

**А.С. КИРНАРСКИЙ**, д-р техн. наук  
(Германия, фирма "Инжиниринг Доберсек ГмбХ")

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ВОДНО-ШЛАМОВЫЕ СХЕМЫ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ КВАРЦЕВЫХ ПЕСКОВ**

### *Введение*

Водно-шламовое хозяйство обогатительной фабрики по переработке кварцевого песка является системой по обеспечению необходимого разжижения пульпы на различных обогатительных переделах и извлечения илистых шламов, осветления оборотной воды и сокращения загрязнения рек и водоемов.

Водно-шламовый комплекс включает в себя гидроклассификацию и сгущение шламов, осветление шламовых вод, возвращаемых в оборот, обезвоживание и складирование продуктов обогащения.

При значительном содержании глинистых компонентов в исходном песке, повышении требований к качеству оборотной воды и ужесточения норм по санитарному состоянию рек и водоемов в районе расположения обогатительной фабрики возникает необходимость в разработке разветвленных водно-шламовых схем, оптимизация которых стала предметом данной статьи.

### *1. Обоснование необходимости сгущения шламовых вод*

Для работы оптимальной схемы принимаем производительность обогатительной фабрики по исходным кварцевым пескам 100 т/ч. Выход отходов производства – 20% или в массовом выражении 20 т/ч. Содержание твердого в хвостовой пульпе – 2,6%. Объем хвостовой пульпы – 757 м<sup>3</sup>/ч. Плотность твердой фазы – 2,6 т/м<sup>3</sup>. Гранулометрический состав хвостов приведен в табл. 1.

*Таблица 1*

Гранулометрический состав хвостов обогащения песка

Класс крупности, мм	Частный выход классов, %	Суммарный выход классов по плюсу, %	Содержание железа (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), %
> 0,50	0,50	0,50	0,036
0,30-0,50	0,80	1,30	0,040
0,25-0,30	0,90	2,20	0,052
0,20-0,25	3,15	5,35	0,069
0,18-0,20	9,48	14,83	0,070
0,16-0,18	10,20	25,03	0,071
0,12-0,16	28,12	53,15	0,072
0,10-0,12	35,40	88,55	0,140
0,00-0,10	11,45	100,00	0,180
Итого	100,00		0,107
Содержание кл. +0,12		53,15	0,070

Рассмотрим два варианта водно-шламовой схемы: с подачей всей хвостовой пульпы в хвостохранилище (рис. 1а) и с предварительным ее сгущением с

последующей подачей сгущенного продукта в хвостохранилище, а слива в оборот (рис. 1б).

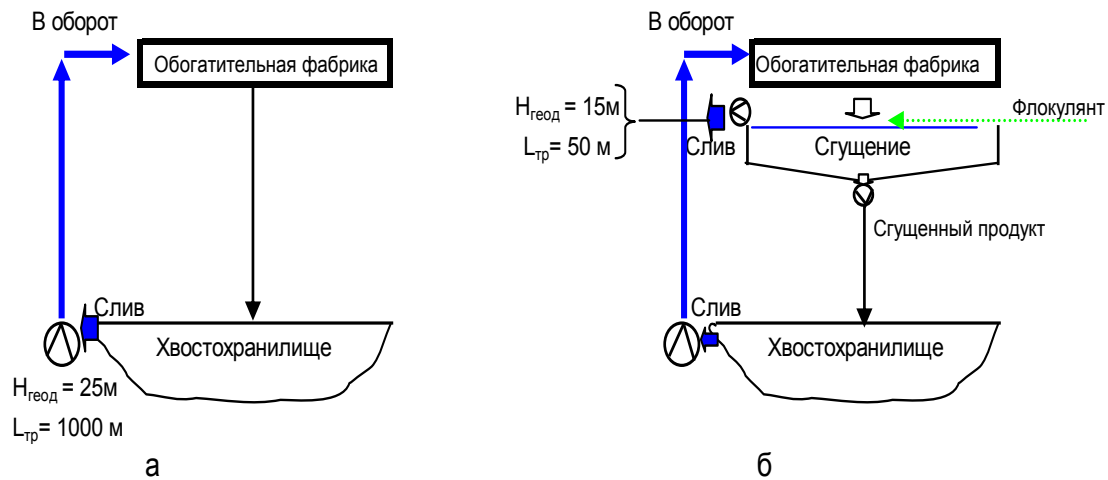


Рис. 1. Водно-шламовая схема обогатительной фабрики: с подачей всей хвостовой пульпы в хвостохранилище (а) и с предварительным ее сгущением (б)

