

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра обогащения полезных ископаемых

Составители  
М. С. Клейн  
Т. Е. Вахонина

## **ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

### **Методические указания к лабораторным работам**

для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело,  
специализации 06 Обогащение полезных ископаемых,

Рекомендовано учебно-методической комиссией  
специальности 21.05.04 Горное дело,  
специализации 06 Обогащение полезных ископаемых,  
в качестве электронного издания  
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензент:

Бобровникова А. А., кандидат химических наук, доцент, зав. кафедрой обогащения полезных ископаемых, председатель учебно-методической комиссии специализации 21.05.04.06 Обогащение полезных ископаемых

**Клейн Михаил Симхович**

**Вахонина Татьяна Евгеньевна**

**Технологии обогащения полезных ископаемых** : методические указания к лабораторным работам для обучающихся специальности 21.05.04 Горное дело, специализации 06 Обогащение полезных ископаемых, всех форм обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра обогащения полезных ископаемых ; составители М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина. – Кемерово, 2025. – 1 файл (1127 Кб). – Текст : электронный.

Методические указания содержат рекомендации по выполнению лабораторных работ, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

© Кузбасский государственный  
технический университет имени  
Т. Ф. Горбачева, 2025

© Клейн М. С., Вахонина Т. Е.  
составление, 2025

Лабораторные работы по дисциплине «Технологии обогащения полезных ископаемых» включают элементы научно-исследовательской работы и направлены на формирование у студентов навыков выбора схемы обработки угольных шламов и расчета по результатам опытов технологических показателей продуктов разделения, определение оптимальных режимов флотации, фильтрации и других операций, обеспечивающих получение продуктов обогащения с заданными качественно-количественными характеристиками.

### **Общие требования**

Прежде чем приступить к выполнению лабораторных работ, необходимо пройти инструктаж по технике безопасности, ознакомиться с порядком проведения лабораторной работы и рабочим местом, получить необходимые материалы и лабораторный инвентарь у учебного мастера или инженера. Лабораторная работа выполняется группой студентов, состоящей из 3–4 человек.

По окончании лабораторной работы необходимо убрать свое рабочее место, сдать лабораторный инвентарь и приступить к обработке и оформлению результатов работы. Отчет по лабораторной работе включает в себя: номер, название и цель работы, краткое описание теоретических положений, содержание и порядок проведения работы, оформление результатов и вывод. Отчет должен быть представлен преподавателю для проверки каждым студентом. Студент, не представивший отчет о выполненной лабораторной работе, не допускается к выполнению последующей.

Защита отчетов производится в виде устного опроса.

Студент полностью завершил лабораторный практикум, если выполнил лабораторные работы, предусмотренные рабочей программой, представил все отчеты, объяснил полученные результаты и ответил на вопросы преподавателя. Результаты выполнения лабораторного практикума используются для оценки текущей успеваемости студентов, проводимой на 5-й, 9-й, 13-й и 17-й неделях семестра при проставлении контрольных точек.

## Лабораторная работа № 1

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ И ВЫБОР СХЕМЫ ИХ ОБРАБОТКИ

**Цель работы:** формирование у студентов навыков проведения ситового анализа угольного шлама методом мокрого отсева и выбора схемы обработки шламовой воды на углеобогащательной фабрике.

**Общие сведения.** Обработка шламов является важным звеном в технологических схемах углеобогащательных фабрик. От типа принятой водно-шламовой схемы и ее совершенства, от режима ее эксплуатации во многом зависят технико-экономические показатели работы фабрики.

В практике обогащения углей шламом называется продукт крупностью 0–0,5 или 0–1 мм. Размер частиц 0,5 мм является границей эффективного обогащения угля гравитационными методами и флотации. Угольные шламы – сложные, полидисперсные системы. Они имеют разнообразный гранулометрический состав и различные минералогические и петрографические характеристики. На углеобогащательных фабриках шлам находится в шламовой воде, которая образуется в результате обезвоживания продуктов гравитационного обогащения угля.

По крупности шлам углеобогащательных фабрик делится на зернистый размером более 0,045 мм, который относительно хорошо осаждается, улавливается, обогащается и обезвоживается, и тонкий размером менее 0,045 мм, который весьма трудно поддается обработке. Он резко изменяет свойства суспензии и затрудняет ведение таких процессов, как обогащение, осаждение, сгущение и уплотнение, обезвоживание и фильтрование.

Важной характеристикой шлама является его гранулометрический состав, который определяют методом ситового анализа. По результатам ситового анализа подсчитывается степень дисперсности шлама  $a$  – параметр экспоненты:

$$\gamma = e^{ad}, \quad (1.1)$$

где  $\gamma$  – выход шлама класса средней крупности, %;  $a$  – степень дисперсности шлама каждого класса средней крупности, %;  $d$  – средний размер частиц шлама каждого класса, мкм.

Степень дисперсности шлама, состоящего из различных классов крупности, определяется как среднеарифметическое всех классов:

$$a = (a_1 \cdot \gamma_1 + a_2 \cdot \gamma_2 + \dots + a_n \cdot \gamma_n) / 100, \quad (1.2)$$

где  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – соответственно степень дисперсности каждого класса;  $a_1 = \ln 100/d_1$ ;  $a_2 = \ln 100/d_2$ ; ...  $a_n = \ln 100/d_n$ ;  $d_1, d_2, \dots, d_n$  – средний размер частиц каждого класса, мкм;  $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$  – выход классов шлама разной крупности, %.

Чем больше значение  $a$ , тем тоньше шлам, и наоборот. Показатель  $a$  будет тем точнее, чем больше получено классов при гранулометрическом анализе шлама. Приблизительно можно считать, что угольные шламы со степенью дисперсности более 0,1 весьма тонкие, трудно поддаются обработке, а шламы со степенью дисперсности менее 0,1 более зернистые, легко поддаются обработке.

**Оборудование и материалы:** Набор сит, проба угольных шламов, комплект посуды для приготовления пульпы и сбора классов крупности, электронные весы с точностью измерений до 1 г и до 0,001 г, фильтровальная установка, сушильный шкаф, муфельная печь, флокулянты.

### **Порядок выполнения работы**

1. *Определение гранулометрического состава угольного шлама проводится методом мокрого отсева.*

Для выполнения работы отбирают пробу сухого угольного шлама одной из обогатительных фабрик Кузбасса весом 50 г. Пробу помещают в литровую кружку, заливают водой, перемешивают и замачивают в течение 15 минут. Ситовый анализ проводят на ситах с отверстиями 0,63; 0,4; 0,2; 0,1; 0,063 и 0,045 мм. Замоченную пробу шлама выливают на верхнее сито 0,63 мм, а подрешетный продукт собирают в тазик. Для лучшего отделения мелких классов сито многократно встряхивают у поверхности воды в тазике для создания пульсаций жидкости через сито, а затем остаток шлама на сите тщательно промывают водой с помощью груши. Подрешетный продукт выливают на следующее сито 0,4 мм и повторяют описанные выше операции на каждом сите. Подрешетный продукт после нижнего сита осаждают с использованием флокулянтов и сливают осветленную воду.

Надрешетные продукты с каждого сита и осадок после осветления фильтруют через бумажные фильтры на фильтровальной установке, высушивают в сушильном шкафу, взвешивают с точностью до 0,1 г и отбирают пробы для определения их зольности. Зольность продуктов определяют методом медленного озоления по ГОСТ 55661-2013. Для этого от каждого продукта отбирают представительные пробы весом 1 г с точностью до 0,001 г и засыпают их ровным слоем в тигли для сжигания. Если крупность материала более 0,2 мм, то материал истирают в фарфоровой ступке.

Зольность рассчитывают по формуле

$$A^d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  – вес соответственно пустого тигля, тигля с углем и тигля с золой, г.

Выход классов крупности рассчитывают по формуле

$$\gamma_k = \frac{Q_i}{\sum Q_i} \cdot 100\%, \quad (1.4)$$

где  $Q_i$  – масса одного класса крупности, г;  $\sum Q_i$  – суммарная масса всех классов крупности, г.

Полученные результаты заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Гранулометрический состав шлама

Классы, мм	Средний размер, мм	$\gamma_k$		$A^d$ , %
		г	%	
Всего				

По результатам ситового анализа рассчитывают степень дисперсности шлама  $a$ .

## 2. Выбор технологической схемы обработки шламов.

При выборе технологической схемы студенты принимают за основу полную схему обработки шламов (рис. 1.1).

