МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
У С С Р

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

"УкрНИИуглеобогащение"

# РЕКОМЕНДАЦИИ
# ПО ПРИМЕНЕНИЮ ГИДРОЦИКЛОНОВ В ВОДНО-ШЛАМОВЫХ СХЕМАХ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Лаборатория обезвоживания
и шламового хозяйства

Луганск
1969

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
У С С Р

"УкрНИИуглеобогащение"

УТВЕРЖДАЮ

начальник Главуглеобогащения
МУП УССР

_____ И.Н.ИВАНОВ

10 октября 1969 года

# РЕКОМЕНДАЦИИ
# ПО ПРИМЕНЕНИЮ ГИДРОЦИКЛОНОВ В ВОДНО-ШЛАМОВЫХ СХЕМАХ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Лаборатория обезвоживания
и шламового хозяйства

Луганск
1969

Составители: А.А.БЕЗВЕРХИЙ
С.М.ХОДОС
В.Е.ФЕДОРЧЕНКО
К.П.ПУРЫГИН

Ответственный за выпуск к.т.н. А.М.КОТКИН

## СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

ВВЕДЕНИЕ . . . . . 4

1. Применение гидроциклонов в водно-шламовых схемах углеобогатительных фабрик. . . . . 5

2. Основные факторы, влияющие на работу гидроциклонов . . . . . 20

3. Монтаж, наладка и регулировка гидроциклонов . . . . . 31

4. Измельчение угля в гидроциклонах . . . . . 33

5. Повышение износостойкости гидроциклонов. . 34

6. Расчет производительности гидроциклонов . . 46

ЛИТЕРАТУРА . . . . . 50

# ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение гидроциклонов для различных технологических операций во многих отраслях промышленности и, в частности, в углеобогащении объясняется высокой эффективностью их работы, простотой конструкции и небольшими эксплуатационными затратами.

Гидроциклоны используются для осветления загрязненных жидкостей, сгущения шламов, классификации и обогащения. Все эти процессы основаны на закономерностях движения зернистого материала в жидкости, в поле действия центробежных сил.

Скорость осаждения твердых частиц зависит от их крупности. С уменьшением размера частиц их масса уменьшается пропорционально кубу диаметра, а сопротивление – – пропорционально квадрату диаметра. Абсолютная скорость перемещения мелких зерен в воде в поле действия силы тяжести невелика. Это объясняет небольшую удельную производительность осветлительных и сгустительных устройств, использующих силу тяжести.

В центробежных аппаратах величина центробежных сил может в сотни раз превосходить силу тяжести, что определяет эффективность технологического процесса, осуществляемого в таких аппаратах.

Преимуществами гидроциклонов перед другими аппаратами являются:

1) большая производительность (как абсолютная, так и отнесенная к занимаемой площади);

2) более четкое разделение обрабатываемого материала по крупности;

3) возможность работы на более плотных пульпах;

4) невысокая стоимость и простота конструкции.

# 1. ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОЦИКЛОНОВ В ВОДНО-ШЛАМОВЫХ СХЕМАХ УГЛЕОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Роль шламового хозяйства углеобогатительной фабрики целесообразно свести к трем технологическим операциям:

осветлению моечных вод путем максимального извлечения твердого в различных аппаратах;

сокращению объема пульпы, перерабатываемой во флотационных машинах и в других технологических аппаратах за счет её сгущения;

классификации твердой фазы по заданным граничным зернам с целью предотвращения поступления частиц крупнее 1 (0,5) мм в процесс флотации и выделения крупнозернистого обогащенного материала в виде готового продукта.

Для осуществления перечисленных технологических операций на обогатительных фабриках используются пирамидальные отстойники и радиальные сгустители, занимающие значительные производственные площади. Производительность этих аппаратов, несмотря на значительные площади осветления, невелика. Так, удельная нагрузка на 1 $м^2$ площади осветления пирамидальных отстойников в среднем равна 8-10 $м^3/ч$, а на 1 $м^2$ площади осветления радиального сгустителя - до 4 $м^3/ч$. При большом содержании твердого в исходном продукте (200 г/л) размер граничного зерна разделения в пирамидальных отстойниках колеблется в широких пределах и достигает 2 мм.

В последнее время наметилась тенденция к замене пирамидальных отстойников другими, более совершенными аппаратами: багер-зумпфами и гидроциклонами. Багер-зумпфы в основном используются для предварительного обезвоживания мелкого угля и извлечения крупнозернистого шлама. Институтом "УкрНИИуглеобогащение" проведена работа по замене пирамидальных отстойников гидроциклонами большого диаметра, в которых под действием низ-

кого напора жидкости создаются поля центробежных сил, позволяющие интенсифицировать процесс осветления моечных вод и классификацию шламов.

Опыт применения гидроциклонов на углеобогатительных фабриках показал их преимущество по сравнению с пирамидальными отстойниками. Граничный размер разделения угольных шламов в гидроциклоне в зависимости от напора на входе может достигать 0,1–0,2 мм. На операции первичного осветления моечных вод и извлечения крупнозернистого шлама используются относительно небольшие напоры (8 м вод.ст. для гидроциклонов Ø 630 мм, 10 м вод.ст. для гидроциклонов Ø 900 мм и 20 м вод.ст. для гидроциклонов Ø 1200 мм). При таких напорах граничный размер разделения составляет 0,2–0,3 мм. Для снижения граничного зерна разделения до 0,1 мм напоры на входе в гидроциклон должны быть увеличены в 1,5–2 раза. Применение больших напоров нецелесообразно, так как при этом граничное зерно разделения почти не уменьшается, а энергетические затраты возрастают.

В настоящее время на углеобогатительных фабриках получили распространение гидроциклоны трех типоразмеров: Ø 630, 900 и 1200 мм (рис. 1, 2).

Техническая характеристика гидроциклонов

| | Г 6 | Г 9 | Г 12 |
|---|---|---|---|
| Производительность по пульпе, $м^3/ч$, при напоре на входе | | | |
| 10 м вод.ст. | 300 | 450 | – |
| 20 м вод.ст. | – | 650 | 1000 |
| Диаметр цилиндрической части, мм | 630 | 900 | 1200 |
| Угол конусности, град. | 20 | 20 | 20 |
| Оптимальный угол наклона к горизонту, град. | 30–40 | 30–40 | 30–40 |
| Диаметр сливного и питающего патрубков, мм | 200 | 250 | 300 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Диаметр сливного стакана, мм | | 190 | 240 | 320 |
| Размеры входного сечения, мм | | 100x150 | 125x160 | 200x300 |
| Диаметр насадка для | | 50–60– | 50–60– | 50–60– |
| выпуска сгущенного | | 70–80– | 70–80– | 70–80– |
| продукта, мм | | 90–100– | 90–100– | 90–100– |
| | | 110–120– | 110–120 | 110–120 |
| Габаритные размеры, мм | | | | |
| длина с насадками | *max* | 2270 | 3200 | 4460 |
| | *min* | 2070 | – | 4260 |
| ш и р и н а | | 1285 | 1650 | 1950 |
| В е с, кг | | 890 | 1223 | 2654 |
| Исполнение | | Сварные с покрытием из шлакоситалла или сварные без покрытия | | |

При использовании гидроциклонов для выполнения отдельных технологических операций в промышленных условиях часто не учитываются различия в гидродинамических и технологических характеристиках аппаратов, которые обусловлены их размерами и конструктивными особенностями. Так, в ряде случаев крупнозернистые шламы подаются для классификации и сгущения в гидроциклоны небольшого диаметра с применением больших напоров. В результате этого во время эксплуатации зашламовываются песковые насадки и наблюдается значительное измельчение крупных угольных частиц. Иногда тонкие шламы с большим содержанием твердого (300–500 г/л) и при недостаточно высоких напорах поступают в гидроциклоны большого диаметра, в результате чего содержание и ситовые составы твердого в сливе и в исходном продукте почти одинаковы.

Оптимальному решению каждой технологической задачи должен соответствовать вполне определенный типоразмер гидроциклона и напор пульпы на входе в аппарат, обеспечивающий заданную крупность разделения исходного материала, необходимое сгущение и осветление. Эти показатели в некоторой степени зависят от реологических свойств обрабатываемой суспензии. Увеличение содержания

