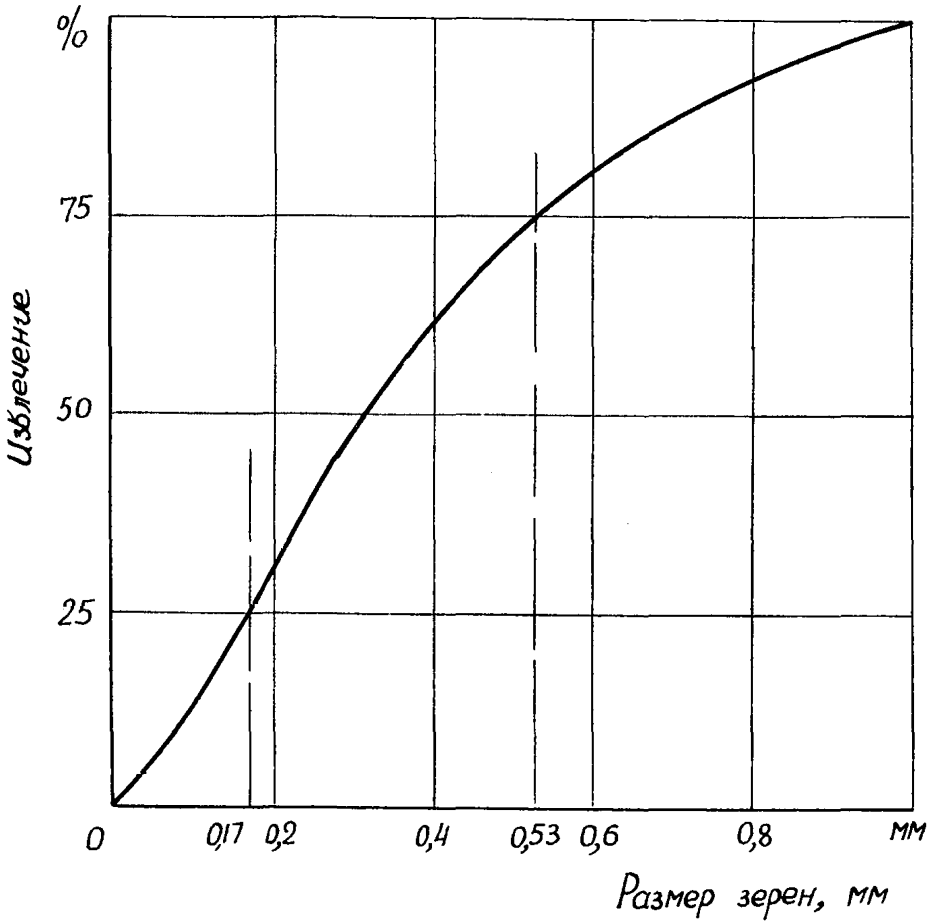


Рис. 39. Кривая извлечения зёрен в сгущенный продукт классификации

Показатель погрешности $\mathcal{J}$ по формуле (51) будет

$$\mathcal{J} = \frac{0,18}{0,31} = 0,58.$$

Ответственный за выпуск В.А.МАНЖУР

R - 3. № 603840. Заказ № 80 .Тираж 600 экз. 10 п.л.
'16. Отпечатано на ротапринте института
"Укрнипиуглеобогащение" 30 /V - 1973 г.

gost.e-ecolog.ru