



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

<b>Специальность</b>	<u>21.05.04 Горное дело</u>
<b>Специализация</b>	<u>Подземная разработка рудных месторождений</u>
<b>Уровень высшего образования</b>	<u>Специалитет</u> <i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i>
<b>Квалификация выпускника</b>	<u>горный инженер (специалист)</u>

Автор - разработчик: Мушкетов А.А., канд. техн. наук  
Рассмотрено на заседании кафедры обогащения полезных ископаемых  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

**Практическая работа** – это средство, позволяющее оценить умение и владение обучающегося излагать суть поставленной задачи, самостоятельно применять стандартные методы решения поставленной задачи с использованием имеющейся лабораторной базы, проводить анализ полученного результата работы.

### **Практическая работа 1**

**Тема:** Определение показателей крупности материала и удельной производительности мельницы по расчётному классу

#### **Цель работы**

Определить показатели крупности материала, измельчённого в лабораторной шаровой мельнице при различных продолжительностях, и удельную производительность мельницы по расчётному классу  $-0,071+0$  мм.

#### **Материалы и оборудование**

Одна проба руды массой 100 г, три навески руды массой по 300 г, лабораторная шаровая мельница объёмом 7 л, секундомер, набор сит для ситового анализа, вибрационный ситовый анализатор, кисточки, весы, сушильный шкаф, брызгало.

#### **Ход работы**

Три навески массой по 300 г отдельно нумеруются (№ 2, 3 и 4), загружаются в лабораторную шаровую мельницу и в мокрую измельчаются при продолжительностях  $t_1$ ;  $t_2$  и  $t_3$  мин соответственно. Вместе с каждой навеской в мельницу заливается по 150 мл воды для обеспечения массовой доли твёрдого в пульпе 67 %.

После измельчения каждая измельчённая навеска разгружается из мельницы и отстаивается (декантируется) для разделения на обезвоженную твёрдую часть и осветлённый слой воды, который сливается.

Обезвоженные измельчённые навески высушиваются в сушильном шкафу. Из высушенных навесок, предварительно тщательно перемешанных, отбираются пробы массой по 100 г каждая. Для определения гранулометрического состава исходная неизмельчённая проба руды (№ 1) и три пробы, отобранные от измельчённых навесок № 2, 3 и 4, подвергаются комбинированному ситовому анализу.

Комбинированный ситовый анализ заключается в первоначальном **мокром ситовом анализе** пробы и последующем **сухом ситовом анализе** высушенной надрешётной части. При мокром ситовом анализе проба промывается водой на сите с мелким размером отверстия (как правило 0,071 мм). Полученный надрешётный продукт сушится и рассеивается на наборе сит. При мокром просеивании материала эффективность прохождения тонких частиц через сита с небольшим размером отверстий значительно выше по сравнению с сухим просеиванием. Схема проведения комбинированного ситового анализа приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема проведения комбинированного ситового анализа

Для проведения комбинированного ситового анализа исследуемую пробу предварительно отмывают на сите с размером отверстия 0,071 мм с последующим получением кл. -0,071+0 и +0,071 мм. Класс -0,071+0 мм отстаивается (декантируется) с последующим сливом осветлённый слоя воды. Обезвоженный кл. -0,071+0 мм и кл. +0,071 мм переводят в чашки и сушат.

Высушенный кл. +0,071 мм подвергается сухому ситовому анализу на наборе сит при помощи вибрационного ситового анализатора. Продолжительность сухого ситового анализа составляет 15 мин. Полученные классы крупности взвешиваются с последующим расчётом частных и суммарных выходов.

#### Обработка результатов

Одним из важных показателей, по которому оценивается эффективность циклов измельчения на фабрике является **удельная производительность мельницы по расчётному классу ( $q^{-a}$ )**. В этом показателе  $-a$  – это класс крупности  $-a+0$  мм по которому ведётся расчёт удельной производительности цикла измельчения. Этот показатель показывает массу расчётного класса крупности, образовавшегося в процессе измельчения, которая приходится на единицу объёма барабана мельницы. Как правило расчётный класс равен конечной крупности материала, при которой в последней стадии обогащения возможно получение готового концентрата. На фабриках готовым классом, как правило, считается кл. -0,071+0 мм. Удельная производительность промышленной мельницы по расчётному классу  $-a$  мм рассчитывается по формуле

$$q^{-a} = \frac{Q \cdot (\beta^{-a} - \alpha^{-a})}{100 \cdot V}, \text{ т/ч} \cdot \text{м}^3, \quad (1)$$

где  $Q$  – производительность по твёрдому мельницы, т/ч;  $\beta^{-a}$  и  $\alpha^{-a}$  – массовая доля кл.  $-a+0$  мм в измельчённом материале и в питании мельницы соответственно, %;  $V$  – объём мельницы, м<sup>3</sup>.