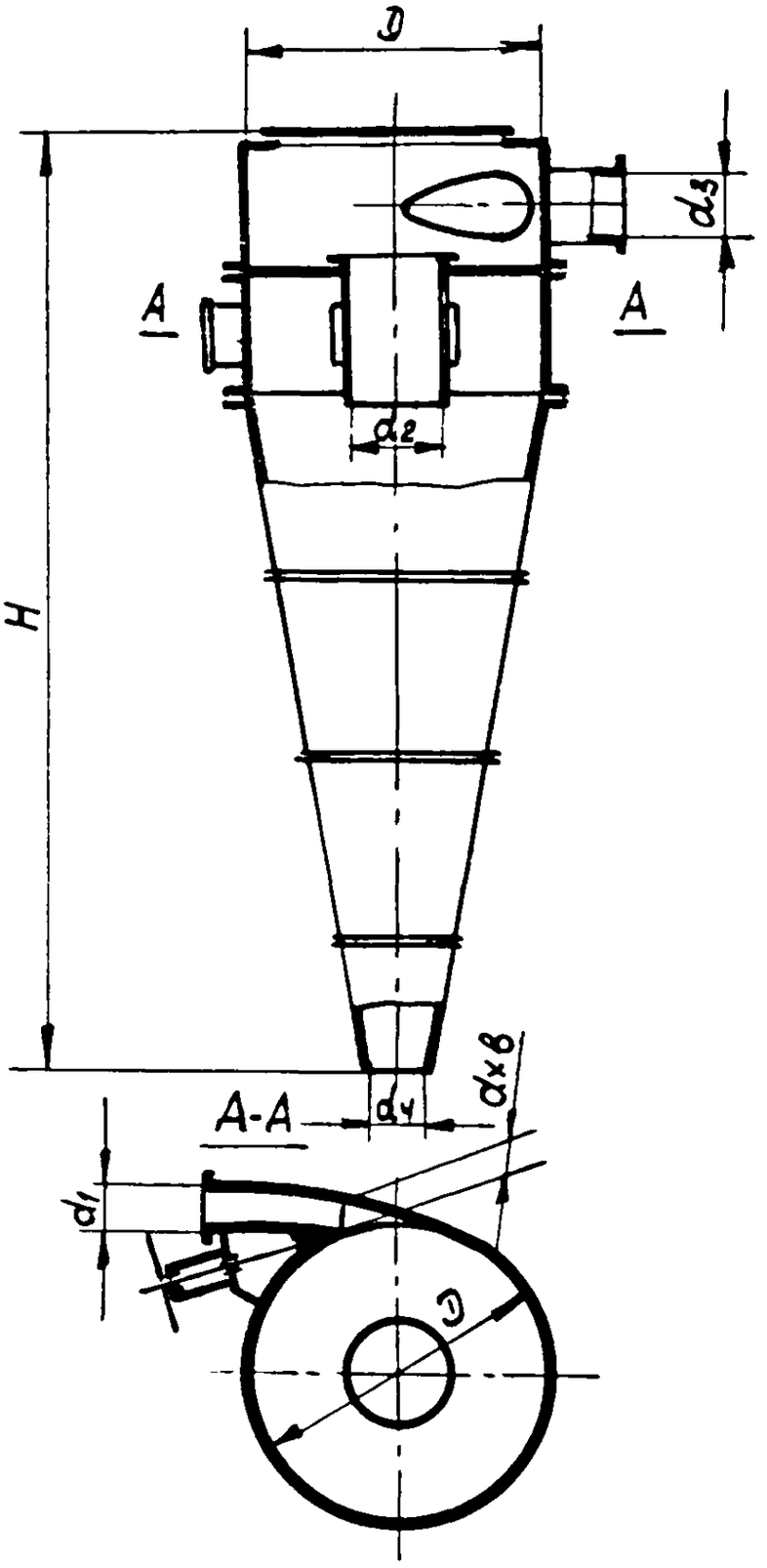


Рис. 1

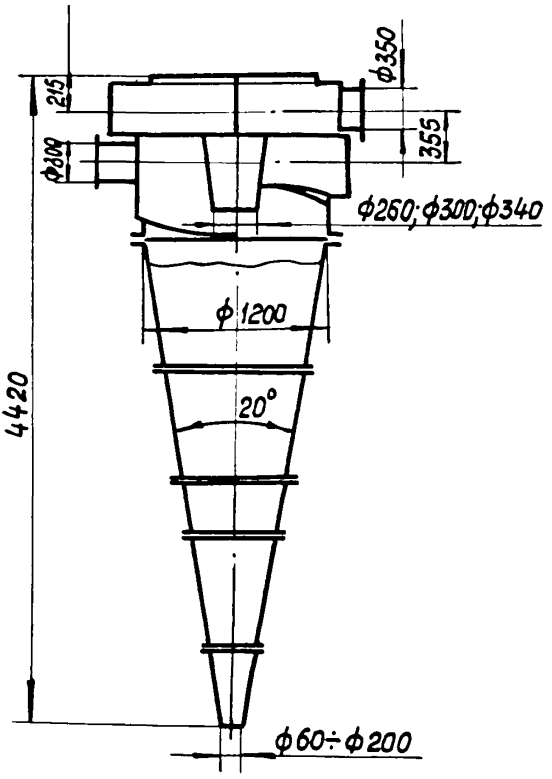


Рис. 2. Гидроциклон Ø 1200 мм.

твердого в исходном продукте требует повышения напора на входе в аппарат. При напорах более 1 ати, в гидроциклонах Ø 900 мм изменение содержания твердого в исходном мало влияет на конечные результаты процессов, связанных с классификацией шлама. Обычно реологические свойства суспензии в бóльшей степени определяют процесс сепарации (обогащение шлама), поскольку эта технологическая операция осуществляется при небольших напорах (4–7 м вод.ст.) и содержании твердого в исходном продукте 300–400 г/л.

При большом количестве в исходном продукте крупнозернистого шлама, что обычно характерно для подрешетного обезвоживающих грохотов, целесообразно применение гидроциклонов большого диаметра и малых напоров.

Для осветления и классификации тонких шламов, содержащихся в сливах различных аппаратов, используемых для первичной классификации, необходимы более высокие напоры, а в некоторых случаях, когда требуется получить минимальный размер граничного зерна разделения, следует использовать гидроциклоны малого диаметра с гладкой внутренней поверхностью.

На основании проведенных исследований и эксплуатации гидроциклонов в технологических схемах обогатительных фабрик можно рекомендовать их применение для следующих операций:

сгущения и осветления первичных шламовых вод вместо пирамидальных отстойников;

сгущения и осветления слива пирамидальных отстойников и багер-зумпфов;

сгущения и осветления шламовых вод в две стадии;

сгущения и осветления шламовых вод в одну стадию с направлением части слива на флотацию и части – в оборот;

классификации шлама перед флотацией.

Кроме перечисленных операций, гидроциклоны в отдельных случаях могут применяться для сгущения шламов перед шламовыми грохотами, вакуум-фильтрами и концентрационными столами. На некоторых фабриках гидроциклоны

используются для сепарации крупнозернистых угольных шламов в "водной" среде (табл. 1).

На Ново-Кондратьевской ГОФ в гидроциклонах Ø 900мм сгущают и классифицируют первичные шламы (рис. 3).Подрешетные воды обезвоживающих грохотов поступают в зумпф, откуда насосами 12 НДС подаются в гидроциклоны. Сгущенный продукт гидроциклонов обогащается на концентрационных столах или в отсадочных машинах. На некоторых углеобогатительных фабриках малозольный сгущенный продукт можно подавать на обезвоживающие грохоты или вакуум-фильтры. Слив гидроциклонов поступает в радиальный сгуститель для вторичного осветления. Внедрение такой водно-шламовой схемы позволяет отказаться от громоздких, малоэффективных пирамидальных отстойников.

На рис. 4 изображена водно-шламовая схема Углегорской ЦОФ, где в гидроциклонах в две стадии сгущают и классифицируют угольные шламы. Подрешетные воды обезвоживающих грохотов самотеком поступают в гидроциклоны Ø 900 мм. Сгущенный продукт гидроциклонов подается на обогащение в отсадочные машины и на концентрационные столы или на обезвоживающие грохоты. Слив гидроциклонов первой стадии циркуляционными насосами подается в гидроциклоны второй стадии осветления. Слив этих гидроциклонов делится на две части: бóльшая идет в баки оборотной воды и меньшая - в радиальный сгуститель. В радиальный сгуститель возможна также подача коагулянта для получения чистого слива и снижения содержания твердого в оборотной воде. Сгущенный продукт гидроциклонов второй стадии поступает самотеком в вакуум-фильтры. Работа обогатительной фабрики по описанной схеме позволяет упростить водно-шламовую схему: заменить пирамидальные отстойники и в значительной степени разгрузить радиальные сгустители.

На обогатительных фабриках, не имеющих радиальных сгустителей, рекомендуется установка гидроциклонов для сгущения и классификации вторичных шламов. Такая схема применяется на Ткварчельской ЦОФ.

Таблица 1

Применение гидроциклонов и основные технологические показатели их работы

| Операции | Тип гидроциклона | Напор на входе, м вод. ст. | Производительность, $м^3/ч$ | Граничное зерно разделения, мм | Угол наклона гидроциклона | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1. Осветление моечных вод и сгущение шламов, классификация: | | | | | | При обработке антрацитовых шламов рекомендуемые напоры могут быть уменьшены на 1-2 м вод.ст. |
| а) подрешетных вод обезвоживающих грохотов | Г 6<br>Г 9<br>Г 12 | 8<br>10<br>20 | 250<br>450<br>1000 | 0,2-0,3 | 30-40 | |
| б) сливов пирамидальных отстойников и багер-зумпфов | Г 6<br>Г 9<br>Г 12 | 10<br>15<br>30 | 300<br>550<br>1200 | до 0,1 | 30-40 | Максимальное содержание твердого в сгущенном продукте 800 г/л, для антрацитов 1000 г/л |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| в)шлама перед флотацией | Г 6<br>Г 9 | 8<br>10 | 250<br>450 | 0,3 | 30–40 | |
| г)дополнительное сгущение шламов перед концентрационными столами, вакуум-фильтрами, шламовыми грохотами. | Г 6<br>Г 9 | 8<br>10 | 250<br>450 | 0,3 | 30–40 | |
| П. Обогащение шламов в "водной" среде | Г 6<br>Г 9 | 4<br>7 | 200<br>350 | - | 20 | Сгущение до 1000 г/л; снижение зольности на 6–8%, зольность отходов 40–50%. |

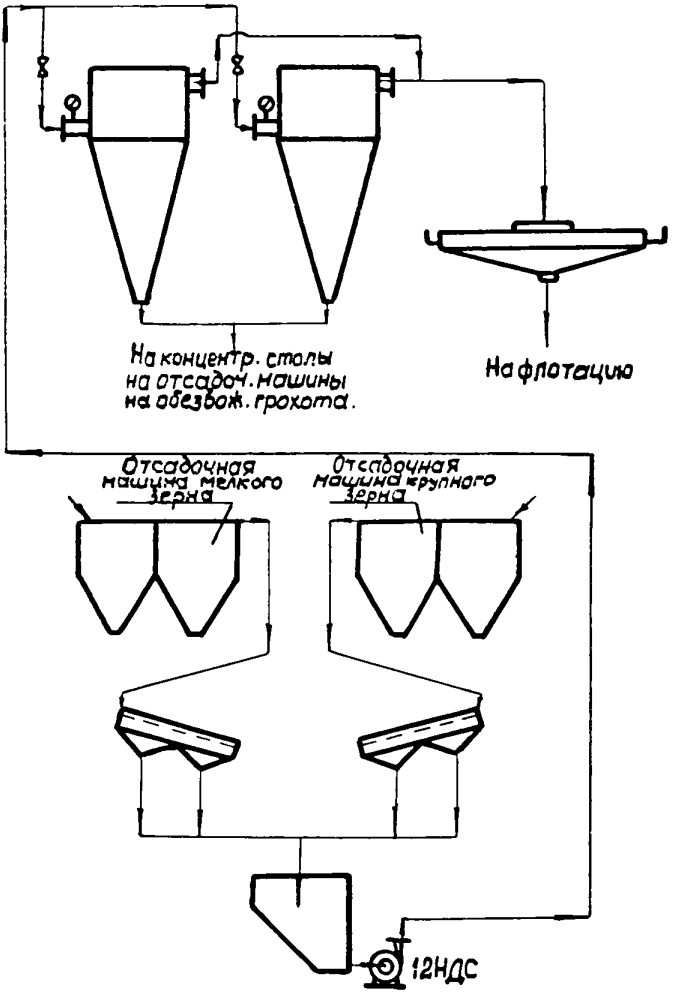


Рис. 3. Установка гидроциклонов для сгущения и классификации первичных шламов (вместо пирамидальных отстойников).