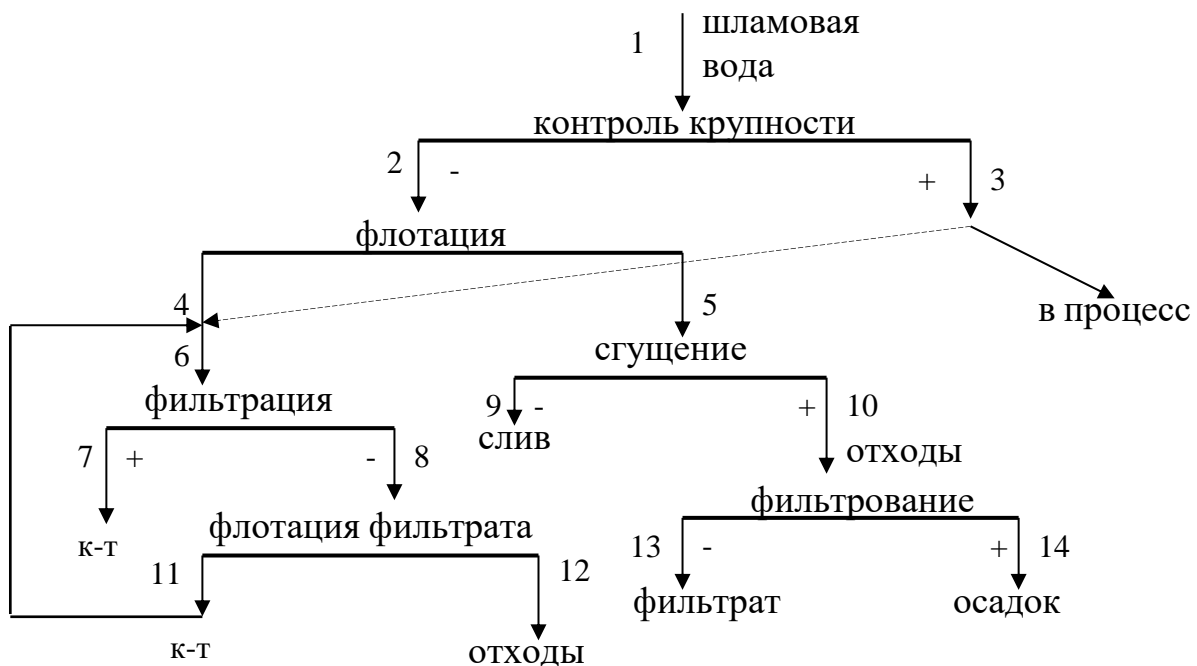


Рис. 1.1. Рекомендуемая полная схема обработки шламовых вод

Целесообразность включения в схему отдельных операций обработки определяется с учетом гранулометрической характеристики шлама (табл. 1.1) и следующих рекомендаций:

- операция контроля крупности проводится в том случае, когда в исходном шламе содержание крупного класса (+0,63 мм) более 5 %. При этом, если зольность крупного класса менее 15 %, то можно посылать надрешетный продукт № 3 этой операции на фильтрацию. Если зольность более 15 %, надрешетный продукт возвращается в процесс на гравитационное обогащение. Если содержание крупного класса менее 5 %, то весь шлам направляется на флотацию;
- операции флотации, фильтрации флотоконцентрата и сгущения отходов флотации включаются в схему обработки шламов во всех случаях;
- операция флотации фильтрата необходима в том случае, когда содержание твердого в фильтрате выше содержания твердого в оборотной воде (задается преподавателем);
- операция фильтрования отходов флотации включается в схему при необходимости получения транспортабельного осадка низкой влажности.

**Отчет по лабораторной работе включает описание:**

- характеристики угольных шламов;
- методики проведения ситового анализа;
- результаты ситового анализа;
- обоснование выбранной технологической схемы обработки шламов.

***Контрольные вопросы:***

1. Перечислить методы определения гранулометрического состава сыпучих материалов.
2. Определение гранулометрического состава руды методом ситового анализа.
3. Изложить методику проведения ситового анализа.
4. Дать определение непрерывному, разовому, мокрому рассевам.

**Лабораторная работа № 2**  
**ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ**  
**ФЛОТАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ**

**Цель работы:** изучение влияния флотационных реагентов на процесс флотации угольной мелочи, определение оптимальных условий процесса и построение кинетических кривых флотации.

**Общие сведения.** Флотационными процессами обогащения называют процессы разделения минералов, основанные на различной способности этих минералов закрепляться на межфазовой поверхности. Флотация – наиболее эффективный метод обогащения угольных шламов крупностью менее 0,5 (0,2) мм.

Процесс флотации шламов углей способствует регенерации шламовых вод и выводу илистого материала из цикла, что, в свою очередь, обеспечивает улучшение работы водно-шламовой системы и снижение зольности товарной продукции.

Известны следующие разновидности флотационного процесса: пленочная, масляная и пенная флотация. Наибольшее распространение получил процесс пенной флотации, когда флотационная пульпа насыщается мелкими пузырьками воздуха с помощью специальных устройств. При этом гидрофобные (не смачиваемые водой) частицы угля прилипают к пузырькам воздуха и выносятся вместе с ними на поверхность пульпы, образуя пену, которая сни-



мается с поверхности пульпы пеногонами в желоб. Гидрофильные минеральные частицы смачиваются водой и не прилипают к пузырькам воздуха, оставаясь в пульпе, которая непрерывно удаляется.

Введением в пульпу (смесь воды и мелких зерен) специальных веществ, называемых флотационными реагентами, искусственно добиваются изменения смачиваемости поверхности минеральных зерен и образования устойчивой пены. По характеру воздействия на флотацию флотационные реагенты подразделяются на следующие группы:

- *собиратели*, гидрофобизируют поверхность угля, повышают прочность закрепления его частицы на пузырьках. Эти реагенты обладают сильным, обычно селективным собирательным действием. К аполярным реагентам относятся различного рода технические углеводородные масла, обладающие главным образом собирательными свойствами и ограниченной вспенивающей способностью. На фабриках применяются различные керосины, термогазойль, расход реагентов составляет  $1000 \div 3000$  г/т;

- *вспениватели*, уменьшают поверхностное натяжение и облегчают диспергирование воздуха на мелкие пузырьки адсорбируясь на границе раздела жидкость-газ. Их присутствие в жидкой фазе флотационной пульпы повышает механическую прочность воздушных пузырьков и способствует сохранению их в дисперсном состоянии, увеличивая, таким образом, поверхность прилипания частиц флотируемого минерала и устойчивость флотационной пены. На фабриках в качестве вспенивателей применяют кубовый остаток производства бутиловых спиртов – КОБС, кубовый остаток ректификации продуктов синтеза из масляного альдегида – ВКП-Кэтгол, расход реагентов составляет  $30 \div 250$  г/т.

Реагенты собиратели и вспениватели подаются, как правило, отдельно, и лишь в ряде случаев вводятся в виде искусственно приготовленных смесей в определенном процентном соотношении, учитывающем особенности флотируемых углей. Применение смеси реагентов или монореагента, обладающего собирательными и вспенивающими свойствами, целесообразно только на фабриках с постоянной сырьевой базой. Без применения флотационных реагентов флотация практически невозможна.

Вопрос о выборе оптимального реагента для конкретного случая флотации зависит от многих факторов, которые определяются требованиями:

- высокой эффективностью процесса (большой избирательностью действия);
- постоянством состава и свойств применяемого вещества;
- хорошей экологичностью (отсутствием токсичности или резкого и неприятного запаха)
- высокой технологичностью (большой текучестью, низкой температурой замерзания и малой вязкостью);
- отсутствием легкой воспламеняемости;
- отсутствием корродирующего действия на оборудование,
- экономической приемлемостью.

При флотации угольных шламов наибольшее распространение получили флотационные машины механического типа, в которых перемешивание и аэрация (насыщение пузырьками воздуха) пульпы осуществляются с помощью механической мешалки – импеллера.

Эффективность процесса флотации угольных шламов зависит от петрографического, гранулометрического и фракционного состава флотируемого материала, а также ряда технологических факторов: подготовки пульпы, реагентного режима, плотности пульпы, времени и схемы флотации, автоматизации флотоустановки и др.

**Оборудование и материалы:** Уголь крупностью 0–0,5 мм; лабораторная флотационная машина с камерой объемом 1 л; комплект посуды для приготовления пульпы и сбора продуктов флотации; электронные весы с точностью измерений до 1 г и до 0,001 г; фильтровальная установка; сушильный шкаф; муфельная печь; секундомер; линейка; флотационные реагенты; катионные и анионные флокулянты.