Удельная производительность лабораторной мельницы по расчётному классу  $-a$  мм периодического действия рассчитывается по формуле

$$q^{-a} = \frac{M \cdot (\beta^{-a} - \alpha^{-a})}{100 \cdot V \cdot \tau}, \text{ т/ч} \cdot \text{м}^3, \quad (2)$$

где  $M$  – масса измельчаемого материала, т;  $\beta^{-a}$  и  $\alpha^{-a}$  – массовая доля кл.  $-a+0$  мм в измельчённом материале и в питании мельницы соответственно, %;  $V$  – объём мельницы, м<sup>3</sup>;  $\tau$  – продолжительность измельчения, ч.

Полученные результаты заносятся в таблицу, общий вид которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Общий вид таблицы гранулометрического состава

Класс крупности, мм	Масса, г	Частный выход, %	Суммарный выход, %	
			«по плюсу»	«по минусу»
...	...	...	...	...

По рассчитанным данным строится и определяется следующее.

1. Зависимость массовой доли кл.  $-0,071+0$  в материале ( $\beta^{-71}$ ) и удельной производительности мельницы по кл.  $-0,071+0$  мм ( $q^{-71}$ ) от продолжительности измельчения ( $\tau$ ) (две зависимости на одном графике).

2. Зависимость удельной производительности мельницы по кл.  $-0,071+0$  мм ( $q^{-71}$ ) от крупности измельчённого материала ( $\beta^{-71}$ ).

3. Зависимости суммарных выходов классов крупности ( $\gamma^+$  и  $\gamma^-$ ) от соответствующей границы суммарного класса крупности ( $+d$  и  $-d$  мм).

4. Зависимость средневзвешенной ( $d_{cp}$ ) и номинальной ( $d_{95}$ ) крупности от продолжительности измельчения ( $\tau$ ).

### **Выводы**

Полученные зависимости проанализировать и сделать по ним выводы о влиянии исследуемых факторов ( $\tau$  и  $\beta^{-71}$ ) на показатели крупности материала и удельную производительность мельницы по расчётному классу.

## **Практическая работа 2**

### **Тема: Магнитный анализ магнетитовой руды**

#### **Цель работы**

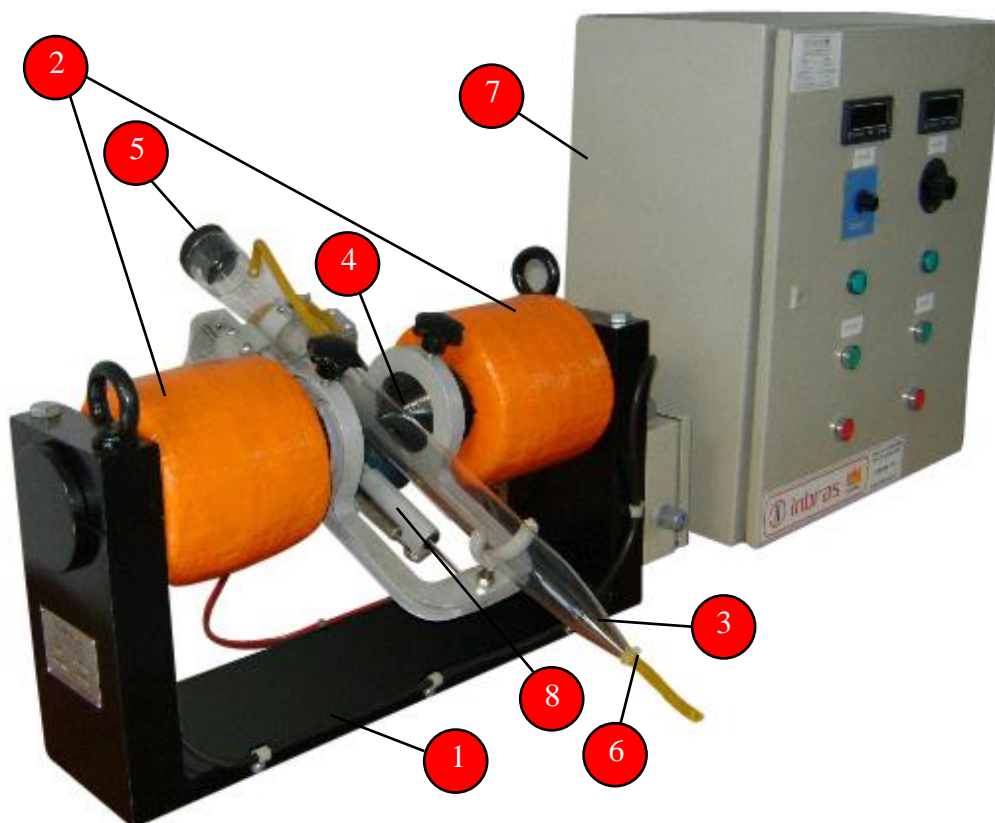
Определить выходы продуктов магнитного анализа и влияние напряжённости магнитного поля на технологические показатели обогащения.

#### **Материалы и оборудование**

Три навески магнетитовой руды массой по 50 г, магнитный анализатор, кисточки, весы, стаканчик, воронка, сушильный шкаф, брызгало.

#### **Ход работы**

**Магнитный анализатор (трубка Дэвиса)** – это устройство для определения технологических показателей магнитного обогащения материала, имеющем в своём составе сильномагнитные минералы. Изображение анализатора представлено на рисунке 2.



