

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

Кафедра обогащения полезных ископаемых

Составитель

Л. Н. Меркушева

**ПРОЦЕССЫ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ, ОКОМКОВАНИЯ
И СКЛАДИРОВАНИЯ ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ**

**Лабораторный практикум
для студентов всех форм обучения**

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности
130400.65 «Горное дело», специализации 130406.65 «Обогащение
полезных ископаемых» в качестве электронного издания
для использования в учебном процессе

Кемерово 2015

Рецензенты:

Клейн М. С. – д.т.н., профессор кафедры обогащения полезных ископаемых

Удовицкий В. И. – д.т.н., профессор, председатель учебно-методической комиссии специализации 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых»

Меркушева Людмила Николаевна. Процессы обезвоживания, окомкования и складирования продуктов обогащения: методические указания к лабораторным работам [Электронный ресурс] для студентов специальности 130400.65 «Горное дело», основная образовательная программа 130406.65 «Обогащение полезных ископаемых», всех форм обучения / сост.: Л. Н. Меркушева. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2015. – Систем. требования: Pentium IV; ОЗУ 8 Мб; Windows 95; мышь. – Загл. с экрана.

Методические указания содержат рекомендации по изучению тем, предусмотренных рабочей программой дисциплины.

© КузГТУ, 2015

© Меркушева Л. Н.,
составление, 2015

При проведении лабораторных работ, часть времени отводится на изучение методик проведения исследований. После освоения методик, студентам предоставляется возможность провести самостоятельный поиск эффективного обезвоживания продуктов обогащения. Для этого предлагается твердая фаза продуктов водно-шламовой схемы ОФ Кузбасса и проводится исследование по второй серии опытов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СГУЩЕНИЯ ПУЛЬПЫ И ОСВЕТЛЕНИЯ ШЛАМОВОЙ ВОДЫ

Цель работы. Оценить эффективность действия флокулянтов на процесс разделения твердой и жидкой фазы суспензии.

Теоретические положения. *Сгущением* называют операции обезвоживания мелкозернистых пульп и суспензий, основанные на расслоении их под действием силы тяжести. При сгущении получают два продукта: *осадок*, с концентрацией твердых частиц выше, чем в исходном питании, и *слив* – *вода с незначительным содержанием твердого*. Если основная цель состоит в получении сгущенного продукта с максимально возможной концентрацией твердой фазы, то такой процесс называют обычно сгущением, если основной целью является получение слива с минимальной концентрацией твердых частиц, то процесс называют *осветлением*.

Для ускорения осаждения твердых частиц в пульпу добавляют *реагенты* – коагулянты: *неорганические коагулянты* (известь, хлорное железо, сернокислый алюминий и др.), *органические коагулянты* (полиамины, например Магнафлок 1597, полидиаллилметиламмонийхлорид, например ВПК-402, Магнафлок 1697) и *флокулянты*. В качестве флокулянтов, в настоящее время, используются сополимеры акриламида различных ионных характеристик и показателей молекулярной массы. Наиболее распространены торговые марки флокулянтов Магнафлок и Зетаг (BASF, Германия). А также Праестол (Ashland, США), Суперфлок (Kemira, Финляндия) и др.

Одним из методов изучения процесса сгущения, для определения требуемой поверхности сгущения, является наблюдение за осаждением твердых частиц пульпы в стеклянном цилиндре (рис. 1). В начальный период осаждения частиц в цилиндре наблюдается увеличение зоны осветленной жидкости **A** и уменьшение объема сгущенной пульпы, состоящего из зон осаждения твердых частиц **B**, переходной **C** и накопления и уплотнения осадка **D**. По истечении некоторого времени зоны **B** и **C** исчезают, а зона **A** соприкасается с зоной **D**. Положение поверхности раздела в этот момент времени называется критической точкой H_K , а время осаждения соответственно критическим t_K . Дальнейшее перемещение раздела зон H_i и h_i будет замедленным и происходит в результате уплотнения осадка H_2 .

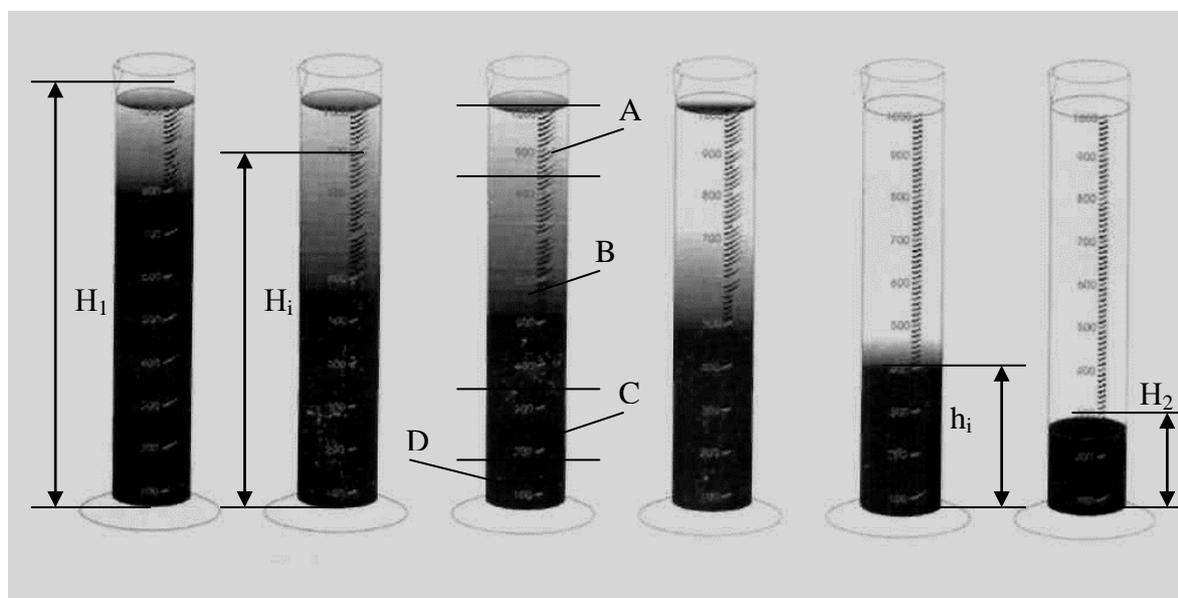


Рис. 1. Процесс осаждения твердых частиц

Оборудование и материалы. Мерные цилиндры объемом 250 мл с наклеенной полоской миллиметровой бумаги, ноль шкалы которой совпадает с уровнем суспензии; весы; секундомер; фильтры бумажные или фильтровальная бумага; шкаф сушильный с отверстиями для естественной вентиляции, обеспечивающий устойчивую и равномерную температуру нагрева 105–110 °С; небогатенный шлам, отходы флотации, флотоконцентраты, рабочие растворы коагулянтов и флокулянтов.