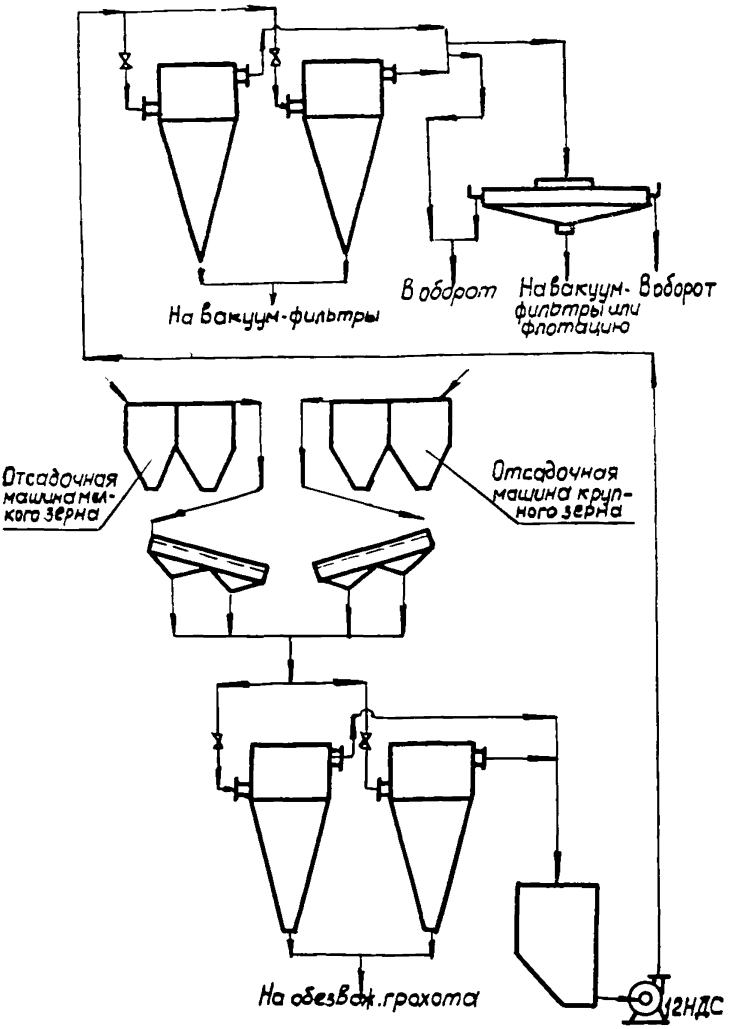


Рис. 4. Установка гидроциклонов для сгущения первичных и вторичных шламов (Углегорская ЦОФ).

В настоящее время на многих углеобогатительных фабриках гидроциклоны применяются для сгущения и классификации шламов в одну стадию (ОФ Ясиновского КХЗ, Советская, Ново-Узловская ГОФ и др.). По этой схеме (рис. 5) подрешетные воды обезвоживающих грохотов поступают в зумпф и далее циркуляционными насосами подаются в гидроциклоны. Сгущенный продукт гидроциклонов поступает на обогащение в отсадочные машины либо на обезвоживающие грохоты. Часть слива направляется в баки оборотной воды, остальная часть идет на флотацию. Недостатками такой схемы является необходимость флотировать большое количество разжиженной пульпы, что осуществимо только на фабриках, имеющих достаточный фронт флотации и фильтрации, а также направление шламов в отсадочную машину, что ухудшает результаты обогащения и обезвоживания мелкого концентрата.

Результаты работы гидроциклонов Г9 и Г12 при сгущении и осветлении шламов приведены в табл. 2 и 3.

## Классификация шлама перед флотацией

На некоторых действующих углеобогатительных фабриках в связи с недостаточным фронтом осветлительно-сгустительных устройств на флотацию поступает материал, содержащий частицы угля крупнее 0,5 (1) мм. Естественно, большая часть крупнозернистого шлама теряется с хвостами флотации.

Для улучшения технологических показателей работы фабрики необходимо совершенствование водно-шламовой схемы с целью получения более точного разделения шламов по крупности. В частности, для классификации шламов, поступающих на флотацию, могут быть использованы гидроциклоны, что существенно снизит потери крупных классов в хвостах.

Необходимая крупность разделения исходного материала в гидроциклонах может быть достигнута подбором со-

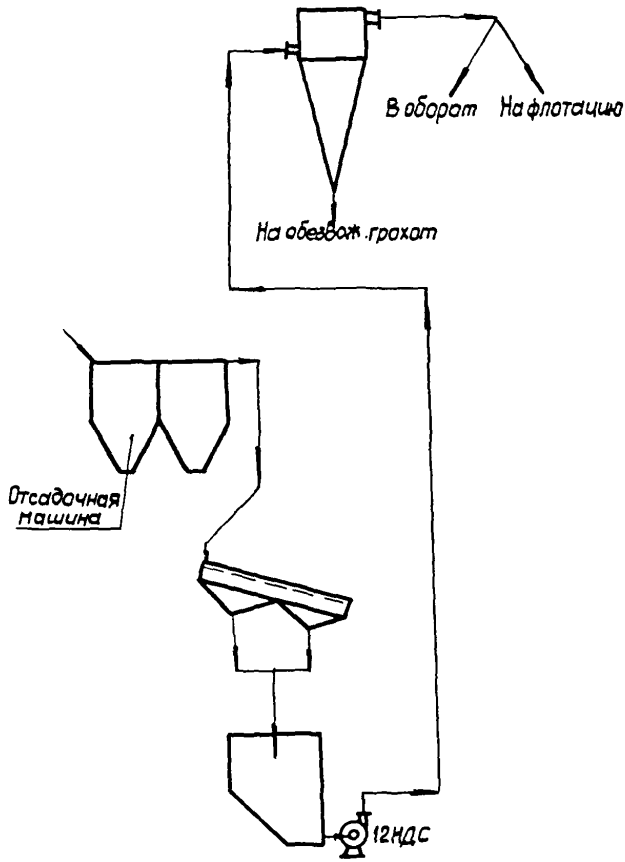


Рис. 5. Установка гидроциклонов для сгущения шламов в одну стадию.

Таблица 2

Характеристика продуктов гидроциклона Ø 900 мм
при Н = 10 м вод.ст.

| Класс, мм | Исходный продукт (приведенный) $\gamma$, % | Слив гидроциклона: Выход $\gamma$, % к продукту | Слив гидроциклона: Выход $\gamma$, % к исходному | Слив гидроциклона: Извлечение $\varepsilon$ сл., % | Сгущенный продукт: Выход $\gamma$, % к продукту | Сгущенный продукт: Выход $\gamma$, % к исходному | Сгущенный продукт: Извлечение $\varepsilon$ сг., % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| + 3 | 2,74 | - | - | - | 4,25 | 2,74 | 100,0 |
| 3 - 1 | 9,02 | - | - | - | 13,98 | 9,02 | 100,0 |
| 1 - 0,5 | 20,75 | 0,97 | 0,34 | 1,6 | 31,65 | 20,41 | 98,4 |
| 0,5 - 0,25 | 25,61 | 17,34 | 6,16 | 24,0 | 30,14 | 19,45 | 76,0 |
| 0,25 - 0,125 | 11,21 | 14,92 | 5,30 | 47,3 | 9,17 | 5,91 | 52,7 |
| 0,125 - 0,06 | 7,32 | 12,31 | 4,37 | 59,7 | 4,58 | 2,95 | 40,3 |
| - 0,06 | 23,35 | 54,46 | 19,33 | 82,8 | 6,23 | 4,02 | 17,2 |
| Итого | 100,00 | 100,00 | 35,50 | | 100,00 | 64,50 | |
| г/л | 260 | | 180 | | | 800 | |
| $м^3$/ч | 450 | | 360 | | | 90 | |

Таблица 3

Характеристика продуктов гидроциклона Ø 1200 мм при P = 1,5 ати

| Класс, мм | Исходный продукт (приведенный) $\gamma$, % | Слив гидроциклона | | | Сгущенный продукт гидроциклона | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Выход $\gamma$,% к продукту | Выход $\gamma$,% к исходному | Извлечение $\varepsilon$ сл.,% | Выход $\gamma$,% к продукту | Выход $\gamma$,% к исходному | Извлечение $\varepsilon$ сг.,% |
| + 1 | 1,69 | - | - | - | 5,64 | 1,69 | 100,00 |
| 1 - 0,5 | 6,76 | - | - | - | 22,55 | 6,76 | 100,00 |
| 0,5 - 0,25 | 10,14 | 1,83 | 1,28 | 12,6 | 29,53 | 8,86 | 87,4 |
| 0,25 - 0,125 | 15,95 | 14,22 | 9,95 | 62,4 | 20,00 | 6,00 | 37,6 |
| 0,125 - 0,06 | 10,85 | 11,70 | 8,19 | 75,5 | 8,86 | 2,66 | 24,5 |
| - 0,06 | 54,61 | 72,25 | 50,58 | 92,6 | 13,42 | 4,03 | 7,4 |
| Итого | 100,00 | 100,00 | 70,00 | | 100,00 | 30,00 | |
| г/л | 120 | | 90 | | | 300 | |
| м³/ч | 1000 | | 880 | | | 120 | |

ответствующего давления пульпы на входе в аппарат и насадков для выпуска сгущенного продукта. Крупные классы шлама, уходящие со сгущенным продуктом, или подвергаются обогащению (на концентрационных столах, в в циклонах и др.), или присаживаются к флотационному концентрату и фильтруются. При содержании твердого в исходном продукте до 200 г/л и давлении на входе в гидроциклон Ø 630 мм около 0,8 ати, в сливе гидроциклона будут отсутствовать классы крупнее 0,5 мм. Для гидроциклона Ø 900 мм необходимо давление 1 ати.