В первом случае (рис. 1а) исходим из того, что хвостохранилище располагается ниже уровня обогатительной фабрики, что позволяет осуществлять гидротранспорт хвостовой пульпы самотеком. После осветления в хвостохранилище обратная вода с незначительной примесью твердого принудительно возвращается на обогатительную фабрику в зумпф оборотной воды, откуда насосом она перекачивается в бак оборотной воды. Принимаем удаление хвостохранилища от обогатительной фабрики – 800 м, а геодезическую высоту – 10 м.

Во втором случае (рис. 1б) хвостовая пульпа сначала сгущается в сгустителе с применением флокулянта, при этом получают чистый слив с содержанием твердого 0,5 г/л и сгущенные до 30% хвосты обогащения, которые перекачиваются в хвостохранилище. Слив последнего также принудительно возвращается в оборот. Самотек сгущенного продукта исключаем по причине заиливания хвостового лотка за счет осаждения твердых частиц из движущегося потока пульпы.

Для технико-экономического сравнения этих вариантов принимаем к расчету следующие показатели: годовой фонд рабочего времени – 8160 ч; коэффициент использования оборудования – 0,9; затраты по содержанию хвостохранилища – 0,95 Евро/т; скорость осаждения сфлокулированных частиц – 4,28...6,84 м/ч; расход флокулянта – 7 г/т; стоимость флокулянта – 3000 евро/т; стоимость 1 кВт·часа электроэнергии, 4,2 цента.

Результаты технико-экономического сравнения приведены в табл. 2.

Представленные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что сгущение хвостовой пульпы оправдывает себя по экономии энергозатрат, так как предпочтительнее перекачивать осветленную воду в составе слива сгустителя в бак оборотной воды непосредственно на обогатительной фабрике на высоту 15 м при длине напорного трубопровода 50 м, чем подавать осветленную воду с хвостохранилища на высоту 25 м при удалении последнего от ОФ не менее 800 м.

Технико-экономическое сравнение водно-шламовых схем

Технико-экономические показатели	Варианты схемы	
	без сгущения	с сгущением
Объем хвостовой пульпы после ОФ, м <sup>3</sup> /час	757,00	757,00
Объем пульпы, подаваемой на хвостохранилище, м <sup>3</sup> /час	757,00	54,29
Объем оборотной воды, подаваемой на ОФ, м <sup>3</sup> /час	750,00	750,00
Установочная мощность приводного электродвигателя, кВт	171,00	67,00
Годовой расход электроэнергии, тыс. кВт·час/год при:	1255,82	492,05
фактическом годовом фонде рабочего времени, часов	7344,00	7344,00
Годовые затраты на электроэнергию, тыс. Евро/год при:	52,74	20,67
стоимости 1 кВт·часа электроэнергии, Евро	0,042	0,042
Годовые затраты на флокулянт типа ПАА, тыс. Евро, при:	0,00	3,08
удельном расходе флокулянта, г/т	0,00	7,00
стоимости флокулянта типа ПАА, Евро/т	0,00	3000,00
Общие эксплуатационные затраты, тыс. Евро/год	52,74	23,75

Представляет интерес выделение из состава хвостов текущей переработки песков зернистой части крупностью более 0,12 мм. Табл. 1 показывает потенциальную возможность получения из отходов обогащения продуктивной фракции крупностью более 0,12 мм, качество которой по содержанию триоксида железа (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) позволяет реализовать ее в виде товарного концентрата.

## 2. Разработка оптимальной водно-шламовой схемы

Для дообогащения хвостов уместно применить гидрокласификацию в гидроциклонах, использование которых одновременно улучшает структуру и экономичность водно-шламового хозяйства, для чего сгущение целесообразно выполнить в два приема в последовательности сгущение – осветление или наоборот, что графически изображено на рис. 2 и 3.