Порядок проведения работы.

1 серия опытов. Затраты времени – 4 часа.

Оценить влияние на скорость осаждения частиц рабочих растворов флокулянтов и коагулянтов, если твердая фаза представлена небогащенными шламами или отходами флотации.

2 серия опытов. Затраты времени – 4 часа. Работа носит характер самостоятельного исследования.

Оценить влияние на скорость осаждения частиц рабочих растворов флокулянтов и коагулянтов, если твердая фаза представлена флотационным концентратом.

Опыт проводят в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$ и объему цилиндров $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле

$$Q = \frac{V_{и} \cdot \delta}{\delta \cdot R_{и} + 1}, \quad (1)$$

где Q – масса исходной навески, г; $V_{и}$ – объем исходной пульпы, см^3 ; δ – плотность исходного материала, $\text{г}/\text{см}^3$, для шлама и флотационного концентрата $\delta = 1,4 \text{ г}/\text{см}^3$, для отходов флотации $\delta = 1,8 \text{ г}/\text{см}^3$; $R_{и}$ – значение разжижения.

Определяются объемы растворов флокулянтов (коагулянтов) по формуле (расход и тип флокулянта (коагулянта) задается преподавателем).

$$V_{р} = \frac{Q \cdot q \cdot 10^{-4}}{C}, \quad (2)$$

где Q – масса исходной навески, г; q – удельный расход реагента, г/т; C – концентрация раствора флокулянта (коагулянта), %.

Навеску исходной пробы засыпают в мерный цилиндр и доливают воду до заданного объема. При периодическом перемешивании, пробу замачивают в течение 20 мин до полного смачивания всех частиц. Для опытов II серии: дозируют необходимый объем раствора флокулянта (коагулянта). Затем пульпу тщательно перемешивают, переворачивая цилиндр 6 раз с постоянной скоростью. После перемешивания начинают наблюдение в течение времени t_i за перемещением нижней границы осветленного слоя H_i до прекращения перемещения твердой фазы, и переме-

щением верхней границы уплотненного осадка h_i . Примерные периоды времени 0,5; 1; 2; 3; 4; 8с и т. д. В процессе опыта необходимо зафиксировать достижение значения критической точки H_K и t_K .

Для определения содержания твердого в осветленном слое по окончании процесса осаждения и уплотнения образовавшегося осадка, из стеклянного цилиндра, где проводилась седиментация, с постоянной высоты (5 см) осветленного слоя отбирают с помощью бюретки 50 см³ осветленной пульпы.

ВНИМАНИЕ: отбор пробы необходимо провести, не взмуть осадок. Пробу фильтруют через тонкопористый бумажный фильтр, который предварительно взвешивают. Фильтр с осадком помещают в сушильный шкаф (температура 105–110 °С) и высушивают. После остывания фильтр с осадком взвешивают и определяют массу осадка и массу испаренной воды.

Для того чтобы корректно определить содержание твердого в осветленном слое, данные измерений и расчетные данные заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Вспомогательная таблица для определения содержания твердого в осветленном слое

№ п/п	Масса, г					Содержание твердого в осветлен- ном слое, г/л
	филь- тра	филь- тра + проба	фильтра + сухой остаток	сухого остатка	испа- ренной воды	

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят для каждого из 5 опытов в табл. 1.2 и 1.3.

Таблица 1.2

Результаты сгущения пульпы

Время от начала наблюдения t_i , сек.	Условия опыта: наименование реагентов, расход								
	Опыт 1. $R_{и} =$ $Q =$					Опыт 5. $R_{и} =$ $Q =$			
	H_i , см	h_i , см	V_i , см ³	R_i		H_i , см	h_i , см	V_i , см ³	R_i
t_1									
t_2									
t_{n-1}									
t_n									

Таблица 1.3

Расчетные показатели

№ опыта	H_K , см	t_K , мин	v , м/с	f , м ² /(т·ч)	R_{oc}

H_i – высота осветленного слоя за время t_i , см; h_i – высота зоны уплотненного осадка за время t_i , см; R_i – разжижение сгущенного продукта; V_i – объем зоны сгущения пульпы, к данному моменту времени t_i , см³; v – скорость осаждения пульпы, м/с; f – удельная площадь сгущения, м²/(т·ч); R_{oc} – разрыхление осадка.

Для опытов II серии, в которой изучают влияние типа и расхода флокулянтов (коагулянтов) на эффективность сгущения и осветления, выполняют 5 опытов осаждения с применением флокулянтов (коагулянтов) при заданном значении разжижения $R_{и}$. Варианты применения реагентов (расход и тип) могут быть различны и задаются преподавателем.

Рекомендуемые варианты исследований:

– коагулянт: органические коагулянты – ВПК-402 или Магнафлок 1597 с удельным расходом 0, 50, 100, г/т; неорганиче-

ский коагулянт – сернокислый алюминий с удельным расходом 0, 500, 1000, 2000 г/т;

– флокулянт (по заданию преподавателя) катионный, анионный, неионогенный с удельным расходом 0, 40, 80, г/т.

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$ и объему цилиндров $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1). Также определяют дозируемые объемы растворов флокулянтов (коагулянтов) по формуле (2).

Опыты выполняют аналогично методике I серии опытов.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят для каждого из 5 опытов в табл. 1.2 и 1.3.

Обработка и оформление полученных результатов.