### **Порядок выполнения работы**

Каждая подгруппа студентов выполняет серию опытов, меняя один из параметров при постоянных значениях остальных:

- различных расходах собирателя от 1000 до 3000 г/т;
- различных расходах вспенивателя от 80 до 200 г/т.

Флотацию шлама проводят в лабораторной флотомашине механического типа (рис. 2.1).

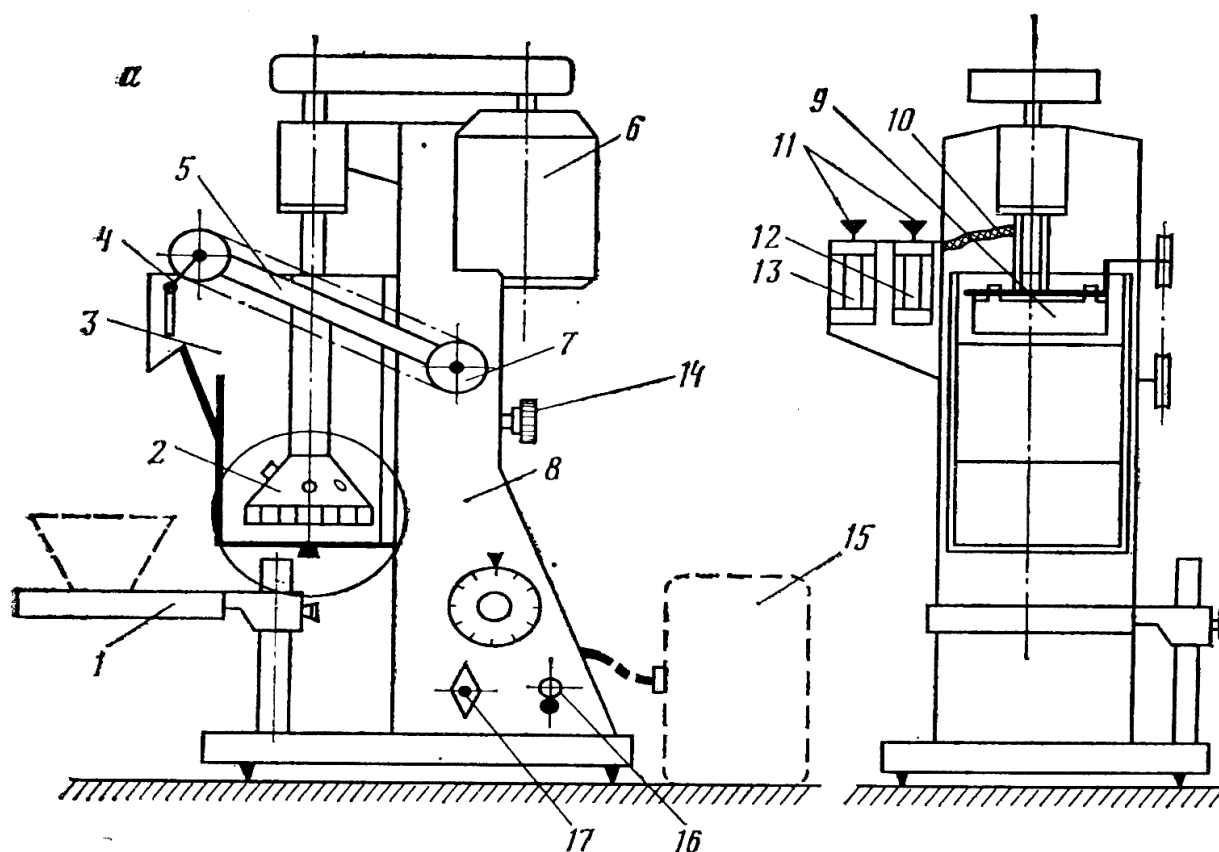


Рис. 2.1. Лабораторная флотационная машина:

1 – подъемный столик; 2 – блок импеллера; 3 – сменная камера; 4 – водило; 5 – рычаг пеногона; 6 – электродвигатель; 7 – шкив; 8 – литой корпус; 9 – лопатка; 10 – трубка для засасывания воздуха; 11 – вентили, регулирующие расход воздуха; 12, 13 – ротаметры; 14 – зажимная гайка; 15 – блок питания электропривода; 16 – тумблер для включения привода пеногона; 17 – тумблер для включения электродвигателя

*Последовательность проведения опытов.*

1. Для проведения опытов от пробы угольного шлама отбирают 7–8 навесок угля в стаканы или кружки. Вес навесок рассчитывают с учетом объема камеры флотомашины и заданного преподавателем содержания твердого в питании флотации по формуле

$$P_H = V_K \cdot C_H \quad (2.1)$$

где  $C_H$  – содержание твердого шлама в исходной пробе питания флотации, г/л;  $P_H$  – вес сухого шлама, г;  $V_K$  – объем камеры флотомашины, л.

В стаканы с навесками доливают осветленную воду в ко-

личестве примерно 0,5–0,7 объема флотационной камеры  $V_k$  и тщательно перемешивают пульпу до полного исчезновения не смоченных частиц угля. Время замачивания пробы не менее 0,5 часа. Приготовленную пульпу переливают в камеру флотомашины, доливают осветленную воду до уровня, обеспечивающего циркуляцию и хорошее перемешивание пульпы.

2. Перед флотацией необходимо добавить в пульпу реагенты. Количество каждого добавляемого реагента рассчитывают по формуле

$$P_p = Q_p \cdot P_n \quad (2.2)$$

где  $P_p$  – количество добавляемого реагента, мг;  $Q_p$  – расход реагента, кг/т;  $P_n$  – вес твердого в одном опыте, г.

При флотации угля обычно используются флотореагенты, которые плохо растворимы в воде и поэтому подаются в пульпу в виде капель с помощью шприца.

Для точного определения веса одной капли  $P_k$  взвешивают 10 капель реагента в закрытом бюксе на электронных весах с точностью измерений до 0,001 грамма (1мг). Необходимое число капель рассчитывают по формуле:

$$n = P_p / P_k \quad (2.3)$$

где  $n$  – число капель реагента;  $P_p$  – количество добавляемого реагента, мг;  $P_k$  – вес капли реагента, мг.

Для более точной дозировки реагентов и контроля веса добавленного реагента шприц с реагентом взвешивается на электронных весах с точностью измерений до 1 мг до и после подачи реагента.

3. Последовательность проведения опытов флотации следующая. Перед проведением каждого опыта тщательно промывают камеру, импеллер с целью предотвращения искажения результатов опыта возможными загрязнениями, оставшимися от предыдущих опытов.

Включают импеллер при закрытом кране подачи воздуха и вводят необходимое для данного опыта количество капель реагентов в камеру флотомашины. При этом сначала подают собиратель, а через одну минуту вспениватель. После ввода реагентов производится агитация его (перемешивание) с пульпой. По истечении времени контактирования в камеру доливают воду до уровня, соответствующего рабочему уровню

пульпы (ниже сливного порога на 2–3 см), открывают кран подачи воздуха (расход воздуха постоянный и устанавливается заранее преподавателем по шкалам ротаметров).

Образование пены указывает на начало флотационного процесса, после этого включают секундомер для отсчета времени флотации. Во время съема концентрата необходимо смыть пену со стен камеры не нарушая пенный слой. Процесс заканчивается после прекращения образования пены. Фиксируется время окончания флотации.

4. После окончания флотационного опыта остатки пены на скребке и носике камеры смывают с помощью груши известным количеством воды (например, 30 мл) в стакан с пенным продуктом (концентратом), который взвешивают на весах с точностью до 1 г. После появления видимой границы между пульпой и пеной линейкой измеряют высоту пены  $h_1$ , палочкой разрушают пену и повторно измеряют высоту разрушенной пены  $h_2$ . Определяют устойчивость  $Y$  по формуле

$$Y = h_2/h_1 . \quad (2.4)$$

Затем пенный продукт фильтруют через бумажные фильтры, высушивают на воздухе или в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния при температуре до 105–110 °С, взвешивают и определяют качественные и количественные показатели (выход, зольность и извлечение горючей массы).