Для уменьшения содержания тонких классов в сгущенном продукте в нижнюю часть гидроциклона подводится техническая вода. Кроме того, устанавливаются насадки, обеспечивающие максимальное сгущение.

Институтом "УкрНИИуглеобогащение" разработан гидроциклон - классификатор Ø 630 мм, специально предназначенный для классификации перед флотацией. Общий вид гидроциклона изображен на рис. 6.

Гидроциклон-классификатор состоит из сливной камеры 1 с патрубком для отвода слива 2, сливного стакана 3, питающего патрубка 4, питающей камеры 5, конической части 6 и устройства для подвода технической воды, служащей для промывки сгущенного продукта и снижения в нем содержания тонких классов 8. В конической части аппарата расположен диск 7, который может перемещаться вдоль его оси. Назначение диска - повысить точность классификации. Содержание твердого в сгущенном продукте регулируется насадками 9. Гидроциклон изготовляется с комплектом различных насадков.

## 2. ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РАБОТУ ГИДРОЦИКЛОНОВ

На работу гидроциклонов существенное влияние оказывает ряд факторов, обусловленных конструкцией аппаратов и характеристикой обрабатываемой пульпы. Все эти факторы необходимо учитывать при выборе типа, места установки и регулировке гидроциклонов для получения требуемых

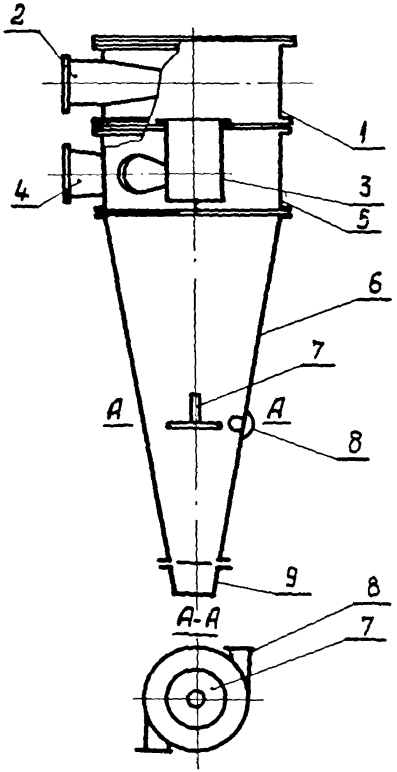


Рис. 6. Гидроциклон-классификатор.

технологических показателей.

К факторам, зависящим от конструкции гидроциклона, относятся: диаметр, давление на входе, размеры питающего патрубка, сливной и песковой насадки, угол конусности, угол наклона оси гидроциклона к горизонту, размер и способ установки трубы для отвода слива. К факторам, зависящим от характеристики обрабатываемой пульпы, следует отнести ситовый состав, вязкость и плотность исходной пульпы, а также содержание твердой фазы в исходном продукте. Ниже будет рассмотрено влияние наиболее существенных факторов на работу гидроциклона.

## Давление на входе

Давление пульпы на входе в гидроциклон определяет количество пульпы, проходящей через аппарат, т.е. его производительность. При постоянных размерах питающего патрубка и сливного насадка с увеличением давления на входе производительность гидроциклона возрастает. Этот фактор определяет также эффективность работы гидроциклона при классификации и сгущении пульпы. При прочих равных условиях, с увеличением давления на входе снижается крупность частиц в сливе и уменьшается размер граничного зерна разделения. В зависимости от диаметра гидроциклонов и технических требований напоры на входе в аппарат могут находиться в пределах 8–30 м вод.ст. Так, если гидроциклоны используются для сгущения и классификации первичных шламовых вод, напор для Г6 равен 8, для Г9 – 10 и для Г12 – 20 м вод.ст. При применении гидроциклонов для сгущения и классификации тонких шламов напор соответственно равен: 10, 15 и 30 м вод.ст.

При сгущении и классификации антрацитовых шламов напор на входе в аппарат может быть несколько ниже на 1–2 м вод.ст.), чем для угольных шламов, в связи с их повышенной плотностью. Пульпа в гидроциклон может поступать самотеком или подаваться насосом. Следует отметить, что при классификации и сгущении в гидроциклонах соблюдение постоянного давления на входе особенно важно.

Всякое колебание давления вызывает снижение эффективности классификации. При поступлении пульпы самотеком давление колеблется в значительно меньшей степени, поэтому такая подача более предпочтительна, хотя для создания необходимого напора в этом случае нужен достаточный перепад высот. Питание гидроциклона при этом осуществляется через приемную воронку.

Расчет необходимой геодезической высоты между уровнем жидкости в приемной воронке и осью питающего патрубка гидроциклона может быть произведен по следующему уравнению:

$$H = \frac{v^2}{2g}\left(\frac{L}{d}\lambda + \sum_{i=1}^{i=n}\xi_i + \xi_{гидр} + 1\right),$$

где $v$ – скорость течения жидкости в трубопроводе, м/сек;

$L$ – длина трубопровода, м;

$d$ – диаметр сечения трубы, м;

$\lambda$ – коэффициент сопротивления трения единицы относительной длины трубы;

$\xi$ – местные коэффициенты сопротивления (вход в трубопровод, задвижки, повороты трубопровода);

$\xi_{гидр}$ – коэффициент сопротивления гидроциклона;

$g$ – ускорение силы тяжести, $\frac{м}{сек^2}$.

Скорость $v$ определяется по производительности гидроциклона при напоре на входе Н м вод.ст. (см.расчет производительности гидроциклона):

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2}, \frac{м}{сек},$$

где $Q$ – производительность, $м^3$/сек.

Коэффициент сопротивления трения для труб

$\varnothing$ 200 мм, $\lambda = 0{,}026$,

$\varnothing$ 250 мм, $\lambda = 0{,}024$,

$\varnothing$ 300 мм, $\lambda = 0{,}023$.

Местный коэффициент сопротивления, характеризующий потери напора при выходе жидкости из приемной воронки в трубопровод – $\xi_{\text{вход}}$, в зависимости от угла конусности круглой воронки может иметь следующие значения

| $\alpha^{\circ}$ | $40^{\circ}$ | $45^{\circ}$ | $60^{\circ}$ | $80^{\circ}$ |
|---|---|---|---|---|
| $\xi_{\text{вход}}$ | 0,28 | 0,30 | 0,32 | 0,35 |

Коэффициент сопротивления задвижек и колен трубопровода зависит от их конструктивных параметров. Для задвижек типа "Лудло" при полном открытии $\xi = 0{,}15$. Коэффициент сопротивления колен в трубопроводе может быть определен по справочнику гидравлических сопротивлений [9, 10].

Для обеспечения прохождения необходимого количества пульпы через приемную воронку и предотвращения закручивания в ней жидкости, критическое значение напора $h_к$ должно быть меньше необходимого напора $h$ (высота столба между уровнем жидкости в воронке и началом трубопровода).

Напор $h$ в воронке определяется по формуле:

$$h = \frac{q^2}{(\mu s)^2 \, 2g} \quad , \text{ м},$$

$q$ – секундный расход, $м^3/сек$;

$\mu$ – коэффициент расхода;

$s$ – сечение выходного отверстия, $м^2$;

$g$ – ускорение силы тяжести, $\frac{м}{сек^2}$.

При отношении $\frac{L}{d} \geqslant 50$ коэффициент расхода $\mu \leqslant 0{,}6$ ($L$ – длина трубопровода, м).

Критическое значение напора $h_к$ определяется по уравнению:

$$h_к = 0{,}5\, d \left(\frac{v_o}{\sqrt{dg}}\right)^{0{,}55}, \text{ м},$$

где $v_o = \frac{q}{\varepsilon \frac{\pi d^2}{4}}, \frac{м}{сек}$.

Здесь $\varepsilon$ – коэффициент сжатия ($\varepsilon \cong 0{,}90$). При $h_к < h$ закручивание жидкости в воронке приводит к уменьшению пропускной способности трубопровода и падению напора на входе в гидроциклон.

Учитывая неравномерность поступления пульпы в приемную воронку, необходимо, чтобы высота уровня жидкости в ней превышала критическую в 2–3 раза.

### Диаметр гидроциклона

С увеличением диаметра гидроциклона возрастает его производительность. Вместе с тем, для получения одинаковых технологических показателей в гидроциклонах различных диаметров необходимо увеличить давление на входе в аппарат. Ориентировочно одинаковые технологические показатели в гидроциклонах различных диаметров могут быть получены при условии:

$$\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2} = \frac{Д_1}{Д_2},$$

где $\Delta H$ – потери напора в гидроциклонах диаметрами $Д_1$ и $Д_2$.

При увеличении размеров аппарата и соблюдении приведенного соотношения технологические показатели обычно несколько улучшаются. Это явление вызвано масштабным эффектом, физическая основа которого заключается в снижении относительной шероховатости внутренней поверхности аппарата. Относительная шероховатость поверхности

гидроциклона $\varepsilon = \frac{\ell}{д}$ , где $\ell$ – средняя высота выступов на внутренней поверхности аппарата. Так как качество поверхности гидроциклонов с малым и большим диаметрами одинаковое, то относительная шероховатость $\varepsilon$ с увеличением диаметра будет снижаться и,следовательно, гидродинамические характеристики улучшатся.