Рассчитывают содержание твердого в осветленном слое по формуле

$$P = \frac{P_c \cdot 1000}{P_B + \frac{P_c}{\delta}}, \quad (3)$$

где P – содержание твердой фазы в осветленном слое, г/л; P_c – масса сухого материала после выпаривания пробы, г; P_B – масса испаренной воды при выпаривании пробы, г; δ – плотность исходного материала, г/см³, для шлама и флотационного концентрата $\delta = 1,4$ г/см³, для отходов флотации $\delta = 1,8$ г/см³;

Разрыхление осадка определяется по формуле

$$R_{oc} = Ж : Г = \frac{(V_{oc} - \frac{Q - P_{тоc}}{\delta})}{(Q - P_{тоc}) \cdot 1000}, \quad (5)$$

где R_{oc} – разрыхление осадка; V_{oc} – геометрический объем осадка, см³; Q – масса исходной навески, г; $P_{тоc}$ – масса твердой фазы в осветленном слое, г; δ – плотность исходного материала, г/см³. Для шлама и флотационного концентрата δ принимается 1,4; для отходов флотации – 1,8.

Для каждой точки измерения в опыте рассчитывают разжижение в сгущенном продукте по формуле

$$R_i = \frac{V_i \cdot \delta - Q}{Q \cdot \delta}, \quad (6)$$

где R_i – разжижение сгущенного продукта, к данному моменту времени t_i ; V_i – объем зоны сгущения пульпы, к данному моменту времени t_i , см^3 ; Q – масса исходной навески, г; δ – плотность исходного материала, $\text{г}/\text{см}^3$, для шлама и флотационного концентрата $\delta = 1,4 \text{ г}/\text{см}^3$, для отходов флотации $\delta = 1,8 \text{ г}/\text{см}^3$;

На основании данных табл. 1.2. строят графические зависимости изменения границы раздела осветленной жидкости от времени

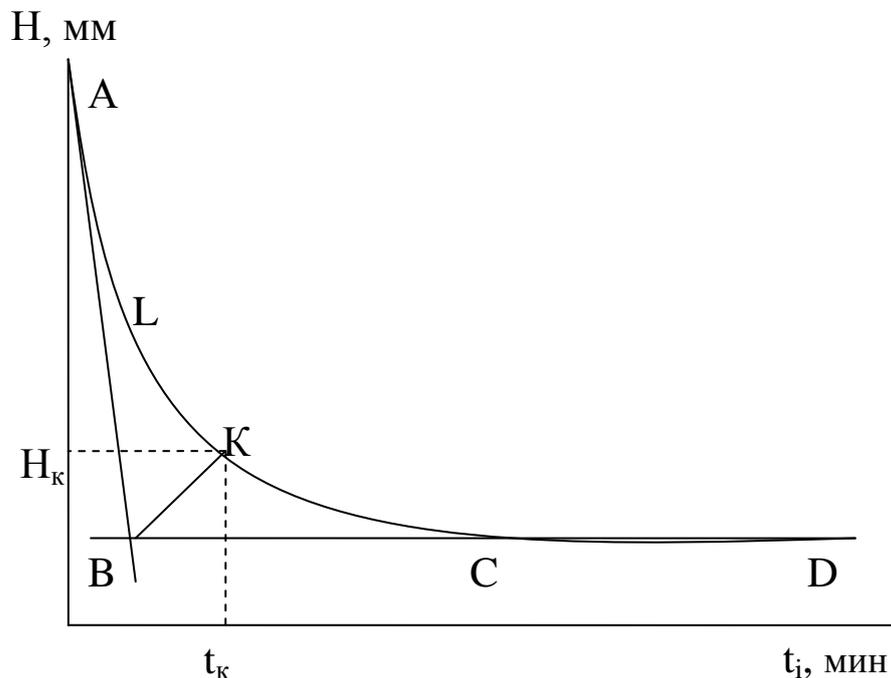


Рис. 2. Зависимость изменения границы раздела осветленной жидкости от времени осаждения.

$H = f(t)$ (рис. 3), разжижения сгущенного продукта от времени $R_i = f(t)$ (рис. 4). Аналогичные зависимости строят отдельно и для серии опытов с применением реагентов (по данным табл. 1.4.). На каждой кривой сгущения отмечают положение критической точки H_K , t_K (рис. 2). Прямые, характеризующие зоны осаждения AL и сжатия осадка DC, продлеваются до взаимного пересечения; из точки пересечения В проводится биссектриса ВК угла ABC до кривой осаждения. Точка К (пересечение с кривой) является критической.

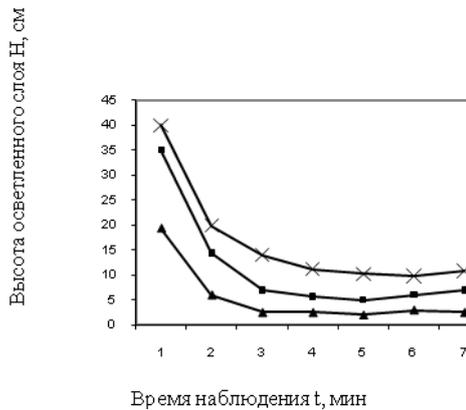


Рис. 3. Влияние времени осаднения на высоту осветленного слоя

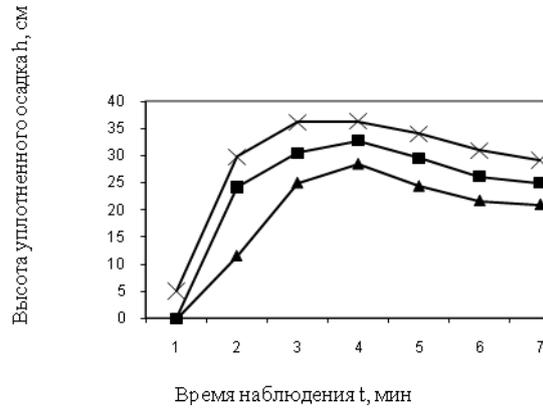


Рис. 4. Влияние времени осаднения на высоту осадка

Необходимую удельную площадь сгущения для условий каждого опыта определяют по формуле

$$f = \frac{R_{\text{и}} - R_{\text{к}}}{V}, \quad (7)$$

где f – удельная площадь сгущения, $\text{м}^2/(\text{т} \cdot \text{сут})$; $R_{\text{и}}$, $R_{\text{к}}$ – разжижение соответственно исходной пульпы и в момент окончания осаднения частиц, $\text{м}^3/\text{т}$; V – скорость сгущения (осветления) пульпы для критической точки, $\text{м}/\text{сут}$.