5. Камерный продукт флотации (отходы) выливают из камеры в стакан для осаждения твердой фазы. Для интенсификации процесса осаждения тонких частиц в отходы добавляют анионные и катионные флокулянты, которые используют в виде растворов с концентрацией 0,1 %. Обычно сначала подают катионный флокулянт, пульпу перемешивают, затем подают анионный флокулянт и снова перемешивают пульпу. Расход флокулянтов подбирается для каждой пробы индивидуально. После осаждения твердой фазы отходов флотации осветленную воду сливают, а осадок фильтруют через бумажные фильтры на фильтровальной установке, высушивают на воздухе или в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния, взвешивают с точностью до 1 г и отбирают пробы для определения их зольности.

При необходимости оценки флотуемости частиц угля разной крупности камерный продукт флотации выливают на сито с отверстиями 0,045 или 0,063 мм и тщательно промывают чистой водой остаток на сите. Промытый остаток высушивают, взвешивают и отбирают пробу для определения зольности. Подрешетный продукт выливают в стакан для осаждения твердой фазы и обрабатывают его как описано выше.

*Определение и расчет технологических показателей флотации*

1. Выход продуктов флотации  $\gamma$  (%) рассчитывают с точностью до 0,1 % по формуле

$$\gamma = \frac{Q_i}{Q_{\text{исх}}} \cdot 100, \quad (2.5)$$

где  $Q_i$ ,  $Q_{\text{исх}}$  – масса соответственно продуктов флотации и исходной навески (сумма масс продуктов), г

2. Зольность продуктов определяют методом медленного озоления по ГОСТ 55661-2013. Для этого от каждого высушенного продукта отбирают представительные пробы весом 1 г с точностью до 0,001 г и засыпают их ровным слоем в тигли для сжигания. Если крупность материала более 0,2 мм, то материал истирают в фарфоровой ступке. Тигли с пробами помещают в муфельную печь, сжигают при температуре  $(815 \pm 15)^\circ\text{C}$  в течение 2-х часов.

Зольность продуктов рассчитывают по формуле

$$A^d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\%, \quad (2.6)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  – вес соответственно пустого тигля, тигля с углем и тигля с золой, г.

Зольность исходного шлама  $A_{\text{исх}}^d$  рассчитывают по балансовому уравнению

$$A_{\text{исх}}^d = (\gamma_{\text{к-т}} \cdot A_{\text{к-т}}^d + \gamma_{\text{отх}} \cdot A_{\text{отх}}^d) / 100, \quad (2.7)$$

3. Рассчитывают извлечение горючей массы в концентрат с точностью до 0,1 % по формуле

$$E_{\text{к-т}} = \frac{\gamma_{\text{к-т}}(100 - A_{\text{к-т}}^d)}{100 - A_{\text{исх}}^d}, \quad (2.8)$$

где  $Y_{к-т}$  – выход концентрата, %;  $A_{исх}^d$ ,  $A_{к-т}^d$  – зольность соответственно исходного продукта и концентрата, %.

4. Содержание твердого в пенном продукте  $C_{пп}$ :

$$C_{пп} = \frac{P_T}{P_{пп} + P_T \cdot \left(\frac{1}{\rho_T} - 1\right)}, \quad (2.9)$$

где  $P_T$  – вес твердого в пенном продукте, г;  $P_{пп}$  – вес пенного продукта, г;  $\rho_T$  – плотность твердого, г/см<sup>3</sup>.

Полученные результаты сводят в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты флотации угольных шламов

№ п/п	$t_{флот},$ мин	Расход реагентов				концентрат					отходы	
		собиратель		вспениватель		$\gamma,$ %	$A^d,$ %	$Y$	$C,$ г/л	$E_{к-та},$ %	$\gamma,$ %	$A^d,$ %
		капли	г/т	капли	г/т							

По результатам опытов делают выводы о влиянии расхода собирателя или вспенивателя на процесс флотации угольных шламов и выбирают оптимальный режим флотации.

На основании полученных данных при выбранном оптимальном режиме процесса изучают кинетику процесса флотации. Для построения кривых флотируемости и кривых кинетики флотации проводят два параллельных опыта дробной флотации угля. Для этого необходимо отобрать не менее 5 пенных продуктов за определенные периоды флотации (интервал времени отбора пенных продуктов от 20 до 60 с). Пенные продукты высушивают, взвешивают и определяют их выход и зольность по формулам 2.–2.6. Средние результаты параллельных опытов заносят в табл. 2.2 и рассчитывают суммарные показатели пенного и камерного продуктов для построения кривых флотируемости. Суммарные выходы «пенного продукта» подсчитываются последовательным суммированием выходов сверху вниз, а «камерного продукта» – суммированием снизу вверх.

Так, суммарные выходы «пенного продукта» составят:

$$Y_{\Sigma 1} = Y_1$$

$$Y_{\Sigma 2} = Y_{\Sigma 1} + Y_2$$

$$Y_{\Sigma 3} = Y_{\Sigma 2} + Y_3 \text{ и т.д.}$$

Суммарный выход «камерного продукта» составит

$$\gamma_{\Sigma k1} = \gamma_{отх}$$

$$\gamma_{\Sigma k2} = \gamma_{отх} + \gamma_{n+1} \text{ и т. д.}$$

Зольность находят по балансовым уравнениям.

Строят кривые флотируемости в осях: абсцисс – суммарное время флотации, с; ординат – суммарный выход продуктов, %.

Таблица 2.2

### Результаты дробной флотации угля

Продукты	$t_{\text{флот}}, \text{с}$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$	Суммарные			
				Пенный пр-т		Камерный пр-т	
				$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$
1 пенный		$\gamma_1$	$A_1^d$	$\gamma_{\Sigma 1}$	$A_{\Sigma 1}^d$	100	$A_{\text{исх}}^d$
2 пенный		$\gamma_2$	$A_2^d$	$\gamma_{\Sigma 2}$	$A_{\Sigma 2}^d$	$\gamma_{\Sigma kn+1}$	$A_{\Sigma kn+1}^d$
-----		$\gamma_n$	$A_n^d$	$\gamma_{\Sigma n}$	$A_{\Sigma n}^d$	$\gamma_{\Sigma kn}$	$A_{\Sigma kn}^d$
-----		$\gamma_{n+1}$	$A_{n+1}^d$	$\gamma_{\Sigma n+1}$	$A_{\Sigma n+1}^d$	$\gamma_{\Sigma k2}$	$A_{\Sigma k2}^d$
Всего пенный							
Отходы		$\gamma_{отх}$	$A_{отх}^d$	100	$A_{\text{исх}}^d$	$\gamma_{\Sigma k1}$	$A_{\Sigma k1}^d$
Итого		100	$A_{\text{исх}}^d$				

### **Отчет по лабораторной работе включает описание:**

- процесса флотации угольных шламов;
- методики проведения опытов флотации;
- определение расчетного количества добавляемых в процесс реагентов;
- расчет качественно-количественные показатели продуктов обогащения;
- выбранные оптимальные параметры процесса флотации;
- выводы о влиянии изученных факторов на процесс флотации шламов;
- графическую зависимость кинетики флотации.

### ***Контрольные вопросы:***

1. На каком принципе основано разделение угольных и породных частиц при флотации?
2. Почему не флотируются угольные частицы крупностью более 1 мм?



3. Как влияет гранулометрический состав на результаты флотации?

4. Назовите реагенты для флотации угля, способы подачи их в пульпу и расход.

5. Какие требования предъявляются к машинам для флотации угля?

6. Укажите преимущества механических флотомаши.

7. Какое вспомогательное оборудование необходимо использовать при флотации угля?

8. Чем обусловлена возможность применения прямых схем флотации?

### **Лабораторная работа № 3**

#### **ПОДГОТОВКА ПУЛЬПЫ ПЕРЕД ФЛОТАЦИЕЙ МЕТОДОМ МАСЛЯНОЙ АЭРОАГЛОМЕРАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ**

**Цель работы:** изучение влияния технологических параметров процесса масляной аэроагломерации (МАО) на результаты последующей флотации шламов и определение оптимальных условий процесса.

**Общие сведения.** Эффективность флотации в большой степени определяется подготовкой пульпы к флотации, что на практике часто не учитывается в должной мере. Подготовка пульпы перед флотацией включает следующие операции:

- классификацию для выделения шламов флотационной крупности;

- смешивание всех потоков шламовых вод, поступающих на флотацию, с целью их усреднения и распределение пульпы по флотомашинам;

- кондиционирование (перемешивание) пульпы с реагентами, которое проводится с целью повышения эффективности действия нерастворимых и вязких реагентов и улучшения флотируемости частиц за счет создания благоприятных условий для взаимодействия частиц угля с каплями масляных реагентов.