На обогатительных фабриках применяются низконапорные гидроциклоны трех типоразмеров – Ø 630, 900 и 1200 мм. Выбор типоразмера гидроциклона для каждой углеобогатительной фабрики сугубо индивидуален и зависит от количества перерабатываемой пульпы.

## Диаметр сливного стакана

Изменение диаметра сливного стакана влияет на все показатели работы гидроциклона. Так, при постоянном напоре на входе увеличение диаметра сливного стакана повышает производительность аппарата, а при постоянной производительности – уменьшает давление на входе. Обычно диаметр сливного стакана подбирают в период наладки гидроциклона и в дальнейшем он остается постоянным. Лучшие результаты получают, если диаметр сливного стакана составляет 0,2–0,4 диаметра цилиндрической части гидроциклона.

Глубина погружения сливного стакана также оказывает существенное влияние на работу гидроциклона: чем глубже погружен сливной стакан, тем крупнее зерна в сливе. Глубина погружения обычно ограничивается нижним краем цилиндрической части гидроциклона.

## Диаметр насадка для выпуска сгущенного продукта

Размер насадка для выпуска сгущенного продукта является одним из основных конструктивных параметров,

оказывающих наибольшее влияние на работу гидроциклонов. С уменьшением диаметра нижнего насадка увеличивается содержание твердого в сгущенном продукте. Граничный размер разделения при сгущении до 500–600 г/л остается постоянным; при дальнейшем увеличении степени сгущения размер граничного зерна разделения также увеличивается. Таким образом, с помощью насадка для выпуска сгущенного продукта можно регулировать чистоту слива. Размер насадка по существу является единственным параметром, изменяя который, можно регулировать работу гидроциклона в промышленных условиях. Однако надо помнить, что чрезмерное уменьшение диаметра нижнего насадка может привести к его забиванию. Слишком большое увеличение диаметра насадка также нежелательно, так как в этом случае разделение в гидроциклоне прекращается. Необходимо соблюдать следующее условие: наибольший размер насадка для выпуска сгущенного продукта должен быть меньше диаметра сливного стакана.

Если необходимо изменить содержание твердого в сгущенном продукте с $q_1$ на $q_2$, то оптимальный диаметр насадка может быть ориентировочно определен по соотношению:

$$\frac{d_1^2}{d_2^2} = \frac{q_2}{q_1},$$

где $d_1$ и $d_2$ – диаметры насадков, соответствующие содержанию твердого в сгущенном продукте $q_1$ и $q_2$.

Приведенное соотношение можно использовать для расчета необходимого диаметра насадка и при содержании твердого в сгущенном продукте не более 700 г/л для коксующихся углей и не более 900 г/л для антрацитов.

## Угол конусности

Гидроциклоны, применяемые в промышленности, имеют самые различные углы конусности от 5° до 60–70°. Практически установлено, что наиболее приемлемые результаты

классификации и сгущения получены в гидроциклонах с углом конусности 20°.

## Угол наклона оси гидроциклона

Угол наклона оси гидроциклона к горизонтальной плоскости оказывает некоторое влияние на работу гидроциклонов, особенно при небольших напорах. При переходе от горизонтального к вертикальному расположению аппарата все бóльшее значение приобретает сила тяжести. Степень сгущения нижнего продукта при этом уменьшается производительность гидроциклона по сгущенному возрастает, а по сливу несколько падает.

В результате проведенных исследований и промышленной эксплуатации выявлено, что оптимальным углом наклона гидроциклона к горизонту является угол 30–40°. При этом достигается максимальная общая производительность, максимальное извлечение твердой фазы в сгущенный продукт и минимальный размер граничного зерна.

## Размеры и способы установки трубы для отвода слива

Трубопровод является гидравлическим сопротивлением на пути движения пульпы. Чем длиннее отводная труба, тем бóльшее сопротивление она оказывает и тем хуже работает гидроциклон. Ухудшение технологических показателей характеризуется уменьшением содержания твёрдого в сгущенном продукте по мере увеличения гидравлического сопротивления отводящего слив трубопровода.

Чем ниже опущен конец отводной трубы по отношению к гидроциклону, тем интенсивнее подсасываются воздух и жидкость через насадок для выпуска сгущенного продукта. При большом перепаде высот между окончанием сливного трубопровода и гидроциклоном возможно засасывание в слив сгущенного продукта, при этом в отдельных случаях

наблюдается прекращение его выпуска. Для нормальной работы гидроциклона отводная труба должна быть как можно короче и не должна опускаться ниже конической части аппарата. Если же необходима труба большой длины, то её следует разорвать в 1,5–2,0 м от сливного патрубка гидроциклона и в месте разрыва установить воронку (рис. 7); диаметр отводной трубы должен быть равен или больше диаметра сливного стакана.

## Влияние гранулометрического состава, содержания твердого в исходном, вязкости пульпы и плотности твердой фазы на работу гидроциклона

Содержание твердого в исходном продукте и его гранулометрический состав определяют производительность гидроциклона по твердому. Объемную производительность гидроциклона можно принять практически постоянной, не зависящей от содержания и гранулометрического состава твердого в исходном продукте. Производительность по твердому может изменяться в широких пределах и ограничивается пропускной способностью нижнего насадка. Максимальная производительность по сгущенному продукту в т/ч твердого составляет: для гидроциклона Ø 630 мм – – 30, Ø 900 мм – 60–70 и Ø 1200 мм – 100–120.

Если количество твердого в исходном продукте крупностью больше размера граничного зерна разделения будет превышать указанные цифры, то может произойти зашламовка нижнего насадка и попадание крупнозернистого шлама в слив. В этом случае для предотвращения зашламовки и загрязнения слива необходимо снизить объемную производительность гидроциклона, уменьшив сечение входного патрубка. Для этого в гидроциклонах последних конструкций предусмотрено регулирующее устройство, позволяющее перекрывать до 70% сечения входного патрубка.

При работе гидроциклонов на различных углеобогатительных фабриках в различных точках водно-шламовой схемы ситовый состав исходной пульпы изменяется в ши-

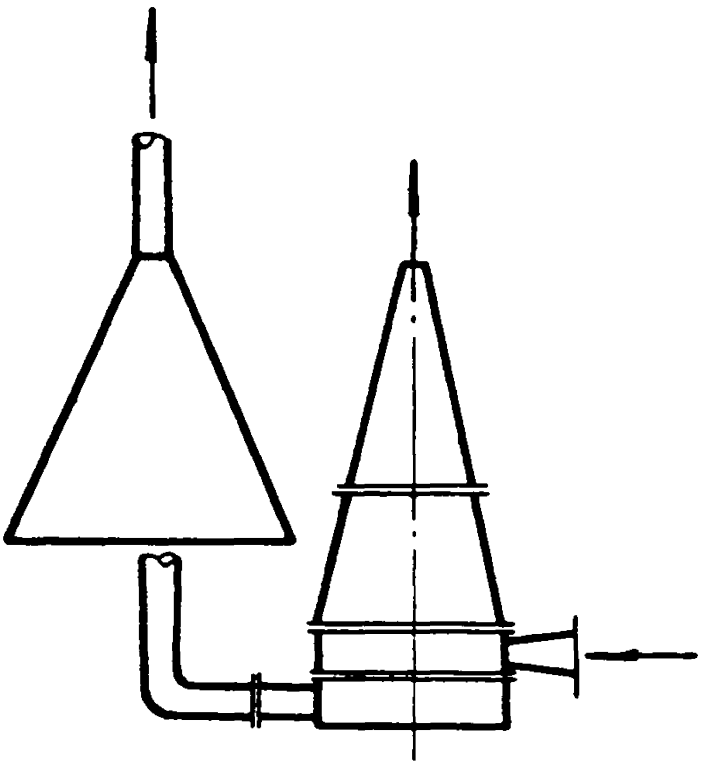

Рис. 7. Схема отвода слива гидроциклона.

роких пределах. Если гидроциклоны используются для классификации первичных шламов, гранулометрический состав твердого пульпы представлен более крупными частицами, чем при классификации вторичных шламов. При этом крупность слива и содержание твердого в сгущенном продукте выше в первом случае, чем во втором. Это связано с тем, что в первом случае необходимо разгрузить бо́льшее количество материала через нижний насадок. При значительном количестве твердого, разгружаемого через насадок, возможно попадание в слив частиц крупнозернистого шлама. Если даже увеличить размер нижнего насадка, часть крупных частиц попадает в слив, увлечённая восходящим потоком. Поэтому крупнозернистые материалы с целью получения тонкого слива следует классифицировать в две стадии (с перечисткой слива).

Вязкость пульпы существенного влияния на работу гидроциклона не оказывает, с увеличением фактора разделения влияние ее снижается.

С увеличением плотности твердой фазы пульпы уменьшается размер граничного зерна разделения и уменьшается содержание твердого в сливе. Поэтому гидроциклоны, работающие на антрацитовых шламах, дают лучшие технологические показатели, чем при работе на углях низкой и средней стадии метаморфизма. Для антрацитов граничное зерно разделения равно 0,08–0,15 мм, а для коксующихся углей 0,15–0,3 мм.

## 3. МОНТАЖ, НАЛАДКА И РЕГУЛИРОВКА ГИДРОЦИКЛОНОВ

Гидроциклоны монтируются на раме. Сгущенные продукты гидроциклонов собираются в установленный под ними желоб с переливными трубами во избежание переполнения желоба и заливки площадки. Исходная пульпа поступает в аппараты самотеком через установленную на определенной высоте промежуточную емкость. В том случае, когда на

фабрике отсутствует необходимый перепад высот, пульпа в гидроциклон подается насосом. Если на обогатительной фабрике два или несколько гидроциклонов, то перед ними устанавливается распределитель, представляющий собой трубу большого диаметра с патрубками для питания каждого гидроциклона. Равномерная подача исходного материала на все гидроциклоны регулируется с помощью задвижек на питающих патрубках.

Для контроля за напором на входе в гидроциклоны на питающих патрубках устанавливаются манометры.

После установки гидроциклонов производится наладка их работы для обеспечения нормальной эксплуатации с получением необходимых показателей. Во время наладки устраняются неточности, допущенные при монтаже. При правильном монтаже гидроциклонов наладка их сводится к обеспечению необходимого напора на входе и к подбору размера нижнего насадка.