Скорость осаднения пульпы рассчитывают по формуле

$$\xi = \frac{1440 \cdot (H_1 - H_2)}{t_{\text{к}}}, \quad (8)$$

где ξ – скорость осаднения пульпы, $\text{м}/\text{сут}$; H_1 – уровень пульпы, м; H_2 – высота осадка, м; $t_{\text{к}}$ – время осаднения до критической точки, мин.

По данным I серии опытов строят график зависимости удельной площади сгущения от исходного разжижения суспензии. Максимальное значение удельной площади f , определенное по графику, соответствует концентрации суспензии с минималь-

ной пропускной способностью и представляет собой требуемую удельную площадь для сгущения данного состава пульпы.

По данным II серии опытов определяют эффективность действия коагулянтов и флокулянтов по формуле

$$\mathcal{E} = \frac{V_{\text{кф}} - V_{\text{к}}}{V_{\text{к}} \cdot q}, \quad (9)$$

где \mathcal{E} – критерий эффективности действия коагулянтов и флокулянтов, г/т; $V_{\text{кф}}$, $V_{\text{к}}$ – скорости сгущения (осветления) пульпы для критической точки соответственно флокулированных (коагулированных) и нефлокулированных частиц, м/сут; q – расход флокулянта (коагулянта), г/т.

Зависимости изменения удельной площади сгущения, эффективности и разрыхления осадка от режимов флокуляции (коагуляции) оформляют графически $f = F(q)$; $\mathcal{E} = F(q)$; $R_{\text{ос}} = F(q)$.

На основании сопоставления данных опытов делают выводы о закономерностях процесса для различных условия сгущения.

Контрольные вопросы

1. Характеристика шлама и условия его накопления на фабрике.
2. Влияние шламов на технологические процессы.
3. Показатели эффективности процесса сгущения.
4. Теоретическое определение показателей сгущения.
5. Оборудование, применяемое для сгущения и осветления. Устройство, назначение, преимущества, недостатки.
6. Процессы и механизм агрегирования частиц. Силы, действующие между частицами в водной среде.
7. Строение двойного электрического слоя (ДЭС). Его роль в процессах взаимодействия твердых частиц. Факторы, влияющие на величину ДЭС.
8. Факторы, влияющие на флокуляцию.
9. Условия приготовления растворов флокулянтов и их подача в процесс.
10. Особенности применения флокулянтов в различных технологических процессах.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ НА ВАКУУМ-ФИЛЬТРАХ

Цель работы. Определить влияние разжижения исходной пульпы, типа и расхода флокулянта, а также величины давления фильтрования на эффективность фильтрования. Определить влияние различного гранулометрического состава твердой фазы фильтруемой пульпы на показатели фильтрования.

Теоретические положения. *Фильтрованием* называют процесс разделения суспензий с применением пористой перегородки, задерживающей твердую фазу (осадок) и пропускающей жидкую фазу (фильтрат).

Движущей силой процесса фильтрования является разность давлений по обе стороны фильтровальной перегородки. В случае создания разности давлений за счет разряжения процесс фильтрования проводят на вакуум-фильтрах, если с помощью избыточного давления, то применяют пресс-фильтры.

В работе полного цикла промышленных фильтров выделяют два периода, с которыми связано удаление влаги: первый – образование осадка с однофазным движением жидкости через него; второй – обезвоживание и просушка осадка, при этом происходит двухфазное движение влаги и воздуха.

Основные технологические показатели фильтрования суспензии: удельная производительность фильтрующей поверхности (Q_c , Q_m), влажность обезвоженного осадка (W), концентрация твердой фазы в получаемом фильтрате (P), сопротивление осадка (r).

Для интенсификации процесса фильтрования используют различные способы воздействия на этот процесс, например, фильтрование сгущенной пульпы, добавление зернистого материала, применение флокулянтов и другие.

Оборудование и материалы. Фильтровальная установка; весы; фарфоровые кружки емкостью 1 л – 6 шт.; ванночка метал-

лическая для сыпучих продуктов – 6 шт.; пипетки стеклянные (2, 5, 10 мл); стеклянная палочка; мерная посуда емкостью 0,5, 1 л; бумажные фильтры; шкаф сушильный с отверстиями для естественной вентиляции, обеспечивающий устойчивую и равномерную температуру нагрева 105–110 °С; секундомер; растворы флокулянтов; угольные шламы различной крупности.

Порядок проведения работы.

Работа проводится в два этапа:

- 1. Опыты I и II серии – затраты времени 4 часа.**
- 2. Опыты III и IV серии – затраты времени 4 часа. Внимание: работа носит характер исследования.**

Для опытов I серии, в которой изучают влияние концентрации твердых частиц в пульпе на эффективность фильтрования, включает 5 опытов фильтрования при различных значениях разжижения $R_{и}$. *Значение давления, тип и расход флокулянта, а также гранулометрический состав материала постоянны и задаются преподавателем.*

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$, и объему камеры фильтрации $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1). Также вычисляют объемы рабочих растворов флокулянтов по формуле (2).

Перед опытами необходимо изучить конструкцию фильтровальной установки, измерить площадь фильтрующего элемента – (s).

Замеряют объем камеры фильтрации ($V_{и}$). Для опытов взвешивают навески угольных шламов, заданного гранулометрического состава. Пробы заливают водой, объемом 0,5 л, перемешивают и оставляют на 20 минут. По истечении времени замачивания, пробу переводят в камеру фильтрации, доливают водой до необходимого объема, дозируют заданный расход флокулянта (кроме опытов IV серии) и перемешивают мешалкой в течение 1 минуты. Включают вакуумный насос, опускают фильтровальный элемент вертикально в камеру, устанавливают заданное значение давления фильтрования и открывают кран на ресивере. При постоянном значении вакуума проводят процесс фильтрования в течение заданного времени фильтрования ($t_{ф}$), мешалку при этом

не отключают. Затем, не выключая вакуумный насос, вынимают фильтровальный элемент из камеры и, подняв его вертикально вверх, просушивают полученный осадок в течение заданного времени ($t_{по}$).