Одним из наиболее эффективных способов подготовки пульпы перед флотацией является метод масляной аэроагломерации угольных частиц, обеспечивающий снижение количества мельчайших частиц угля в шламовой воде (питании флотации) за счет гидрофоб-

ной агрегации их масляными реагентами. Для создания достаточной площади поверхности масло-вода без увеличения расхода масла и полного извлечения частиц угля в углемасляные аэроагрегаты методом МАА предусматривается введение в пульпу дополнительных центров агрегации мелких частиц в виде омасленных пузырьков воздуха. В процессе МАА при интенсивном перемешивании пульпы на поверхности мелких омасленных пузырьков с высокой скоростью закрепляются частицы угля, образуя устойчивые углемасляные аэрокомплексы, которые легко отделяются от минеральной пульпы последующей флотацией.

Основными технологическими факторами процесса МАА являются:

*Интенсивность перемешивания пульпы* оценивается по величине диссипации энергии (Вт/кг), затрачиваемой на перемешивание аэрированной пульпы в процессе МАА. Интенсивность перемешивания пульпы должна обеспечивать высокую скорость диффузионных процессов адсорбции масляных реагентов к угольной поверхности. При турбулентной диффузии капелек масла величина диффузионного потока пропорциональна диссипации энергии в единице объема, поэтому при недостаточной интенсивности перемешивания пульпы возрастает минимально необходимое время кондиционирования.

Увеличение диссипации энергии оказывает заметное положительное влияние на эффективность последующей флотации шламов. При этом повышается флотируемость не только мелких, но и крупных частиц угля, резко сокращаются потери горючей массы с отходами. При недостаточной интенсивности перемешивания пульпы положительный эффект от применения МАА резко падает.

*Тип и расход масляных реагентов.* Для агрегации частиц в процессе МАА используют обычные масляные собиратели для флотации угля (керосин, термогазойль и др.). Увеличение расхода масляных реагентов и добавление вспенивателей в процесс МАА положительно сказывается на результатах флотационного разделения продуктов масляной агрегации: увеличиваются скорость флотации, зольность отходов, выход концентрата, содержание твердого в пенном продукте. Расход реагентов при использовании процесса МАА обычно на 20–30 % ниже, чем при обычной подготовке пульпы.

*Продолжительность перемешивания пульпы.* Время обработки пульпы должно быть достаточным для формирования устойчивых углемасляных аэроагломератов. Оптимальная продолжительность перемешивания пульпы в процессе МАА находится в диапазоне 1–3 мин и зависит от крупности шлама:

- чем мельче угольный шлам, тем больше необходимое время процесса аэроагломерации;

- при недостаточной интенсивности перемешивания суспензии увеличение продолжительности МАА слабо влияет на показатели процесса.

*Подача воздуха* в процесс масляной агломерации значительно повышает эффективность процесса при одновременном снижении энергозатрат на турбулизацию пульпы. Положительный эффект от аэрации пульпы возрастает с увеличением интенсивности перемешивания. При определении оптимального количества добавляемого воздуха необходимо учитывать влияние степени аэрации пульпы на следующие факторы: эффективность процесса МАА; технологические свойства пенного продукта флотации; нежелательность избыточного пенообразования в камерах агломерации.

*Соотношение размеров камеры агломерации  $D_{\text{кам}}$  и мешалки  $d_{\text{меш}}$ .* Установлено, что при постоянном подводе энергии в процесс МАА зависимость эффективности агрегации угольных частиц от отношения  $D_{\text{кам}}/d_{\text{меш}}$  носит экстремальный характер с максимумом в диапазоне  $D_{\text{кам}}/d_{\text{меш}} = 1,5 \div 3,3$ .

При определении оптимальных параметров процесса необходимо учитывать требования к качеству концентрата флотации (зольность, содержание твердого), а также оценивать экономический фактор – стоимость дополнительно полученного концентрата и сокращение расхода реагентов должны компенсировать затраты на увеличение расхода электроэнергии.

**Оборудование и материалы:** Лабораторная установка МАА с камерой объемом 1 л, лабораторная флотационная машина с камерой объемом 1 л, навески угольных шламов, комплект посуды для приготовления пульпы и сбора продуктов флотации, электронные весы с точностью измерений до 1 г и до 0,001 г, фильтровальная установка, сушильный шкаф, муфельная печь, секундомер, линейка и флотационные реагенты.

### **Порядок выполнения работы**

Каждая подгруппа студентов выполняет две серии опытов:

- проведение МАА при различных скоростях вращения мешалки  $n$  в интервале от 500 до 2500 мин<sup>-1</sup>;
- проведение МАА при различном времени процесса в интервале от 10 с до 2 мин.

*Последовательность проведения опытов.*

При флотации обычно используются два типа флотореагентов: собиратель и вспениватель, которые плохо растворимы в воде и поэтому подаются в пульпу в виде капель.

Для точного определения веса одной капли  $P_K$  взвешивают 10 капель реагента в закрытом бюксе на электронных весах с точностью измерений до 0,001 г. Необходимое число капель рассчитывают по формуле

$$n = \frac{Q_p \cdot P_H}{P_K} \quad (3.1)$$

где  $n$  – число капель реагента,  $Q_p$  – расход реагента, кг/т;  $P_H$  – вес твердого в одном опыте, кг;  $P_K$  – вес капли реагента, г.

Для более точной дозировки реагентов и контроля веса добавленного реагента шприц с реагентом взвешивается на электронных весах с точностью измерений до 1 мг до и после подачи реагента.

Для проведения опытов от пробы угольного шлама отбирают 3–5 навесок угля и замачивают их на 0,5 ч. Вес навесок рассчитывают с учетом объема камеры флотомашин и заданной преподавателем плотности питания флотации. Флотационные опыты проводят при различных режимах флотации (расход реагентов, время флотации, дробная подача реагентов и др.). Выбранные режимы флотации согласовывают с преподавателем или задаются им.

Подготовленную к флотации угольную пульпу переливают в камеру МАА, которую устанавливают на столик механической мешалки. В пульпу добавляют рассчитанное необходимое количество каждого реагента и устанавливают заданную скорость вращения мешалки. После перемешивания в течение заданного времени обработанную реагентами пульпу переливают в камеру флотомашин и проводят опыт флотации шламов.

Последовательность проведения опытов флотации следующая. Включают привод мешалки при открытом кране подачи

воздуха. Образование пены указывает на начало флотационного процесса. Удаление пены из флотокамеры осуществляют вручную специальным скребком. Во время съема пенного продукта необходимо смывать пену со стен камеры с помощью груши. Процесс заканчивается после прекращения образования пены или образования пустой пены. Фиксируется время окончания флотации.

После окончания флотационного опыта остатки пены на скребке и носике камеры смывают с помощью груши известным количеством воды (например, 30 мл) в стакан с пенным продуктом (концентратом), который взвешивают на весах с точностью до 1 г. После появления видимой границы между пульпой и пеной линейкой измеряют высоту пены  $h_1$ , палочкой разрушают пену и повторно измеряют высоту разрушенной пены  $h_2$ . Определяют устойчивость  $Y$  по формуле

$$Y = h_2/h_1 \quad (3.2)$$

Затем пенный продукт фильтруют через бумажные фильтры, высушивают на воздухе или в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния при температуре до 150 °С, взвешивают и определяют качественные и количественные показатели (выход, зольность и извлечение горючей массы).

Зольность продуктов определяется методом медленного озоления по ГОСТ 55661-2013. Для этого от каждого продукта отбирают представительные пробы весом 1 г с точностью до 0,001 г и засыпают их ровным слоем в тигли для сжигания. Если крупность материала более 0,2 мм, то материал истирают в фарфоровой ступке.

Зольность рассчитывают по формуле

$$A^d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\%, \quad (3.3)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  – вес соответственно пустого тигля, тигля с углем и тигля с золой, г.

Выход  $\gamma_{\text{отх}}$  и зольность  $A_{\text{отх}}^d$  отходов флотации определяют по балансовым уравнениям:

$$\gamma_{\text{отх}} = 100 - \gamma_{\text{к-т}}, \quad (3.4)$$

$$A_{\text{отх}}^d = (100 \cdot A_{\text{исх}}^d - \gamma_{\text{к-т}} \cdot A_{\text{к-т}}^d) / \gamma_{\text{отх}}, \quad (3.5)$$

Рассчитывают извлечение горючей массы в концентрат с точностью до 0,1 % по формуле

$$E_{\text{к-т}} = \frac{\gamma_{\text{к-т}}(100 - A_{\text{к-т}}^d)}{100 - A_{\text{исх}}^d} \quad (3.6)$$

где  $\gamma_{\text{к-т}}$  – выход концентрата, %;  $A_{\text{исх}}^d$ ,  $A_{\text{к-т}}^d$  – зольность соответственно исходного продукта и концентрата, %.