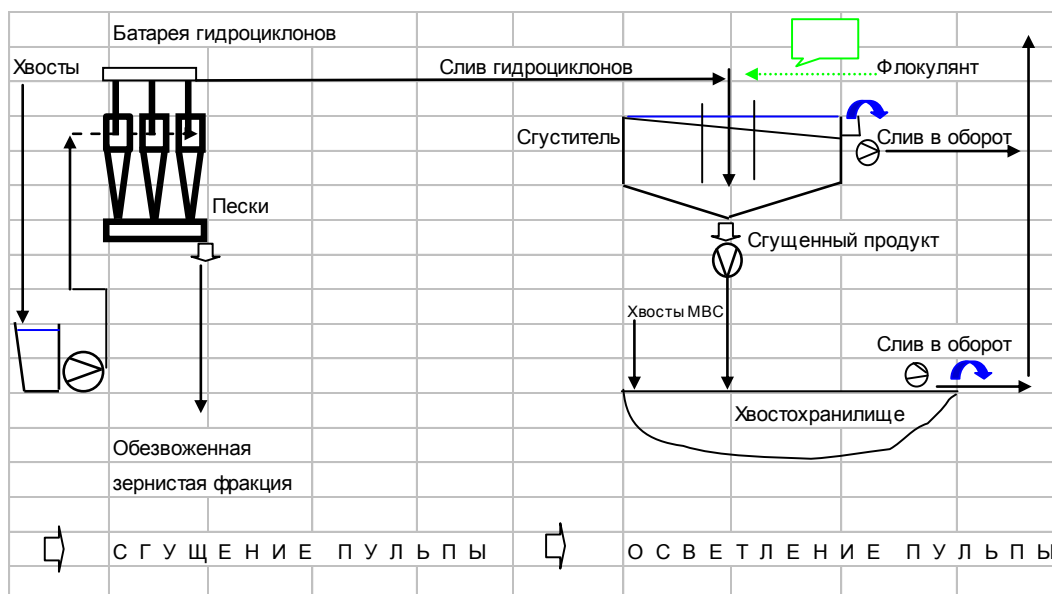


Рис. 2. Двухстадийная схема сгущения хвостовой пульпы в последовательности: сгущение – осветление хвостовой пульпы

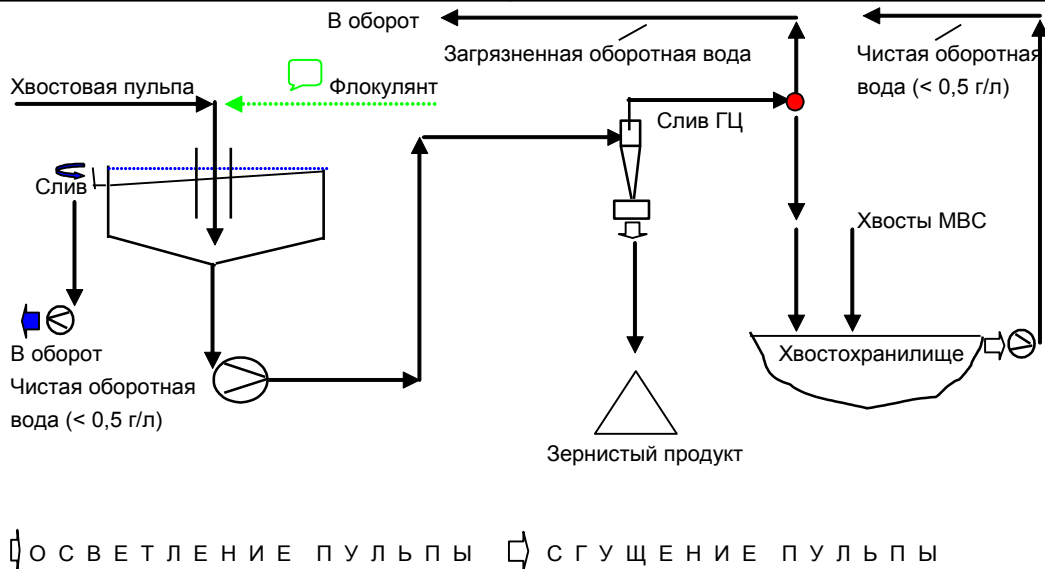


Рис. 3. Двухстадийная схема сгущения хвостовой пульпы в последовательности:  
осветление – сгущение хвостовой пульпы