Замеряют высоту осадка (h) на фильтрующем элементе. Затем осадок аккуратно снимают с фильтровального элемента, взвешивают и помещают в сушильный шкаф. После высушивания пробы до состояния сыпучести, ее охлаждают до комнатной температуры, взвешивают и определяют массу сухого осадка (P_c), рассчитывают его влажность (W).

Для того чтобы правильно определить влажность осадка, пользуются табл. 2.1.

Таблица 2.1

Вспомогательная таблица для определения
влажности осадка

п/п	Масса, г					Влажность осадка, %
	бюкса	бюкса + осадок	влажный осадок	бюкса + сухой осадок	сухой осадок	

Далее замеряют объем фильтрата. Для определения содержания твердого в фильтрате (P), жидкость фильтруется через тонкопористый бумажный фильтр, который предварительно взвешивают. Затем фильтр с осадком помещают в сушильный шкаф (температура 105 °С) для высушивания. Остывший до комнатной температуры, фильтр с осадком взвешивают и определяют массу осадка.

Для того чтобы правильно определить содержание твердого в фильтрате, данные измерений и расчетные данные заносят в табл. 1.1.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Опытные и расчетные показатели фильтрования I серии
ОПЫТОВ

Плотность пульпы, г/л	Объем филь- трата, мл	Содержа- ние твер- дого в фильтрате, г/л	Влаж- ность осад- ка, %	Удельная произво- дитель- ность, кг/с·м ²	Удельное сопро- тивление осадка, 1/м ³

Для опытов II серии, в которой изучают влияние типа и расхода флокулянтов на эффективность фильтрования, выполняют 5 опытов фильтрования с применением различных флокулянтов и коагулянтов. Значение давления, разжижения, а также гранулометрический состав материала постоянны и задаются преподавателем.

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$, и объему камеры фильтрования $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1). Также определяют дозируемые объемы рабочих растворов флокулянтов по формуле (2).

Работу выполняют аналогично методике I серии опытов.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Опытные и расчетные показатели фильтрования II серии
ОПЫТОВ

Флоку- лянт/ расход, мл	Объем филь- трата, мл	Толщина осадка, мм	Влажность осадка, %	Удельная про- изводитель- ность, кг/с·м ²	Удельное со- противление осадка, 1/м ³	Содержание твердого в фильтрате, г/л

Для опытов III серии, в которой изучают влияние величины давления фильтрования на эффективность фильтрования, выполняют 5 опытов фильтрования при различном значении давления в интервале от 0,4 до 0,9 кг/см². Значение плотности пульпы, тип и расход флокулянта, а также гранулометрический состав материала постоянны и задаются преподавателем.

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$, и объему камеры фильтрования $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1). Также определяют дозируемые объемы рабочих растворов флокулянтов по формуле (2).

Работу выполняют аналогично методике I серии опытов.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Экспериментальные и расчетные показатели фильтрования
III серии опытов

№ п/п	Давление фильтрования, кг/м ²	Объем фильтрата, мл	Толщина осадка, мм	Влажность осадка, %	Удельная производительность, кг/с·м ²	Удельное сопротивление осадка, 1/м ³	Содержание твердого в фильтрате, г/л

Для опытов IV серии, в которой изучают влияние гранулометрического состава питания на показатели фильтрования, выполняют 5 опытов фильтрования с материалом различной крупности. Значение давления, тип и расход флокулянта, а также значение плотности пульпы постоянны и задаются преподавателем.

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. Для опыта берут навески шлама с разным ситовым составом, в основном варьируют содержание класса – 0,5мм. По заданному значению $R_{и}$, и объему камеры фильтрования $V_{и}$ определяют массу

исходных навесок по формуле (1). Также определяют дозируемые объемы рабочих растворов флокулянтов по формуле (2).

Работу выполняют аналогично методике I серии опытов.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Опытные и расчетные показатели фильтрования IV серии опытов

№ п/п	Крупность материала, мм	Объем фильтрата, мл	Содержание твердого в фильтрате, г/л	Влажность осадка, %	Удельная производительность, кг/с·м ²	Удельное сопротивление осадка, 1/м ³

Обработка и оформление полученных результатов

Содержание твердого в фильтрате рассчитывают по формуле (3).

Влажность осадка рассчитывают по формуле

$$W = \frac{(Q_1 - Q_2)}{Q_1} \cdot 100, \quad (10)$$

где W – влажность продукта, %; Q_1 – масса влажного осадка, г; Q_2 – масса сухого осадка, г.

Удельную производительность по влажному и сухому осадку рассчитывают по формулам:

$$Q_c = \frac{Q_2}{t \cdot s}; \quad (11)$$

$$Q_M = \frac{Q_1}{t \cdot s}, \quad (12)$$

где Q_c , Q_M – удельная производительность установки по сухому и влажному осадку соответственно, кг/с·м²; Q_1 , Q_2 – масса влажного и сухого осадка соответственно, кг; s – площадь фильтрующего элемента, м²; $t = t_{\text{ф}} + t_{\text{по}} = t_{\text{ф}} + t_{\text{по}}$ – время цикла фильтро-

вания, ч, где t_{ϕ} – время фильтрования, ч; $t_{\text{по}}$ – время просушки осадка, ч.

Удельное сопротивление осадка рассчитывают по формуле:

$$r = \frac{1}{c}, \quad (13)$$

где r – удельное сопротивление осадка, $1/\text{м}^2$; c – проницаемость осадка, м^2 .

Проницаемость осадка рассчитывают по следующей формуле:

$$c = \frac{\mu \cdot \alpha \cdot V_0^2}{2 \cdot p \cdot s^2}, \quad (14)$$

где c – проницаемость осадка, м^2 ; μ – вязкость фильтрата, $\text{кг} \cdot \text{с}/\text{м}^2$, для угольной суспензии $\mu = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{с}/\text{м}^2$; α – объем осадка на единицу объема фильтрата, $\text{м}^3/\text{м}^3$; V_0 – объем фильтрата, выделяющегося в единицу времени, $\text{м}^3/\text{с}$; p – давление фильтрования, $\text{кг}/\text{м}^2$; s – площадь фильтрующего элемента, м^2 .