Содержание твердого в пенном продукте  $C_{\text{пп}}$ :

$$C_{\text{пп}} = \frac{P_{\text{т}}}{P_{\text{пп}} + P_{\text{т}} \cdot \left(\frac{1}{\rho_{\text{т}}} - 1\right)}, \quad (3.7)$$

где  $P_{\text{т}}$  – вес твердого в пенном продукте, г;  $P_{\text{пп}}$  – вес пенного продукта, г;  $\rho_{\text{т}}$  – плотность твердого, г/см<sup>3</sup>.

Полученные результаты сводят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Параметры и результаты процессов МАА и флотации

№ опыта	Процесс МАА		$t_{\text{флот}},$ МИН	Концентрат					Отходы	
	$n,$ МИН <sup>-1</sup>	$t_{\text{пер}},$ МИН		$\gamma, \%$	$A^d, \%$	$Y$	$C, \text{г/л}$	$E_{\text{к-та}}, \%$	$\gamma, \%$	$A^d, \%$

По результатам каждой серии опытов строятся графики влияния скорости и времени вращения мешалки в процессе МАА на показатели флотации шламов (выход концентрата, зольность отходов, время флотации) и устойчивость флотационной пены. По результатам работы делаются выводы.

**Отчет по лабораторной работе включает описание:**

- процесса МАА;
- методики проведения опытов МАА;
- определения расчетного количества добавляемых в процесс реагентов и расчета технологических показателей;
- расчета качественно-количественные показатели продуктов обогащения;
- выбранные оптимальные параметры процесса МАА;
- графики влияния параметров процесса МАА на результаты флотации;
- выводы о влиянии изученных факторов процесса МАА на показатели флотации шламов.

**Контрольные вопросы:**

1. Сущность процесса масляной аэроагломерации угольных шламов.
2. Технологические факторы процесса масляной аэроагломерации угольных шламов.
3. Как осуществляется подготовка пульпы перед флотацией на ОФ?
4. Реагенты, применяемые при процессе масляной аэроагломерации?
5. Достоинства и недостатки процесса масляной аэроагломерации.

**Лабораторная работа № 4**  
**ОБОГАЩЕНИЕ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ**  
**МЕТОДОМ МАСЛЯНОЙ АГЛОМЕРАЦИИ**

**Цель работы:** изучение влияния технологических параметров процесса масляной агломерации на результаты обогащения угольных шламов и определение оптимальных условий процесса.

**Общие сведения.** Масляная агломерация (МА) – процесс, который эффективен при обогащении угольных шламов и может быть альтернативой процессу флотации.

Процесс МА заключается в том, что естественно гидрофобные или гидрофобизированные угольные частицы при турбулизации в водной среде с углеводородной жидкостью образуют агломераты, состоящие из частиц угля, связанных между собой тонкой пленкой масла. В процессе перемешивания агломераты постепенно уплотняются, структурно преобразуясь в плотные, преимущественно сферической формы, гранулы, которые легко отделяются от гидрофильных минеральных частиц при просеивании или фильтрации (в зависимости от размера гранул).

Масляная агломерация – сложный многоэтапный процесс, в основе механизма которого лежат физико-химические взаимодействия, характерные для гетерогенных дисперсных систем, т. е. природная гидрофобность, обуславливающая их преимущественное смачивание органическим маслом по отношению к породным частицам в водной среде. Происходящая при этом замена поверхности раздела фаз уголь–вода на поверхность уголь–масло приводит к

уменьшению общей поверхностной энергии системы, т. е. устойчивому, энергетически выгодному состоянию. Это предопределяет зависимость эффективности процесса МА частиц от контрастности поверхностных свойств разделяемых компонентов (уголь–порода) и свойств аполярного масла.

Важным этапом процесса МА, влияющим на эффективность извлечения горючей фракции, является процесс наполнения масляной фазы угольными частицами, в результате чего образуется угле-масляная «амальгама». Характерная черта этого процесса – высокая избирательность разделения частиц: вероятность внедрения частиц внутрь масляной фазы определяется степенью их гидрофобности. Межфазовая поверхность масло–вода выполняет в данных условиях функцию фильтрующей «мембраны», свободно пропускающей в масло угольные частицы и оставляющей в водной фазе суспензии гидрофильные минеральные частицы. Фильтрующая роль «мембраны» заключается также в то, что она вытесняет с поверхности внедряющихся угольных частиц и внешнюю водную пленку, содержащую ультратонкие породные частицы. В результате создаются предпосылки для формирования относительно безводного низкосолевого концентрата.

Эффективность процесса МА зависит от свойств и расхода вводимого масла, интенсивности турбулизации процесса и продолжительности процесса. Определенную роль на разделение тонких частиц оказывает степень метаморфизма угля, его марка. Хорошо поддаются разделению газовые, длиннопламенные, коксующиеся угли (со средней степенью метаморфизма), хуже окисленные угли.

Важнейшим вопросом является выбор связующего компонента и его расход, во многом определяющего себестоимость процесса. В качестве связующих могут использоваться продукты переработки нефти и коксохимического производства: мазут, отработанные минеральные масла, аполярные собиратели, масла для омасливания коксовой шихты и др. Расход связующих влияет на размер углемасляных гранул и находится в диапазоне от 50 до 250 кг/т.

Интенсивное перемешивание пульпы в процессе МА является необходимым условием образования крупных углемасляных агрегатов и полного извлечения частиц угля в эти агрегаты. При недостаточной скорости перемешивания агрегаты не образуются или образуются мелкие агрегаты при низкой скорости процесса.



Продолжительность процесса МА зависит от гранулометрической характеристики и вещественного состава твердой фазы пульпы, а также от плотности, температуры и рН суспензии. Влияние рН суспензии особенно существенно при агломерации тонких и частично окисленных частиц. Роль температурного фактора резко снижается при использовании низковязких масел.

**Оборудование и материалы:** Лабораторная установка МА с камерой (стеклянный стакан) объемом 150 мл, проба угольных шламов, комплект посуды для приготовления пульпы и сбора продуктов обогащения, электронные весы с точностью измерений до 1 г и до 0,001 г, секундомер, фильтровальная установка, сушильный шкаф, муфельная печь, микроскоп, минеральные масла и флотационные реагенты.

### **Порядок выполнения работы**

Каждая подгруппа студентов выполняет следующие серии опытов масляной агломерации:

- при различных расходах связующих  $Q_{св}$  в диапазоне от 100 до 250 кг/т;
- при различных скоростях вращения мешалки  $n_{пер}$  в диапазоне от 2500 до 4000 мин<sup>-1</sup>;
- при различном времени процесса  $t_{пер}$  в диапазоне от 0,5 до 3 мин.

#### *Последовательность проведения опытов*

Исходную навеску угольного шлама весом 20 грамм помещают в стеклянный стакан объемом 150 см<sup>3</sup> и заливают навеску необходимым количеством воды до получения общего веса пульпы 80 г. После замачивания стакан с суспензией устанавливают на столик механической мешалки для перемешивания суспензии в течение 5 минут при скорости вращения мешалки 500 мин<sup>-1</sup>.

После перемешивания пульпы мешалку останавливают и добавляют в суспензию реагенты-связующие в необходимом количестве. Вид и расходы связующего задаются преподавателем, а количество добавляемого реагента рассчитывают по формуле

$$Q_{св} = Q \cdot P_H, \quad (4.1)$$

где  $Q_{св}$  – количество добавляемого реагента, г;  $Q$  – расход реагента, кг/т;  $P_H$  – вес твердого в одном опыте, кг.

После добавления связующего устанавливают необходимую скорость вращения мешалки и включают ее. Начинается процесс

масляной агломерации угольных шламов, продолжительность которого предварительно задается. По окончании процесса масляной агломерации суспензию выливают на сито с размером отверстий 1,0 мм. При этом образовавшийся гранулят (концентрат) остается на сите, а минеральную часть (отходы) с помощью воронки собирают в стакан.

Для оценки результатов обогащения угольного шлама методом масляной агломерации используют следующие показатели:

- влажность концентрата;
- выход концентрата и отходов;
- зольность концентрата и отходов;
- размер гранул.

#### *Определение выхода и влажности концентрата*

Гранулированную суспензию выливают на сито и выдерживают ее так определенное время (3–5 мин). Под действием гравитационных сил минерализованная пульпа проходит через отверстия сетки и собирается в стакан.