Качественное сравнение водно-шламовых схем с глубоким осветлением хвостовой пульпы, представленных на рис. 2 и 3, обнаруживает явные преимущества второго варианта, так как здесь осуществляется самотечная подача исходной пульпы в сгустительное устройство с последующей гидрокласификацией песчаной смеси в гидроциклонах в условиях постоянной, непрерывной и однородной подачи, что обеспечивает высокие показатели сепарации по заданному граничному зерну (100 мкм) с разделением слива на два потока, один из которых возвращается в оборот на операции, где не требуется стерильно чистая оборотная вода, например, на дезинтеграцию песка в скруббер-бутарах, а другой поток самотеком сбрасывается в хвостохранилище, после отстоя в котором чистая вода вместе с осветленным сливом сгустителя перекачивается в бак оборотной воды, откуда она самотеком при содержании твердого не более 0,5 г/л распределяется по технологическим переделам в необходимом количестве. На стадии гидроциклонирования возможно использование противоточной гидрокласификации в аппаратах типа "Гидросорт". Сохранение зернистой составляющей песчаной смеси перед обработкой суспензии в сгустителе приведет к улучшению процесса седиментации, так как относительно крупные зерна играют роль своего рода центров зародышеобразования и формирования флоккул, что интенсифицирует данный процесс. Кроме того, в таких условиях легче обеспечить равномерное и однородное питание гидроциклонов, при этом следует считаться с подачей сокращенного объема суспензии на гидроциклонную установку, что не потребует увеличения вместимости зумпфа, мощности насоса и количества самих гидроциклонов. Таким образом, такая схема (рис. 3) требует меньше основного и вспомогательного оборудования: насосов, гидроциклонов, задвижек, но в то же время при таком фронте сгущения расход флокулянтов будет больше, чем в первой схеме (рис. 2), поэтому для окончательного вы-

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

бора требуется технико-экономическое сравнение обоих вариантов осветления и сгущения шламовых вод. Важно отметить в данном контексте принцип технологической однофункциональности, который гласит: уникальность каждого технологического процесса проявляется не в совмещении с другими процессами, а в эффективном его отдельном применении, для чего важно создать необходимые условия его реализации, как на стадии подготовки питания, так и на этапе непосредственной его реализации.

Для экономической оценки двустадийных водно-шламовых схем рассчитаем капитальные и эксплуатационные затраты по каждой из них, а затем определим срок их окупаемости. Результаты расчетов сведены в таблицу 3.

В рамках первой схемы предварительное сгущение пульпы в гидроциклонной установке требует применения высокопроизводительного оборудования, а именно: насоса типа 10/8 ЕУ-АНЕ в комплексе с тремя гидроциклонами типа 650CVX, при этом установочная мощность ее составит 112 кВт. Для сгущения слива гидроциклонной установки должен быть установлен сгуститель диаметром 15 м. Расход флокулянта принимаем равным 7 г/т, что в годовом расходе равно – 176,3 кг. Для перекачки слива сгустителя в бак оборотной воды понадобится насос типа 10/8 ЕУ-АНЕ, причем мощность привода его не превысит 70 кВт. Сгущенный продукт сгустителя в количестве порядка 50 м<sup>3</sup>/час перекачивается в хвостохранилище вместе с хвостами мокрой винтовой сепарации, для чего требуется песковый насос, приводная мощность которого составит 26 кВт. Общая установочная мощность токоприемников по первому варианту оценивается в 211 кВт.

При работе по второй схеме хвостовая пульпа объемом 757 м<sup>3</sup>/ч при содержании твердого 2,6% самотеком поступает в сгуститель, расположенный на нижних отметках обогатительной фабрики, где в присутствии флокулянта типа ПАА или Магнафлок имеет место осветление ее с получением сгущенного продукта в количестве 54 м<sup>3</sup>/час при содержании твердого 30,0%, который насосом типа 4/3 СУ-АНЕ подается на один гидроциклон диаметром 400 мм. Мощность двигателя такого насоса – 12 кВт. Подача осветленной оборотной воды в количестве 703 м<sup>3</sup>/час при содержании твердого 0,25г/л осуществляется насосом типа 10/8 ЕУ-АНЕ, мощность привода которого не превысит 70 кВт. Таким образом, общая установочная мощность токоприемников по второму варианту – 108 кВт. Расход флокулянта принимаем равным 7г/т, что в годовом расходе равно – 1028,2 кг. Интересно отметить, что площадь осаждения по первому варианту больше, чем по второму, что объясняется большим разжижением исходной пульпы при предварительном сгущении пульпы в гидроциклонной установке, слив которой имеет содержание твердого 1,08% или 10,85 г/л против 2,6% или 26,42 г/л по второму варианту. Кроме того, нами сделано допущение, что скорость осаждения высокодисперсных частиц крупностью 98,4% класса минус 120 мкм меньше, чем скорость осаждения песчаной смеси, гранулометрический состав которой изложен в таблице 1. Требуемая удельная площадь осаждения определяем по формуле

$$s = \frac{R1 - R2}{k \cdot v \cdot \rho}, (\text{м}^2 \cdot \text{час})/\text{т},$$