В процессе эксплуатации гидроциклонов на обогатительных фабриках периодически отбираются пробы слива и сгущенного продукта. Контролируется также исходный продукт. Кроме того, по показаниям манометра контролируется напор на входе в гидроциклоны и определяется объемная производительность.

Если в сливе гидроциклона при нормальной нагрузке содержатся частицы угля крупнее заданного размера, например, при классификации вторичных шламов частицы крупнее 0,5 мм, и при этом получают сгущенный продукт с большим содержанием твердой фазы, необходимо увеличить размер нижнего насадка и, наоборот, если сгущенный продукт слишком разбавлен, размер нижнего насадка следует уменьшить. К уменьшению нижнего насадка необходимо прибегнуть и в том случае, если нужно повысить крупность частиц в сливе. Неполадки в работе гидроциклона связаны, в основном, с их зашламовкой. Если прекращается выдача сгущенного продукта, а слив продолжает идти, и манометр, установленный на питающем патрубке, показывает прежнее давление на входе, значит нижний насадок зашламовался.

Прекращение выдачи слива или резкое сокращение его количества (при изменившихся показателях манометров) указывает на зашламовку питающего патрубка.

Если стрелка манометра стоит на нуле или остановилась на некотором делении, а слив и сгущенный продукт продолжают поступать, значит забита трубка манометра и ее необходимо прочистить.

Периодическое изменение давления на входе от максимума до минимума указывает на то, что насос, подающий пульпу в гидроциклон, работает ненормально и его необходимо отрегулировать.

На различных обогатительных фабриках объем моечных вод и производительность насосов могут изменяться в значительных пределах. Объем воды, находящейся в обороте, определяет требуемую производительность гидроциклонов. Поскольку гидроциклоны могут давать устойчивые технологические показатели при определенном напоре на входе, то при недостаточном объеме пульпы, поступающей в аппарат, технологические показатели ухудшаются. В тех случаях, когда объем пульпы, поступающей в гидроциклон, не обеспечивает необходимого напора, следует уменьшить производительность аппарата по пульпе. Для этого на входе в гидроциклон предусмотрена задвижка, позволяющая перекрывать сечение входного патрубка и поддерживать напор в необходимых пределах.

Уменьшение сечения входного патрубка позволяет уменьшить производительность по пульпе, сохранив необходимую скорость входа пульпы в загрузочную камеру. Это обеспечивает получение требуемых технологических показателей (сгущение, осветление и размер граничного зерна разделения).

## 4. ИЗМЕЛЬЧЕНИЕ УГЛЯ В ГИДРОЦИКЛОНАХ

На основании экспериментальных исследований и промышленной эксплуатации гидроциклонов, работающих при

повышенных напорах и скоростях движения пульпы (циклоны малых диаметров) многие исследователи (Акопов, Классен, Поваров и др.) пришли к выводу об измельчении обрабатываемого в них материала. Однако измельчение угля в циклонах значительно меньше, чем при перекачке насосами и обработке в центрифугах.

Рекомендуемые к применению гидроциклоны имеют большие диаметры и работают при пониженных напорах и скоростях движения пульпы, что обеспечивает значительное уменьшение измельчения твердого в процессе обработки. Исследованиями института "УкрНИИуглеобогащение" установлено, что измельчение твердой фазы в гидроциклонах Ø 630 мм происходит в 6–10 раз меньше, чем при перекачке этого материала насосами. Для антрацитов уменьшение средней крупности частиц при прохождении через гидроциклон составляет всего лишь 0,3%.

Так как основное измельчение угля происходит в насосе, при установке гидроциклонов, где это возможно, необходимо стремиться к самотечной подаче пульпы.

## 5. ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ГИДРОЦИКЛОНОВ

На гидроциклоны как правило поступает угольная пульпа крупностью до 3 мм с содержанием твердого до 400 г/л. Вращаясь в гидроциклоне с большой скоростью, пульпа истирает его поверхность. Интенсивное истирание в значительной степени предопределяется количеством минеральных примесей, содержащихся в твердом. Количество минеральных примесей в шламах углеобогатительных фабрик довольно велико (до 40%), причем значительная часть их имеет высокую твердость.

Наибольшему изнашиванию подвергается нижняя часть гидроциклона вблизи насадка для выпуска сгущенного про-

дукта и сам насадок. Сильному истирающему действию подвергается также поверхность конической части, питающего патрубка и стенки цилиндрической части корпуса гидроциклона, на которую попадает поток из патрубка.

На антрацитовых фабриках при сгущении первичных шламов срок службы нижней части конуса гидроциклона, изготовленной из углеродистой стали Ст 3 толщиной 8 мм, не превышает 400 час. При сгущении шламов на фабриках,обогащающих каменные угли, срок службы этих деталей составляет около 600–800 ч. Насадки для выпуска сгущенного продукта, изготовленные из серого чугуна с толщиной стенки 25 мм, изнашиваются после 200–250 ч. эксплуатации.

Изменение размеров поверхностей в результате изнашивания оказывает существенное влияние на работу гидроциклона. Как показали исследования работы гидроциклона диаметром 630 мм, при обработке антрацита класса < 6–13 мм только изменение размера насадка для выпуска сгущенного продукта с 80 до 100 мм приводит к снижению содержания твердого в сгущенном на 30%. Поэтому успешная эксплуатация гидроциклонов возможна при регулировании их основных параметров или обеспечении длительной стабильности размеров, что возможно в случае высокой сопротивляемости истиранию рабочих поверхностей.

Основными эксплуатационными требованиями к конструкционным материалам для рабочих поверхностей гидроциклонов являются:

высокая сопротивляемость истиранию при гидроабразивном изнашивании частицами угля и минеральных примесей большой твердости (кварц, пирит);

высокая коррозионная стойкость в оборотных водах с большим содержанием солей (до 500 мг/л);

химическая стойкость к флотационным реагентам;

сохранение чистоты поверхности при эксплуатации;

равномерность изнашивания по всей поверхности;

возможность восстановления в условиях работы углеобогатительных фабрик;

низкая стоимость и недефицитность.

Высоким сопротивлением гидроабразивному изнашиванию характеризуются сплавы ИЧХ28Н2 (РТМ28261) и 300Х12МН, однако высокая их стоимость, содержание в них таких дефицитных легирующих элементов, как никель и молибден, а также технологические трудности изготовления из них деталей сильно ограничивают широкое применение этих сплавов, особенно для изготовления деталей гидроциклонов. В последнее время получает распространение изготовление футеровки гидроциклонов из абразивных материалов - электрокорунда и карборунда на бакелитовой связке, однако качество таких поверхностей как по геометрическим формам, так и по чистоте поверхностей значительно уступает металлическим.

Из новых материалов наиболее полно удовлетворяют требованиям, предъявляемым к конструкционным материалам для рабочих поверхностей гидроциклонов, стеклокристаллические материалы - ситаллы, физико-механическая и химическая характеристика которых приведена ниже:

| | |
|---|---|
| Плотность | 2700 кг/м$^3$ |
| Удельная теплоемкость | 0,20 ккал/кг·град |
| Коэффициент теплопроводности | 1,14 ккал/м·ч.град |
| Коэффициент линейного расширения | $7.10^{-6}\ \frac{1}{\text{град}}$ |
| Температура размягчения | 950-1000°С |
| Водопоглощение весовое | 0 % |
| Предел прочности при изгибе | 900 кг/см$^2$ |
| Предел прочности на сжатие | 5500 кг/см$^2$ |
| Ударная вязкость | 3-4 кг см/см$^2$ |
| Микротвердость (ПМТ-3) | 560-600 кг/мм$^2$ |
| Прочность на истирание (ЛКИ-2) | 0,002-0,005 г/см$^2$ |
| Модуль упругости | 900.10$^3$ кг/см$^2$ |
| Коэффициент Пуассона | 0,21-0,23 кг/см$^2$ |

Химическая устойчивость по ГОСТ'у 473–64

| | | |
|---|---|---|
| в 96%-ной | $H_2SO_4$ | не менее 98,5% |
| в 33%-ной | $H_2SO_4$ | –"– 98,0% |
| в 37%-ной | $HCl$ | –"– 90,0% |
| в 20%-ной | $HCl$ | –"– 90,0% |
| в 20%-ной | $CH_3COOH$ | –"– 98,0% |
| в 30%-ной | $HNO_3$ | –"– 98,0% |
| в 50%-ной | $H_3PO_4$ | –"– 95,0% |
| Щелочеустойчивость | | –"– 85,0% |

Ситаллы имеют плотную микрокристаллическую структуру, характеризуются высокой стойкостью, твердостью и чрезвычайно высоким сопротивлением истиранию при абразивном и гидроабразивном изнашивании.

Испытания рабочих поверхностей гидроциклонов из шлакоситаллов в условиях углеобогатительных фабрик (табл. 4) подтвердили экономическую целесообразность такого метода повышения износостойкости.