Выход продуктов МА определяют путем взвешивания их после обезвоживания и высушивания до воздушно-сухого состояния (при комнатной температуре вес продуктов не изменяется). Для исключения потерь и определения точного веса концентрата его взвешивают вместе с сеткой, а затем вес сетки отнимают от веса сухого концентрата. Выход концентрата рассчитывают по формуле

$$\gamma_{\text{к-т}} = \frac{P_{\text{к-т}}^{\text{с}}}{P_{\text{к-т}}^{\text{с}} + P_{\text{отх}}^{\text{с}}} \cdot 100\% , \quad (4.2)$$

где  $P_{\text{к-т}}^{\text{с}}$  – вес сухого концентрата без сетки, г;  $P_{\text{отх}}^{\text{с}}$  – вес сухих отходов без фильтра, г.

Внешнюю влагу концентрата  $W_{\text{к}}$  рассчитывают по формуле

$$W_{\text{к-т}} = \frac{P_{\text{к-т}}^{\text{вл}} - P_{\text{к-т}}^{\text{с}}}{P_{\text{к-т}}^{\text{вл}}} \cdot 100\% , \quad (4.3)$$

где  $P_{\text{к-т}}^{\text{вл}}$  – вес влажного концентрата без сетки, г.

#### *Определение зольности продуктов обогащения*

Зольность продуктов определяется методом медленного озоления по ГОСТ 55661-2013. Для определения зольности исходного угля и отходов отбираются представительные пробы весом 1 г с точностью до 0,001 г и засыпаются ровным слоем в тигли для

сжигания. Если крупность материала более 0,2 мм, то материал истирают в фарфоровой ступке.

Зольность продуктов рассчитывают по формуле

$$A_{\text{пр}}^d = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100\% \quad (4.4)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$  и  $m_3$  – вес пустого тигля, тигля с продуктом и тигля с золой, соответственно, г.

Выход отходов  $\gamma_{\text{отх}}$  и зольность концентрата  $A_{\text{к-т}}^d$  процесса МА определяют по балансовым уравнениям

$$\gamma_{\text{отх}} = 100 - \gamma_{\text{к-т}} \quad (4.5)$$

$$A_{\text{к-т}}^d = (100 \cdot A_{\text{исх}}^d - \gamma_{\text{отх}} \cdot A_{\text{отх}}^d) / \gamma_{\text{к-т}} \quad (4.6)$$

#### *Определение размера гранул*

Для определения размера гранул от обезвоженного на сите концентрата отбирают небольшую пробу гранул и помещают ее в стеклянную бюксу с тонким слоем воды (2–3 мм). Бюксу устанавливают на столик микроскопа и определяют размер гранул в проходящем свете. Окуляр микроскопа имеет масштабную сетку с известной ценой делений. При оценке среднего размера гранул студенты определяют число делений масштабной сетки, соответствующее размеру нескольких (10–15) наиболее характерных для данной суспензии гранул и рассчитывают средний размер гранул  $d_{\text{гр}}$  (мм) по формуле

$$d_{\text{гр}} = \sum_n \frac{m_i \cdot b}{n} \quad (4.7)$$

где  $m_i$  – число делений масштабной сетки, соответствующее размеру одной гранулы;  $b$  – цена делений масштабной сетки, мм;  $n$  – число измеренных гранул.

Полученные результаты сводят в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Параметры и результаты процесса МА

№ опыта	Процесс МА		$Q_{\text{св}}$ , кг/т	Концентрат				Отходы	
	$n_{\text{пер}}$ , мин <sup>-1</sup>	$t_{\text{пер}}$ , мин		$d_{\text{гр}}$ , мм	$\gamma$ , %	$A^d$ , %	$W$ , %	$\gamma$ , %	$A^d$ , %

По результатам каждой серии опытов студенты строят графики влияния переменных факторов процесса МА на показатели

обогащения угольных шламов. По результатам работы делаются выводы.

**Отчет по лабораторной работе включает описание:**

- процесса МА;
- методики проведения опытов МА;
- примеры определения количества добавляемых в процесс реагентов и расчета технологических показателей;
- качественно-количественные показатели продуктов обогащения;
- выбранные оптимальные параметры процесса МА;
- графики влияния параметров процесса МА на результаты обогащения;
- выводы о влиянии изученных факторов на показатели процесса МА.

***Контрольные вопросы:***

1. Какие вещества применяют в качестве связующего при МА?
2. В чем заключается сущность процесса МА?
3. Достоинства процесса МА.
4. Какие параметры влияют на эффективность процесса МА?
5. Чем обусловлен высокий расход связующего?

**Лабораторная работа № 5**

**ВЛИЯНИЕ ФЛОКУЛЯНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ  
ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ФЛОТОКОНЦЕНТРАТА  
НА ВАКУУМ-ФИЛЬТРЕ**

**Цель работы:** изучение влияния анионных и катионных флокулянтов на процесс фильтрования флотоконцентрата и определение опытным путем технологических показателей работы вакуум-фильтра.

**Общие сведения.** Фильтрование – один из частных случаев движения жидкости через пористую среду. Отличительные особенности данного процесса – наличие фильтрующей перегородки и накопление на ней слоя осадка по мере прохождения жидкости. Для повышения скорости фильтрования увеличивают разность давлений по обе стороны фильтрующей перегородки. Разность давления достигается с помощью создания вакуума под фильтрующей перегородкой.

родкой (вакуумное фильтрование) или избыточного давления над ней (пресс-фильтрование).

Процесс фильтрования осуществляется на дисковых и ленточных вакуум-фильтрах. На дисковых вакуум-фильтрах осуществляют фильтрование флотационного концентрата и тонких угольных шламов. Процесс состоит из двух периодов, связанных с удалением влаги: первый – образование осадка с однофазным движением жидкости через него; второй – обезвоживание и просушка осадка, здесь происходит двухфазное движение влаги и воздуха. Первый период характеризуется постепенным увеличением толщины осадка и удалением фильтрата, второй – частичным удалением фильтрата.

Для интенсификации процесса фильтрования используют *флокулянты* – природные или синтетические химические соединения, которые при введении в дисперсные системы могут образовывать связи между частицами твердой фазы и вызывать ускоренное осаждение частиц. Они разделяются на:

- *анионные* (Суперфлок А-100, Праестол-2645, Магнафлок-525, Магнафлок-1017, Магнафлок-139, Карбофлок-131 и др.);

- *катионные* (Магнафлок-1440, Магнафлок-455, Зетаг-92, отечественный флокулянт ВПК-402);

Флокуляция основана на действии высокомолекулярных материалов, где они физически формируют мостик между двумя или несколькими частицами. По своей химической структуре молекулы флокулянта представляют собой углеводородные цепи с боковыми группами, которыми закрепляются на поверхности частиц флокулируемых суспензий. Возникающие агрегаты – флокулы, скрепленные механическими связями – мостиками (отсюда название рассматриваемого процесса «мостиковая» флокуляция).

Эффективность процесса фильтрования оценивается по удельной производительности фильтрующей поверхности, влажности обезвоженного осадка, концентрации твердой фазы в получаемом фильтрате.

При фильтровании флотоконцентрата на вакуум-фильтрах за счет добавления флокулянтов возможны снижение влажности осадка на 2–3 %, увеличение производительности фильтров в 1,5–2 раза и заметное сокращение уноса твердых частиц с фильтратом.

**Оборудование и материалы:** Установка для фильтрования; вакуум-насос; сушильный шкаф; посуда для просушки осадка; элект-

тронные весы с точностью измерений до 1 г и до 0,001 г; секундомер; пробы материала; растворы флокулянтов.

### **Порядок выполнения работы**

Каждая подгруппа студентов выполняет 3 серии опытов, изменяя один из параметров при постоянных значениях остальных:

- значение вакуума в интервале от 0,4 до 0,9 кг/см<sup>2</sup>;
- последовательность подачи анионного и катионного флокулянтов;
- расход флокулянтов  $Q_{\text{фл}} = 30 \div 100$  г/т;
- время полного цикла фильтрования  $t_{\text{ф}} = 30 \div 120$  с;
- содержание твердого в суспензии от 170 до 250 г/л.

### *Последовательность проведения опытов*

Для фильтрации флотоконцентрата используют лабораторную фильтровальную установку, моделирующую промышленные условия (рис. 5.1).