По результатам I серии опытов и данным табл. 2.2. строят графики зависимости: влажности осадка (W), удельной производительности (Q_c, Q_m), удельного сопротивления осадка (r), содержания твердого в фильтрате (P) от плотности пульпы (R_n).

Делают выводы о влиянии плотности исходной пульпы на эффективность фильтрования.

По результатам II серии опытов и данным табл. 2.3. строят графики зависимости: влажности осадка (W), удельной производительности (Q_c, Q_m), удельного сопротивления осадка (r), содержания твердого в фильтрате (P) от расхода флокулянта.

Делают выводы о влиянии типа и расхода флокулянта на параметры процесса фильтрования и наиболее эффективном флокулянте.

По результатам III серии опытов и данным табл. 2.4. строят графики зависимости: влажности осадка (W), удельной производительности (Q_c, Q_m), удельного сопротивления осадка (r), содержания твердого в фильтрате (P) от величины давления фильтрования.

Делают выводы о влиянии давления фильтрования на параметры процесса фильтрования.

По результатам IV серии опытов и данным табл. 2.5. строят графики зависимости: влажности осадка (W), удельной производительности (Q_c , Q_m), удельного сопротивления осадка (r), содержания твердого в фильтрате (P) от крупности материала.

Делают выводы о влиянии гранулометрического состава материала на параметры процесса фильтрования.

Контрольные вопросы

1. Виды, влаги и их классификация.
2. Показатели, характеризующие процесс обезвоживания.
3. Максимальная молекулярная влагоемкость, метод определения.
4. Теоретические основы процесса фильтрования.
5. Опытное определение показателей фильтрования на лабораторной установке.
6. Классификация вакуум-фильтров. Конструкция, назначение, преимущества, недостатки.
7. Показатели эффективности фильтрования.
8. Опытное определение эффективности работы фильтров.
9. Фильтровальные вакуум-установки. Выбор, преимущества, недостатки.
10. Вакуумная система. Типы, преимущества, недостатки.
11. Последовательность запуска фильтровальной установки.
12. Факторы, влияющие на эффективность фильтрования.
13. Влияние типа флокулянта. Условия применения флокулянта.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ФИЛЬТРОВАНИЕ СУСПЕНЗИИ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Цель работы. Определить влияние разжижения исходной пульпы, типа и расхода флокулянтов на эффективность фильтрования под давлением.

Теоретические положения. При необходимости фильтрации суспензий, в которых минеральная часть представлена тонкодисперсными частицами с высокой гидрофильностью, практическое значение может иметь *фильтрация под давлением*. С этой целью применяются камерные фильтрпрессы или ленточные мультироликовые фильтры непрерывного действия. Выбор типа фильтра определяется характеристикой фильтруемой суспензии и требованиями к качеству процесса фильтрации. Основными показателями, характеризующими процесс фильтрации под давлением, являются влажность осадка (W), содержание твердого в фильтрате (P), удельная производительность фильтрующей поверхности (Q_c , Q_m), удельное сопротивление осадка (r).



Рис. 3.1. Лабораторная установка для фильтрации под давлением.

Оборудование и материалы. Лабораторная установка для фильтрации под давлением (рис. 3.1.); технические весы с разновесами; фарфоровые кружки емкостью 1 л; ванночка металлическая для сыпучих продуктов; груша резиновая; мерная посуда

емкостью 0,5, 1 л; бумажные фильтры; аналитические весы; шкаф сушильный с отверстиями для естественной вентиляции, обеспечивающий устойчивую и равномерную температуру нагрева 105–110 °С; секундомер; рабочие растворы флокулянтов.

Порядок проведения работы.

Фильтрация отходов флотации: затраты времени – 4 часа;

Фильтрация необогащенных шламов: Затраты времени – 4 часа. Внимание: Работа носит характер исследования.

В каждом цикле выполняют 2 серии опытов.

Для опытов I серии, в которой изучают влияние концентрации твердых частиц в пульпе на эффективность фильтрации под давлением, каждая подгруппа студентов выполняет 5 опытов фильтрации при различных значениях разжижения $R_{и}$. *Тип и расход флокулянта остается постоянным и задаются преподавателем.*

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$, и объему камеры фильтрации $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1). Также определяют дозируемые объемы рабочих растворов флокулянтов по формуле (2).

Изучают конструкцию фильтровальной установки, измеряют площадь фильтрующего элемента (s). Для опытов взвешивают навески отходов флотации или необогащенных шламов. Пробы заливают водой объемом 0,5 л, перемешивают и оставляют на 20 мин. По истечении времени замачивания в пробу добавляют заданный объем флокулянта и осторожно перемешивают до полного образования флокул. Затем весь объем суспензии быстро переводят в камеру фильтрации, образованную центрирующей втулкой (рис. 5.). Процесс фильтрации на первом этапе проводят в течение 90 сек (t_1). После этого осторожно вынимают центрирующую втулку и визуально определяют стабильность образованного осадка. Определяют объем полученного фильтрата.

Затем на образованный осадок устанавливают груз массой 10 кг и продолжают второй этап процесса фильтрации в течение 180 сек (t_2). После чего также, измеряют объем

фильтрата и визуально оценивают отделение осадка от фильтровальной ткани.

Далее осадок аккуратно снимают с фильтровального элемента, взвешивают и помещают в сушильный шкаф. После высушивания пробы до состояния сыпучести, ее охлаждают до комнатной температуры, взвешивают и определяют массу сухого осадка (P_c), рассчитывают его влажность (W).

Для того чтобы правильно определить влажность осадка, данные измерений и расчетные данные заносят во вспомогательную таблицу 2.1.

Для определения содержания твердого в фильтрате (P) жидкость фильтруют через тонкопористый бумажный фильтр, который предварительно взвешивают. Затем фильтр с осадком помещают в сушильный шкаф (температура 105 °С) и высушивают. После остывания фильтр с осадком взвешивают и определяют массу осадка.