где  $R1, R2$  – разжижение пульпы до и после сгущения;  $v$  – скорость осаждения сфлокулированной взвеси, м/час;  $\rho$  – плотность пульпы, т/м<sup>3</sup>;  $k$  – коэффициент, учитывающий отношение эффективно используемой поверхности осаждения к общей площади поверхности осаждения сгустителя, 0,7 – 0,8.

Тогда, требуемая удельная площадь осаждения по первому варианту равна

$$s = \frac{91,59 - 2,33}{0,75 \cdot 5,5 \cdot 1,0} = 21,64, (\text{м}^2 \cdot \text{ч})/\text{т},$$

а по второму варианту она составит

$$s = \frac{37,46 - 2,33}{0,75 \cdot 6,84 \cdot 1,0} = 6,85, (\text{м}^2 \cdot \text{ч})/\text{т}.$$

Общая площадь осаждения по первому и второму вариантам составляет соответственно 175,7 и 136,95 м<sup>2</sup>. Таким образом, сокращение нагрузки по твердому на стадии сгущения не окупилось сокращением площади осаждения ввиду повышения разжижения пульпы (91,59 против 37,46). Даже если принять скорость осаждения в обоих вариантах равной, например, 6,84 м/час, удельная площадь осаждения по первой схеме будет больше и составит 17,4 (м<sup>2</sup>·ч)/т. Следовательно, при сгущении 748 м<sup>3</sup>/ч пульпы при содержании твердого 1,08% или 8,12 т/ч по массовой нагрузке потребная площадь сгущения составит 141,28 м<sup>2</sup>, в то время как при сгущении 757 м<sup>3</sup>/час пульпы при содержании твердого 2,6% или 20,00 т/ч по массовой нагрузке потребная площадь сгущения составит 136,95 м<sup>2</sup>.

Для реализации рассмотренных схем потребуется следующее оборудование: сгуститель диаметром 15 м, гидроциклонная установка, насосная установка для перекачки осветленной оборотной воды, насосная установка для перекачки сгущенного продукта.

Результаты технико-экономического расчета, сведенные в таблицу 3, указывают однозначно на предпочтительность второго варианта, так как срок его окупаемости почти в три раза меньше, чем по первому варианту, что объясняется меньшими капитальными и эксплуатационными затратами при реализации водно-шламового комплекса, построенного по принципу осветление – сгущение с применением на первой стадии сгустителя, работающего в режиме осветлителя и гидроциклонной установки на втором этапе, работающего в режиме сгустительного устройства.

При выделении зернистого товарного продукта исходим из получения максимального выхода (75,89%), в то время как качество играет здесь подчиненную роль ввиду как можно меньшего количества песка, сбрасываемого в

### **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

хвостохранилище, хотя наличие гидроциклонной установки позволяет регулировать режим гидроклассификации и, как следствие, получать продуктивную фракцию нужного качества и в необходимом количестве в зависимости от конъюнктуры рынка. Здесь важно учитывать не только цену отгружаемого продукта, но и затраты на гидротранспорт и складирование отходов обогащения. Получаемая зернистая фракция может отгружаться как строительные или формовочные пески в сыром виде. Не исключено получение и стекольного песка типа Б-100-1, но в этом случае необходимо дополнительное обезвоживание и сушка с целью достижения влажности на уровне 0,5%, что удорожает данный процесс.