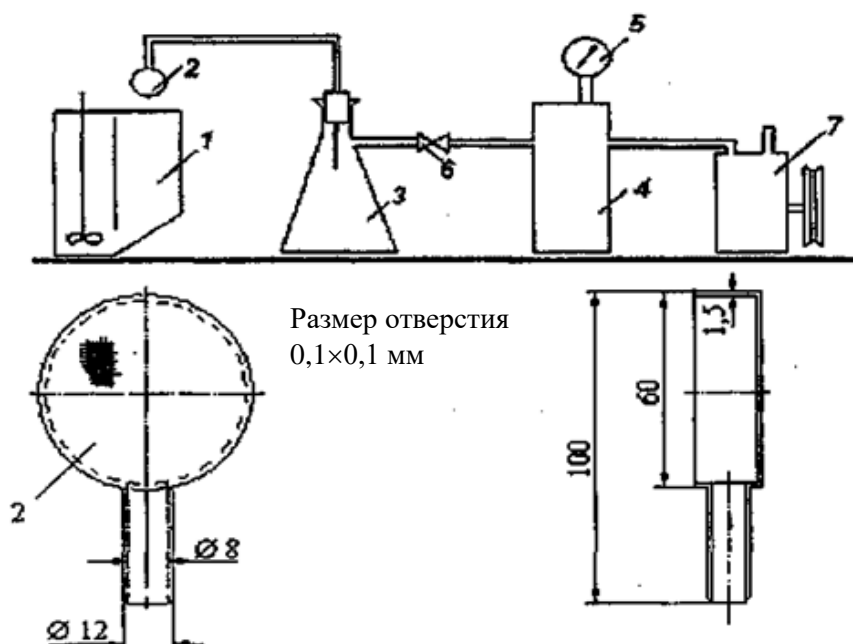


Рис. 5.1. Фильтровальная установка:

1 – мешалка; 2 – фильтровальный элемент; 3 – сборник фильтрата; 4 – вакуум-ресивер; 5 – вакуумметр; 6 – кран; 7 – форвакуумный насос.

Для проведения опытов по фильтрованию можно использовать флотоконцентрат опытов флотации или отобрать навески сухого флотоконцентрата и замочить их на 0,5 ч. Вид исходного материала и плотность суспензии задается преподавателем.

Методика проведения опыта на установке заключается в том,

что фильтрующий сектор соединяют через гибкий шланг со сборником для фильтрата, в котором создается вакуум. Включают мешалку для поддержания суспензии во взвешенном состоянии, добавляют необходимое количество флокулянтов и перемешивают 2 мин:

$$V_{\phi} = \frac{Q_{\text{т}} \cdot P}{10 \cdot C_{\phi}} \quad (5.1)$$

где  $V_{\phi}$  – объем раствора флокулянта, мл;  $Q_{\text{т}}$  – расход флокулянта на единицу твердого, г/т;  $P$  – вес твердого в одном опыте, кг;  $C_{\phi}$  – концентрация раствора флокулянта, %.

Необходимо замерить площадь фильтрующего элемента. Включают вакуумный насос, устанавливают заданное значение вакуума и погружают фильтровальный элемент на время  $t_1$  в пульпу для накопления осадка. Затем сектор извлекают из пульпы, и осадок просушивают путем пропускания через него воздуха в течение времени  $t_2$ . Время полного цикла фильтрования  $t = t_1 + t_2$  задается преподавателем. Отключают вакуум-насос и привод мешалки. Осадок снимают с фильтровального элемента, определяют его вес  $Q_{\text{в}}$  с точностью 0,1 г, высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 °С и снова взвешивают  $Q_{\text{с}}$ .

По результатам каждого опыта необходимо рассчитать влажность осадка  $W$  с точностью до 0,1 %:

$$W = \frac{(Q_{\text{в}} - Q_{\text{с}})}{Q_{\text{в}}} \cdot 100 \quad (5.2)$$

Во время накопления и просушки осадка фильтрат собирают в сборнике фильтрата. Определяют объем фильтрата  $V$  с помощью цилиндра и фильтруют его через бумажный фильтр. Высушенный фильтр с осадком взвешивают, определяют вес осадка  $Q_{\phi}$  и рассчитывают содержание твердого в фильтрате  $C_{\phi}$  с точностью 0,01 г/л.

$$C_{\phi} = Q_{\phi} / V \quad (5.3)$$

Удельная производительность фильтра  $q$  с точностью 0,1 кг/(ч·м<sup>2</sup>):

$$q = \frac{36 \cdot Q_{\text{с}}}{t \cdot S} \quad (5.4)$$

где  $Q_{\phi}$  – вес твердого в фильтрате, г;  $V$  – объем фильтрата, л;  $Q_{\text{в}}$

– вес влажного осадка, г;  $Q_c$  – вес сухого осадка, г;  $t$  – время полного цикла фильтрования, с;  $S$  – площадь фильтрующего элемента,  $\text{см}^2$ .

Полученные результаты сводят в табл. 5.1 и выбирают оптимальный режим фильтрации с учетом требований к осадку флотоконцентрата по влажности.

Таблица 5.1

### Результаты фильтрования шламов

№ п/п	Расход флокулянта				Вакуум, кг/см <sup>2</sup>	W, %	C <sub>ф</sub> , г/л	q, кг/(ч·м <sup>2</sup> )
	анионного		катионного					
	мл	г/т	мл	г/т				

### **Отчет по лабораторной работе включает описание:**

- процесса фильтрования;
- методики проведения опытов обезвоживания флотоконцентрата;
- примеры определения количества добавляемых в процесс реагентов и расчета технологических показателей;
- качественно-количественные показатели процесса фильтрования;
- выбранные оптимальные параметры процесса фильтрования;
- выводы о влиянии изученных факторов на показатели процесса обезвоживания флотоконцентрата на вакуум-фильтре.

### ***Контрольные вопросы:***

1. Какие методы применяются для обезвоживания крупных, мелких классов углей, угольных шламов?
2. Как влияет на процесс флокуляции гранулометрический и вещественный состав твердой фазы?
3. Назвать основные методы обезвоживания продуктов обогащения.
4. Факторы, влияющие на процесс фильтрования?
5. Какое оборудование используют для фильтрования угольных шламов и продуктов обогащения?



### Список рекомендуемой литературы

1. Клейн, М. С. Технология обогащения полезных ископаемых: учебное пособие для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело», специализации 21.05.04.06 «Обогащение полезных ископаемых» / М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово: КузГТУ, 2023. – 1 файл (5,75 Мб). – URL: <http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=91957&type=utchposob:common> (дата обращения: 08.02.2024). – Текст : электронный.

2. Обогащение углей: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело» : в 2 томах / В. М. Авдохин. – Том 1: Процессы и машины. – Москва: Горная книга, 2012. – 424 с. – Текст: непосредственный.

3. Обогащение углей: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Обогащение полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело» : в 2 томах / В. М. Авдохин. – Том 2: Технологии. – Москва: Горная книга, 2012. – 475 с. – Текст: непосредственный

4. Практикум по обогащению полезных ископаемых: учебное пособие для горных и горнометаллургических специальностей вузов / Н. Г. Бедрань, А. И. Денисенко, Е. Е. Серго; под общ. ред. Н. Г. Бедраня. – Москва : Недра, 1991. – 525 с. – Текст : непосредственный.

5. Тайц, Е. М. Методы анализа и испытания углей: / Е. М. Тайц, И. А. Андреева. – Москва : Недра, 1983. – 301 с. – Текст : непосредственный.

6. Бедрань, Н. Г. Обогащение углей: учебник для вузов. – Москва : Недра, 1988. – 206 с. – (Высшее образование). – Текст: непосредственный.

7. Справочник по обогащению углей / З. Ш. Беринберг [и др.] ; под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Недра, 1984. – 614 с. – Текст : непосредственный.

8. Техника и технология обогащения углей: справ. руководство / В. В. Беловолов [и др.]; под ред. В. А. Чантурия, А. Р. Молявко; РАН, Ин-т проблем комплексного освоения недр [и др.]. – 3-е

изд., перераб. и доп. – Москва : Наука, 1995. – 622 с. – Текст: непосредственный.

9. ГОСТ 33656-2015 Угли каменные. Стандартный метод испытания пенной флотацией. Введ. 01.04.2017. – Москва : Стандартиформ, 2016. – 22 с. – Текст : непосредственный.

10. ГОСТ 55661-2013 Топливо твердое минеральное. Определения зольности. Введ. 28.10.2013. – Москва : Стандартиформ, 2019. – 15 с. – Текст : непосредственный.