Длительная эксплуатация шлакоситалловых поверхностей (до 7240 часов) в производственных условиях подтвердила высокую их износостойкость (8–12 раз) по сравнению с металлическими из углеродистой стали и серого чугуна. Обработка опытных данных показала, что изнашивание поверхности конуса гидроциклона в наиболее опасном сечении приближенно может описываться уравнением:

$$W = K \cdot a_0 \left(\frac{Q \cdot q \cdot t}{10^{10}}\right)^n,$$

где $W$ – износ, мм ;

$K$ – коэффициент, характеризующий абразивность среды;

$a_0, n$ – эмпирические коэффициенты;

$Q$ – производительность гидроциклона по сгущенному продукту, кг/ч;

Таблица 4

Результаты испытаний шлакоситалловых деталей гидроциклонов Ø 900 мм, установленных для сгущения первичных шламов

| Обогатительные фабрики | Количество | Рабочая среда: Крупность твердого, мм | Рабочая среда: содержание твердого, г/л: в исходном | Рабочая среда: содержание твердого, г/л: в сгущенном | Производительность по сгущенному, т/ч твердого | Продолжительность испытаний, ч | Износ стенки, мм | Относительная износостойкость по сравнению с металлическими из углеродистой стали |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Красный партизан | 2 | 0–3 | 300 | 670 | 33,5 | 3556 | 15,0 | 9 |
| | | 0–3 | 400 | 825 | 36,0 | 4405 | 22,0 | 10 |
| Ново–Кондратьевская | 4 | 0–1 | 210 | 800 | 30,0 | 6450 | 12,0 | 10 |
| | | 0–1 | 220 | 870 | 33,0 | 1960 | 3,8 | 11 |
| Советская | 1 | 0–1 | 180 | 700 | 14 | 3720 | 4,0 | 11 |
| Углегорская | 3 | 0–1 | 250 | 680 | 16 | 2850 | 4,0 | 13 |
| | | 0–1 | 250 | 680 | 15 | 5040 | 4,5 | 13 |
| | | 0–1 | 280 | 700 | 15 | 7240 | 1,0 | 13 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 17-17-6ис | 2 | 0-3 | 250 | 700 | 10 | 4100 | 6,2 | 14 |
| | | 0-3 | 250 | 700 | 10 | 6100 | 8,8 | 15 |
| | | 0-8 | 200 | 670 | 30 | 3650 | 13,5 | 15 |
| № 1 - 2 | 2 | 0-1 | 315 | 650 | 18 | 2850 | 6,0 | 18 |
| | | 0-1 | 315 | 650 | 18 | 3960 | 8,0 | 20 |

$q$ – содержание твердого в сгущенном продукте, кг/м$^3$;

$t$ – продолжительность эксплуатации, ч.

Численные значения коэффициентов сведены в табл. 5.

В гидроциклонах Ø до 500 мм рабочие поверхности могут быть оформлены литыми деталями (рис. 8); в гидроциклонах с диаметром цилиндрической части 630, 900 и 1200 мм эти поверхности образуются как отдельными деталями, так и футеровкой шлакоситалловыми плитами специального профиля (рис. 9).

Шлакоситалл – хрупкий материал, поэтому фасонные детали из него устанавливаются в металлические кожухи на цементных растворах; футеровка плиткой производится на эпоксидной замазке следующего состава:

| | | |
|---|---|---|
| эпоксидная смола ЭД-5 (ГОСТ 10587-63) | – | 10 весовых частей |
| дибутилфтолат (ГОСТ 8728-58) | – | 1 –"– |
| полиэтиленполиамин (СТУ 49-2529-62) | – | 1 –"– |
| каменный порошок | – | 16-20 –"– |

В процессе эксплуатации шлакоситалловые поверхности гидроциклонов не имеют локальных очагов износа и шероховатость в течение всего периода эксплуатации находится в пределах 7 ÷ 10 класса по ГОСТ'у 2789-59 (табл. 6). При отсутствии фасонных деталей из шлакоситалла металлические поверхности гидроциклонов можно футеровать плиткой из листового шлакоситалла толщиной 10 мм, который выпускается по ТУ УССР-21-138-66 заводом "Автостекло" (г. Константиновка, Донецкой обл.). Футеровочные плиты трапецоидальной формы из листового шлакоситалла режут стеклорезом с твердосплавным роликом и массивной металлической ручкой. Насадки для выпуска сгущенного продукта целесообразно изготавливать из высокохромистого износостойкого чугуна ИЧХ28Н2, а также из корунда, электрокорунда или карборунда на бакелитовой

Таблица 5

Значение коэффициентов К, $a_o$, $n$ для определения величины износа поверхности

| Типоразмер гидроциклона, мм | Установка в технологической схеме | | Уголь | | Значение коэффициента | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | марка | класс, мм | К | $a_o$ | $n$ |
| 900 | Сгущение первичных шламов | | Т | О–1,0 | 1,0 | 1,09 | 0,87 |
| 900 | –"– | –"– | А | О–1,0 | 2,3 | 1,09 | 0,87 |
| 900 | –"– | –"– | А | О–3,0 | 2,5 | 1,09 | 0,87 |
| 350 | –"– | –"– | Г | О–3,0 | 1,0 | 9,21 | 0,42 |

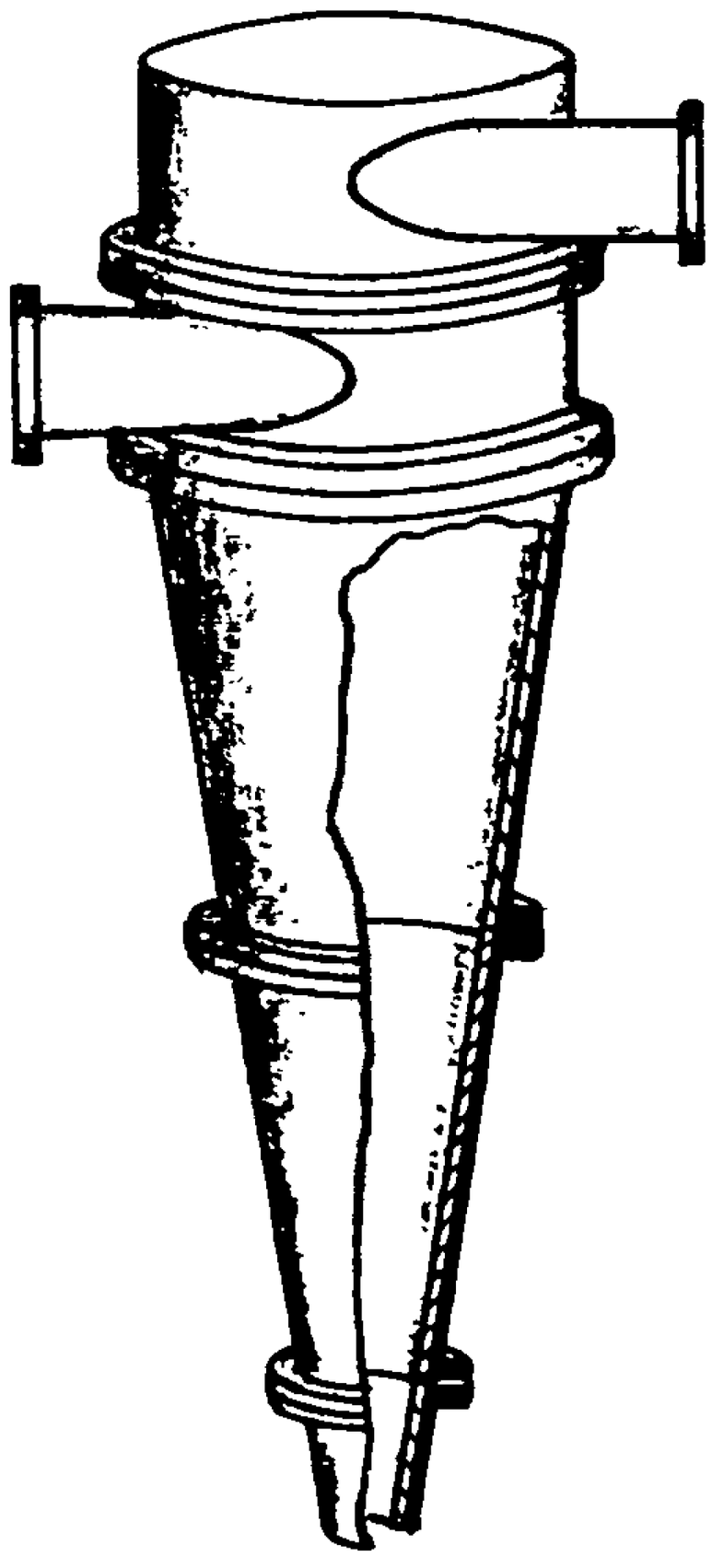

Рис. 8.

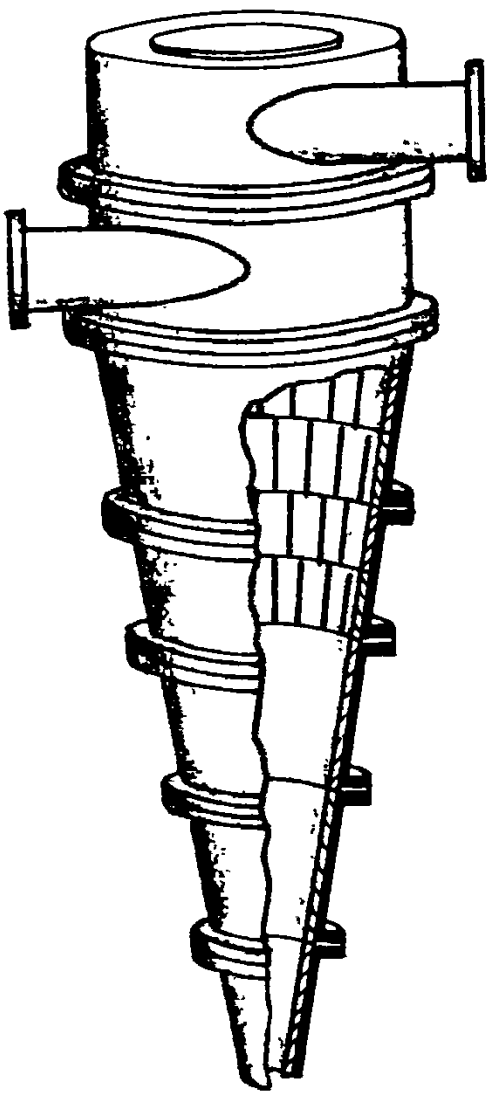

Рис. 9.

Таблица 6

Шероховатость шлакоситалловой поверхности

| Характеристика поверхности образца | Место испытания | Рабочая среда | | Класс чистоты поверхности по ГОСТ'у 2789-59 | Высота поверхностей, мк |
|---|---|---|---|---|---|
| | | твердое в сгущенном продукте, г/л | класс твердого, мм | | |
| Поверхность конуса гидроциклона диаметром 350 мм после эксплуатации в течение 2000 часов | Черкасская-Северная № 1 | Уголь, 1420 | 0-13 | 10 | 0,8 |
| Поверхность конуса гидроциклона диаметром 900 мм после эксплуатации в течение 1528 часов | Красный партизан | Антрацит, 670 | 0-6 | 7 | 4,3 |
| Поверхность конуса гидроциклона диаметром 900 мм после эксплуатации в течение 3960 часов | 1-2 "Лобовская" | Антрацит, 650 | 0-1 | 7 | 3,9 |

или керамической связке.