Для того чтобы правильно определить содержание твердого в фильтрате, данные измерений и расчетные данные заносят во вспомогательную табл. 1.1.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят для каждого из 5 опытов в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Опытные и расчетные показатели фильтрования I этапа опытов

Разжижение пульпы	Объем фильтрата, мл	Содержание твердого в фильтрате, г/л	Влажность осадка, %	Удельная производительность, кг/мин×см ²	Удельное сопротивление осадка, 1/м ³
г/л					

Для опытов II серии, в которой изучают влияние типа и расхода флокулянтов на эффективность фильтрования, каждая подгруппа студентов выполняет 5 опытов фильтрования с применением различных флокулянтов. *Значение разжижения, остается постоянным и задаются преподавателем.*

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$, и объему камеры фильтрования $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1). Также

определяются дозируемые объемы рабочих растворов флокулянтов по формуле (2).

Работу выполняют аналогично методике I серии опытов.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят для каждого из 5 опытов в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Опытные и расчетные показатели фильтрования II этапа опытов

Флокулянт/ расход, мл	Объем фильтрата, мл	Толщина осадка, мм	Влажность осадка, %	Удельная производительность, кг/см ²	Удельное сопротивление осадка, 1/м ³	Содержание твердого в фильтрате, г/л

Обработка и оформление полученных результатов.

Содержание твердого в фильтрате рассчитывают по формуле (3).

Влажность осадка рассчитывают по формуле (10).

Удельную производительность по влажному и сухому осадку рассчитывают по формулам (11) и (12).

Удельное сопротивление осадка рассчитывают по формуле (13). Проницаемость осадка рассчитывают по формуле (14).

По результатам I серии опытов и данным таблицы 3.1. строят графики зависимости: влажности осадка (W), удельной производительности (Q_c , Q_m), удельного сопротивления осадка (r), содержания твердого в фильтрате (P) от разжижения пульпы (R_{II}).

Делают выводы о влиянии разжижения исходной пульпы на эффективность фильтрования под давлением.

По результатам II серии опытов и данным таблицы 3.2. строят графики зависимости: влажности осадка (W), удельной производительности (Q_c , Q_m), удельного сопротивления осадка (r), содержания твердого в фильтрате (P) от типа и расхода флокулянта.

Делают выводы о влиянии типа и расхода флокулянта на параметры процесса фильтрования под давлением и наиболее эффективном флокулянте.

Контрольные вопросы

1. Виды, влаги и их классификация.
2. Показатели, характеризующие процесс обезвоживания.
3. Максимальная молекулярная влагоемкость. Понятие, метод определения.
4. Теоретические основы процесса фильтрования.
5. Опытное определение показателей фильтрования на лабораторной установке.
6. Фильтры избыточного давления. Область применения каждого типа, устройство, принцип действия. Эксплуатация.
7. Факторы, влияющие на выбор значений оптимальных показателей процесса фильтрования под давлением.
8. Влияние характеристик фильтруемого материала на выбор типа фильтра.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ В ОСАДИТЕЛЬНЫХ ЦЕНТРИФУГАХ

Цель работы. Определить влияние плотности питания, величины фактора разделения на эффективность обезвоживания в осадительной центрифуге.

Теоретические положения. *Центрифугированием* называют процесс обезвоживания мелких мокрых и обводненных продуктов обогащения, основанный на принципе принудительного удаления влаги при помощи центробежных сил. Различают *центробежное фильтрование* и *осадительное центрифугирование*. В первом случае происходит удаление гравитационной влаги, что осуществляется в перфорированных вращающихся роторах. В осадительных центрифугах сгущение осадка и осветление шламовой воды происходит в сплошных роторах.

Важным параметром, характеризующим работу центрифуги, является фактор разделения (F_r), который представляет собой отношение центробежной силы (F_c), действующей на частицу в роторе центрифуги, к силе, действующей на ту же частицу в гравитационном поле (mg):

$$F_r = \frac{F_c}{m \cdot g}, \quad (15)$$

так как

$$F_c = m \cdot \omega^2 \cdot r = \frac{m \cdot p^2 \cdot n^2 \cdot r}{900}, \quad (16)$$

то

$$F_r = \frac{\omega^2 \cdot r}{g} = \frac{r \cdot n^2}{900}, \quad (17)$$

где ω – угловая частота вращения, рад/с; r – радиус вращения, м; n – частота вращения, мин⁻¹; g – ускорение свободного падения, м/с².

Влажность обезвоживаемого продукта зависит от характеристики материала (гранулометрический и минералогический составы, исходная влажность), конструкции центрифуги и режима ее работы.

Оборудование и материалы. Центрифуга; технические весы с разновесами; стаканы объемом 150–200 мл; колбы плоскодонные; груша резиновая; пипетки стеклянные (1, 2, 5 мл); стеклянная палочка; мерная посуда емкостью 100 мл; аналитические весы; шкаф сушильный с отверстиями для естественной вентиляции, обеспечивающий устойчивую и равномерную температуру нагрева 105–110 °С; секундомер; шлам крупностью менее 0,05 мм; отходы флотации; рабочие растворы флокулянтов.

Порядок проведения работы.

I серия опытов – затраты времени 4 часа.

II, III серия опытов – затраты времени 4 часа. Внимание: Работа носит характер исследования.

Для опытов I серии, в которой изучается влияния величины фактора разделения на эффективность работы центрифуги, выполняют 6 опытов центрифугирования при различной вели-

чине фактора разделения. Значение плотности пульпы $R_{И}$ остается постоянным и задается преподавателем.

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{И}$, и объему стакана центрифуги $V_{И}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1).

Изучают конструкцию лабораторной осадительной центрифуги. Приготавливают навески заданного материала. Пробы засыпают в стаканчики центрифуги и доливают 80 мл воды. Тщательно перемешивают содержимое стаканчика стеклянной палочкой, время контакта жидкой и твердой фаз 30 мин. По истечении времени замачивания, добавляют флокулянт, 2 стаканчика с пробами помещают в центрифугу один против другого для исключения дебаланса и проводят центрифугирование в течение 5 мин, при заданной преподавателем скорости вращения ротора центрифуги.