Таблица 3

Результаты расчета окупаемости разветвленных водно-шламовых схем

Наименование показателей	Единица измерения	Водно-шламовая схема	
		Вариант I	Вариант II
1. Исходные данные для расчета			
1.1. Количество получаемого концентрата	т/ч	15,00	15,00
1.2. Годовой фонд рабочего времени	ч	8160	8160
1.3. Коэффициент использования оборудования		0,90	0,90
1.4. Годовой выпуск товарного концентрата	т/г	110160,0	110160,0
1.5. Цена 1 т товарного концентрата	Евро	5,12	5,12
1.6. Выпуск дополнительной продукции	тыс. Евро/г	564,02	564,02
1.7. Экономия затрат на содержание хвостохранилища	тыс. Евро/г	104,65	104,65
2. Капитальные затраты			
2.1. Оборудование	тыс. Евро	1145,45	738,20
2.2. Пошлина (5% от стоимости оборудования)	тыс. Евро	57,27	36,91
2.3. НДС (18% от стоимости оборудования)	тыс. Евро	206,18	132,88
2.4. Стоимость оборудования с учетом пошлины и НДС	тыс. Евро	1408,90	907,99
2.5. Стоимость строительно – монтажных работ (30%)	тыс. Евро	422,67	272,40
2.6. Итого капитальные затраты	тыс. Евро	1831,57	1180,38
2.7. Итого капитальные затраты без НДС	тыс. Евро	1625,39	1047,51
3. Эксплуатационные затраты			
3.1. Затраты на электроэнергию	тыс. Евро	66,63	34,11
при установочной мощности токоприемников	кВт	211,00	108,00
годовом расходе электроэнергии	тыс. кВт·час	1549,58	793,15
при стоимости 1 кВт·часа электроэнергии	Евро	0,043	0,043
3.2. Затраты на флокулянт	тыс. Евро	0,53	4,11
при стоимости 1 т флокулянта	тыс. Евро	3,00	3,00
3.3. Амортизационные отчисления	тыс. Евро	108,36	69,83
при времени амортизации	лет	15,00	15,00
3.4. Налог на имущество (2,2%)	тыс. Евро	33,37	21,51
3.5. Процент по кредиту (13%)	тыс. Евро	238,10	153,45
3.6. Годовые эксплуатационные затраты	тыс. Евро	447,00	283,01
3.7. CASH FLOW в годовом исчислении	тыс. Евро	221,67	385,66
Окупаемость технологии сгущения хвостов обогащения	лет	8,26	3,06

#### *Выводы*

1. Хвостовая пульпа после обогащения кварцевого песка подлежит сгущению перед ее сбросом в хвостохранилище, для чего уместно применять разветвленные водно-шламовые схемы.

2. Водно-шламовые схемы предпочтительнее строить по принципу освет-

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

ление – сгущение, так как это позволяет получить чистый слив, пригодный для подачи в циклы гравитационного обогащения, и сгущенный продукт, качество которого позволяет его реализовать в виде товарного концентрата.

3. Техничко-економическое сравнение двухстадиальных водно-шламовых схем с использованием гидроциклонной установки и сгустителя показывает, что выгоднее в голове процесса размещать сгуститель, который обеспечивает необходимую чистоту оборотной воды и создает нужное уплотнение сгущенного продукта для последующей его гидроклассификации с выделением зернистой товарной фракции.

© Кирнарский А.С., 2010

*Надійшла до редколегії 10.02.2010 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.7

**А.Д. НИЩЕРЯКОВ**

(Украина, Днепропетровск, ГП "Укрниуглеобогащение")

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ШЛАМООБРАЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ГОФ "РОВЕНЬКОВСКАЯ"**

Критерием шламообразования на углеобогатительных фабриках является количество вновь образовавшегося в процессе обогащения класса крупностью 0-1 мм в рядовых углях и продуктах его разделения. Величина шламообразования зависит от физико-механических свойств угля и породы [1], технологии обогащения и применяемого оборудования. Источники образования шлама на углеобогатительных фабриках следующие [2-4]:

- измельчение угля при его транспортировании внутрифабричным транспортом, особенно в местах перепада;
- истирание угля в обогатительных аппаратах (на грохотах и в дробилках, в отсадочных машинах, сепараторах, центрифугах и др.);
- размокания глинистых частиц породы в воде.

В результате происходит накопление шлама в системе, увеличиваются объемы его циркуляции с оборотной водой и содержание в ней твердого за счет уменьшения крупных машинных классов. Переход части крупного машинного класса в более мелкий уменьшает содержание крупных машинных классов и их продуктов гравитационного обогащения, что снижает качественно-количественные показатели работы фабрики и цену ее товарной продукции. Определение качественно-количественных параметров изменения выхода машинных классов с учетом их шламообразования является важнейшей задачей переработки каменных рядовых углей и антрацита, решение которой позволяет