В процессе монтажа, эксплуатации и проведения ремонтных работ следует избегать ударов по шлакоситалловым поверхностям гидроциклонов. Шлакоситалловые детали гидроциклонов унифицированы, что позволяет неоднократно заменять их по мере износа. Шлакоситалловые детали для опытных партий гидроциклонов были изготовлены заводом "Автостекло" (г.Константиновка, Донецкой обл.). Серийное изготовление гидроциклонов поручено заводу горношахтного оборудования (г.Днепропетровск).

В практике работы обогатительных фабрик, горнообогатительных комбинатов черной и цветной металлургии применяются гидроциклоны литой конструкции, гидроциклоны, футерованные резиной, и гидроциклоны, футерованные каменным литьем. Гидроциклоны, футерованные каменным литьем (базальтом), более надежны. Коническая часть таких гидроциклонов состоит из различных конусов, количество которых зависит от типоразмера гидроциклона. Диаметр основания конической части каждого гидроциклона соответствует размеру серийно выпускаемых гидроциклонов (Ø 150, 250, 350 и 500 мм). Однако качество рабочих поверхностей футеровки таких гидроциклонов значительно уступает шлакоситалловым и износостойкость каменного литья ниже, чем шлакоситалла. В то же время каменное литье обладает высоким сопротивлением истиранию, детали гидроциклонов из него изготовляются серийно и рекомендуются для применения на углеобогатительных фабриках.

Серийное изготовление гидроциклонов, футерованных каменным литьем, освоено Уфимским заводом горного оборудования и Днепропетровским заводом горношахтного оборудования; детали из каменного литья к гидроциклонам поставляются опытным заводом ГИСа (б. Московский камнелитейный завод) и Донецким камнелитейным заводом.

# 6. РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ГИДРОЦИКЛОНОВ

## Определение производительности

Производительность гидроциклонов зависит от многих переменных параметров, основными из которых являются: давление на входе в гидроциклон; размеры входного отверстия, сливного стакана и насадка для выпуска сгущенного продукта; коэффициент сопротивления гидроциклона. Производительность зависит также от характеристики обрабатываемого материала и угла конусности гидроциклона.

В результате проведенных исследований многие авторы получили различные формулы для определения производительности. Наиболее приемлемой является формула, предложенная А.И.Поваровым:

$$Q = 15{,}5\, d_п\, d_{сл} \sqrt{P}\ , \qquad л/мин,$$

где $d_п$ – диаметр питающего патрубка (или диаметр окружности, площадь которой равна площади питающего патрубка), см;

$d_{сл}$ – диаметр сливного патрубка, см;

$P$ – давление на входе в гидроциклон, кг/см$^2$.

Эта формула справедлива для циклонов с углом конусности 20°. Однако, как показала практика, ошибка в определении производительности по этой формуле достигает $\pm$ 20%.

Формула А.И.Поварова и формулы других исследователей не учитывают коэффициента сопротивления гидроциклонов, поэтому возможны большие расхождения между производительностью, подсчитанной по этим формулам, и фактической.

Институтом "УкрНИИуглеобогащение" получена формула для определения производительности, учитывающая соп-

ротивление гидроциклонов:

$$Q = 21 \frac{d_п \cdot d_{сл}}{\sqrt{\xi}} \cdot \sqrt{\Delta H}, \text{ л/мин},$$

где $d_п$ – диаметр питающего патрубка на входе в цилиндрическую часть аппарата, см;

$d_{сл}$ – диаметр сливного патрубка, см;

$\xi$ – коэффициент сопротивления гидроциклона (для гидроциклона Ø 630 и 900 мм $\xi$ = 30, а для Ø 1200 мм – $\xi$ = 40–48);

$\Delta H$ – перепад давления в гидроциклоне, м вод.ст.

На практике производительность гидроциклонов диаметром 630, 900 и 1200 мм близка к величинам, указанным в технических характеристиках аппаратов при соответствующих напорах на входе.

## Выбор типоразмера гидроциклона

Для обработки шламовых вод необходимо выбирать такие гидроциклоны, которые обеспечивали бы оптимальную производительность при напорах, позволяющих получить заданные технологические показатели. При этом следует учитывать, что с увеличением размера гидроциклона напор, необходимый для нормальной его работы, возрастает.

При выборе типоразмера гидроциклона следует принимать во внимание не только количество шламовых вод, подлежащих обработке, но и возможности насосов, используемых для перекачки этих вод.

Подключение гидроциклонов к трубопроводу увеличивает его сопротивление, поэтому для перекачки прежнего объема воды нужно увеличить мощность насосов. С установкой гидроциклонов потери напора возрастают на $\Delta$ Н.

Для точного расчета производительности насоса необходимо знать характеристики насоса и трубопроводов, так как производительность определяется наложением этих характеристик.

Довольно часто при установке гидроциклонов на обогатительных фабриках характеристики трубопроводов не известны. В этом случае нужно исходить из характеристики установленного насоса и тех условий его эксплуатации, которые существуют на данной фабрике. При подключении к трубопроводу гидроциклона необходимо создать дополнительный напор. Если насос не имеет соответствующего резерва мощности, то его производительность снизится и количество перекачиваемой воды будет недостаточным для обеспечения нормального технологического процесса обогатительной фабрики. Ориентировочно запас мощности насоса должен составлять для гидроциклона Ø 900 мм 15–20%, а для гидроциклона Ø 1200 мм – 20–30%.

~~Во многих случаях для обеспечения необходимой производительности достаточно увеличить диаметр колеса насоса (если позволяет мощность двигателя).~~ При малых резервах мощности насоса следует устанавливать гидроциклоны меньшего диаметра, однако это может потребовать установки большого количества аппаратов. Так, для обработки 1000 $м^3$/ч шламовых вод можно установить один гидроциклон Ø 1200 мм или два аппарата Ø 900 мм, или три-Ø 630 мм. Самые большие энергетические затраты будут в первом случае. При установке трех гидроциклонов Ø 630 мм дополнительные затраты мощности будут значительно меньше, но увеличатся затраты на монтажные работы и эксплуатацию установленных аппаратов.

Дополнительные затраты мощности для обеспечения работы гидроциклона могут быть определены по формуле:

$$N = \frac{QH}{102}\gamma, \text{ квт},$$

где $Q$ – производительность гидроциклона при давлении пульпы на входе Н ст., $м^3$/сек;

$H$ – напор, м;

$\gamma$ – объемный вес воды или пульпы.

Для воды $\gamma = 1000$ кг/м$^3$.

$$H = H_{ст} + \alpha \frac{v^2}{2g},$$

где Нст. – статический напор перед гидроциклоном, м.

$$H_{ст} \approx \Delta H$$

$\alpha \cong 1$ – коэффициент неравномерного распределения скорости потока жидкости во входном патрубке гидроциклона;

$v$ – скорость пульпы на входе в гидроциклон, м/сек.

$$v = \frac{Q}{f}, \quad м/сек.$$

$f$ – площадь сечения входного патрубка, м$^2$.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. АКОПОВ М.Г., КЛАССЕН В.И. Применение гидроциклонов при обогащении углей. М., Госгортехиздат, 1960.

2. АКОПОВ М.Г. Основа обогащения углей в гидроциклонах. М., "Недра", 1967.

3. ЮВАРОВ А.И. Гидроциклоны. М., Госгортехиздат, 1961.

4. АСПИС И.М., БЕЗВЕРХИЙ А.А., АНДРЕЕВА В.Я. Изменение технологических показателей низконапорного гидроциклона в зависимости от угла наклона к горизонту. Ж-л "Кокс и химия", № 8, 1964.

5. БЕЗВЕРХИЙ А.А., ХОДОС С.М. Измельчение угля в гидроциклонах. В сб.: "Обогащение и брикетирование углей", ЦНИЭИ, № 5, 1967.

6. Исследование классификации и сгущения угольных шламов в низконапорных гидроциклонах. Отчет по теме № 3012 (6). Фонды УкрНИИуглеобогащения, 1964.

7. Исследование гидродинамических и технологических параметров гидроциклонов производительностью более 400 $м^3$/ч с выдачей рекомендаций для их применения на углеобогатительных фабриках. Отчет по теме № 14. Фонды УкрНИИуглеобогащения, 1965.

8. Исследование процесса гидроклассификации в гидроциклоне производительностью 1000 $м^3$/ч. Отчет по теме № 12. Фонды УкрНИИуглеобогащения, 1967.

9. КИСЕЛЕВ П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам. М., Госэнергоиздат, 1961.

10. ИДЕЛЬЧИК Н.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М., Госэнергоиздат, 1960.

11. БУБНОВ А.П., УРМАН Н.А. Минералого-петрографическое исследование шламов обогатительных фабрик Донбасса. "Техника и технология обогащения угля". Науч-

ные труды УкрНИИуглеобогащения, т.1У. М., "Недра", 1965.

12. КОТКИН А.М., ШУЛЯК В.Е., ЯМПОЛЬСКИЙ М.Н. Изменение общей минерализации оборотных вод углеобогатительных фабрик. Сб.:" Обогащение и брикетирование угля", ЦНИЭИ, № 2, 1967.

13. Исследование и применение шлакоситаллов для повышения долговечности обогатительного оборудования. Отчет. Фонды УкрНИИуглеобогащения, 1967.

14. ФЕДОРЧЕНКО В.Е. Исследование методов повышения износостойкости и технологической эффективности рабочих поверхностей углеобогатительного оборудования. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. ИГИ, М., 1968.

Р _3№ 603840 зак.217/100 3,1 п.л. формат60х90 1/16
Отпечатано на ротапринте УкрНИИуглеобогащение 15.12 1969года.

gost.e-ecolog.ru