Для определения содержания твердого в фугате (P) весь фугат фильтруют через тонкопористый бумажный фильтр, который предварительно взвешивают. Затем фильтр с осадком помещают в сушильный шкаф (температура 105 °С) и высушивают. После остывания фильтр с осадком взвешивают и определяют массу осадка.

Для того чтобы правильно определить содержание твердого в фугате, данные измерений и расчетные данные заносят во вспомогательную табл. 1.1.

Осадок аккуратно извлекают из стакана центрифуги, взвешивают и помещают в сушильный шкаф. После высушивания пробы до состояния сыпучести, ее охлаждают до комнатной температуры, взвешивают и определяют массу сухого осадка (P_c), рассчитывают его влажность (W).

Для того чтобы правильно определить влажность осадка, данные измерений и расчетные данные заносят во вспомогательную таб. 2.1.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят для каждого из 5 опытов в табл. 4.1.

Аналогичные опыты и вычисления проводим при $n = 2000, 3000, 4000$ об/мин.

Таблица 4.1

Опытные и расчетные показатели фильтрования I этапа опытов

Условия опыта – значение плотности пульпы, г/л			
№ п/п	Фактор разделения	Влажность осадка, %	Содержание твердого в фугате, г/л

Для опытов II серии, в которой изучают влияние плотности питания на содержание твердого в фугате, выполняют 6 опытов центрифугирования при различных значениях разжижения $R_{и}$. Значение фактора разделения остается постоянным и задается преподавателем.

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$, и объему стакана центрифуги $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1).

Работа выполняют аналогично методике I серии опытов.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят для каждого из 5 опытов в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Опытные и расчетные показатели фильтрования II этапа опытов

Условия опыта – значение фактора разделения			
№ п/п	Плотность пульпы	Влажность осадка, %	Содержание твердого в фугате, г/л
	г/л		

Для опытов III серии, в которой изучают влияние типа и расхода флокулянтов на эффективность работы центрифуги, выполняют 6 опытов центрифугирования с применением различных флокулянтов. Значение фактора разделения и разжижения остается постоянным.

Каждый опыт ведут в следующей последовательности. По заданному значению $R_{и}$, и объему стакана центрифуги $V_{и}$ определяют массу исходных навесок по формуле (1). Также опреде-

ляют дозируемые объемы рабочих растворов флокулянтов по формуле (2).

Работу выполняют аналогично методике I серии опытов.

Условия проведения эксперимента и расчетные показатели заносят для каждого из 5 опытов в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Опытные и расчетные показатели фильтрования III серии опытов

Условия опыта – фактор разделения, плотность пульпы (г/л)			
№ п/п	Флокулянт	Влажность осадка, %	Содержание твердо- го в фугате, г/л
	расход, мл		

Обработка и оформление полученных результатов

Содержание твердого в фугате рассчитывают по формуле (3).

Влажность осадка рассчитывают по формуле (10).

Для I серии опытов на основании опытных и расчетных данных строят зависимости влажности и содержания твердого в фугате от значения фактора разделения.

Для II серии опытов на основании опытных и расчетных данных строят зависимости влажности и содержания твердого в фугате от плотности питания.

Для III серии опытов на основании опытных и расчетных данных строят зависимости влажности и содержания твердого в фугате от типа и расхода флокулянта.

Анализируя полученные зависимости, делают выводы о влиянии исследованных факторов на показатели процесса центрифугирования.

Контрольные вопросы

1. Теоретические основы процесса центрифугирования. Фактор разделения.
2. Виды влаги, удаляемой при центрифугировании.
3. Классификация фильтрующих центрифуг.
4. Показатели, определяющие технологическую эффективность работы центрифуги.

5. Конструктивные и технологические факторы, определяющие эффективность центрифуги.
6. Факторы, влияющие на изменение зольности продуктов центрифугирования.
7. Требования, предъявляемые к конструкции центрифуг.
8. Осадительное центрифугирование. Место в технологии углеобогащения.
9. Показатели эффективности осадительного центрифугирования.
10. Влияние конструктивных и технологических факторов на эффективность действия осадительных центрифуг.
11. Правила эксплуатации центрифуг.

Рекомендуемая литература

1. Основная литература

1.1. Клейн, М. С. Технология обогащения углей [Электронный ресурс]: учеб. пособие для студентов специальности 130405 «Обогащение полезных ископаемых» / М. С. Клейн, Т. Е. Вахонина; ФГБОУ ВПО «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева», Каф. обогащения полез. ископаемых. – Кемерово: КузГТУ, 2011. – 128 с.

[/http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90655&type=utchposob:common](http://library.kuzstu.ru/meto.php?n=90655&type=utchposob:common)

1.2. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых т. 1 Обогащительные процессы [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Обогащение полезн. ископаемых" направления подгот. дипломир. специалистов "Горн. дело". – Москва : Горная книга, 2008. – 423 с. <http://www.biblioclub.ru/book/100028/>

1.3. Авдохин, В. М. Основы обогащения полезных ископаемых т. 2 Технология обогащения полезных ископаемых [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Обогащение полезн. ископаемых" направления подгот. дипломир. специалистов "Горн. дело". – Москва : Горная книга, 2008. – 315 с. <http://www.biblioclub.ru/book/100029/>

1.4. Бедрань, Н. Г. Практикум по обогащению полезных ископаемых / Н. Г. Бедрань. – М.: Недра, 1991.

1.5. Руденко, К. Г. Обезвоживание и пылеулавливание / К. Г. Руденко, М. М. Шемоханов. – М.: Недра, 1981.

2. Дополнительная литература

2.1. Чуянов, Г. Г. Обезвоживание, пылеулавливание и охрана окружающей среды / Г. Г. Чуянов. – М.: Недра, 1987.

2.2. Филиппов, В. А. Конструкция, расчет и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья / В. А. Филиппов. – М.: Недра, 1979.

2.3. Фоменко, Т. Г. Водно-шламовое хозяйство углеобогажительных фабрик / Т. Г. Фоменко, В. С. Бутовецкий, Е. М. Погарцева. – М.: Недра, 1974.

2.4. Бейлин, М. И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей / М. И. Бейлин. – М.: Недра, 1981.