1 – магнитопровод (сердечник); 2 – медные катушки; 3 – стеклянная трубка; 4 – полюсный наконечник; 5 – загрузочное отверстие; 6 – выпускное отверстие стеклянной трубки; 7 – выпрямитель электрического тока; 8 – кривошипно-шатунный механизм.

Рисунок 2 – Магнитный анализатор

Исследуемый материал небольшими порциями загружается в приёмное отверстие (5) трубки (3), в которое непрерывно поступает питающая вода с постоянным расходом. При помощи кривошипно-шатунного механизма (8) стеклянная трубка совершает возвратно-поступательное движение. Под действием силы тяжести и гидродинамических сил частицы материала транспортируются до уровня полюсных наконечников (4), где попадает в зону постоянного магнитного поля. Полюсные наконечники являются частью магнитопровода (1), на котором намотаны медные провода в виде катушек (2). По проводу течет постоянный электрический ток, который создаёт постоянное магнитное поле. Постоянный ток вырабатывается выпрямителем (7). Зёрна и сростки минералов, обладающие сильномагнитными свойствами, захватываются магнитным полем в зоне полюсных наконечников и выстраиваются по его линиям напряжённости. Зёрна и сростки минералов, не обладающие сильномагнитными свойствами, под действием силы тяжести и гидродинамических сил транспортируются к разгрузочному отверстию (6). Трубка (3), совершающая постоянные возвратно-поступательные движения, создаёт аналогичные по характеру движения потоки воды, которые вымывают механически захваченные немагнитные зёрна из магнитного продукта, сконцентрированного между полюсами (4).

Каждая навеска предварительно замачивается в стаканчике с водой. Стеклянная трубка магнитного анализатора заполняется потоком питающей воды с таким расходом, чтобы поверхность воды внутри трубки находилась выше полюсов магнитной системы, но ниже загрузочного отверстия. В процессе заполнения трубки открывается её выпускной кран для обеспечения постоянства заданного уровня воды. Вода из крана при этом по шлангу стекает в накопительную ёмкость. После установки водного режима, обеспечивающего постоянство необходимого уровня поверхности воды, происходит установка на выпрямителе заданной силы тока ( $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$ ) и включение механизма возвратно-поступательного движения трубки.

После завершения подготовки анализатора к работе происходит постепенная загрузка материала в трубку небольшими порциями при помощи брызгала. Загрузка каждой новой порции осуществляется только после осветления воды в трубке.

В процессе работы необходимо следить за **постоянством уровня пульпы** в трубке анализатора при помощи увеличения или уменьшения поступающей в неё воды. В случае заполнения накопительной ёмкости немагнитным материалом необходимо заменить ёмкость.

После пропускания всей массы навески необходимо промыть стеклянную трубку питающей водой от остатков немагнитного продукта при помощи попеременного её заполнения и опорожнения. После очистки трубки от остатков немагнитного продукта необходимо выключить питающую воду и поставить под разгрузочное отверстие новую ёмкость для магнитного продукта.

Для разгрузки магнитного продукта необходимо на выпрямителе **плавно вывести текущую силу тока до значения «0»**, выключить выпрямитель, включить питающую воду и также промыть стеклянную от остатков магнитного продукта при помощи попеременного её заполнения и опорожнения.

Полученные продукты декантируются с последующим сливом осветлённого слоя воды и сушатся. После сушки продукты взвешиваются.

### **Обработка результатов**

Полученные массы заносятся в таблицу 2.

Таблица 2 – Общий вид таблицы гранулометрического состава

Продукт	Масса, г	Выход, %	Массовая доля Fe, %	Извлечение Fe, %
$I_1 = \dots$				
Магнитный			$\beta_{Fe}$	
Немагнитный				
Исходный			$\alpha_{Fe}$	
$I_2 = \dots$				
Магнитный			$\beta_{Fe}$	
Немагнитный				
Исходный			$\alpha_{Fe}$	
$I_3 = \dots$				
Магнитный			$\beta_{Fe}$	
Немагнитный				
Исходный			$\alpha_{Fe}$	

При помощи полученных результатов

1. Рассчитать выходы продуктов.
2. При помощи уравнений баланса по ценному компоненту и заданных массовых долей железа произвести расчёт массовой доли железа в продуктах обогащения.
3. Рассчитать извлечение железа в продукты обогащения.
4. Построить графики зависимостей выхода магнитного продукта и массовой доли железа в нём от напряжённости магнитного поля.

### **Выводы**

Сделать выводы о влиянии напряжённости магнитного поля на технологические показатели обогащения.

## **Практическая работа 3**

**Тема:** Влияние расхода собирателя на кинетику Флотации измельчённой сульфидной руды

### **Цель работы**

Определить влияние расхода собирателя на кинетику флотации измельчённой сульфидной руды.

### Материалы и оборудование

Две навески сульфидной руды по 1000 г, лабораторная флотационная машина с объёмом камеры 3 л, реагенты собиратель и вспениватель, лабораторная шаровая мельница объёмом 7 л, секундомер, ручное сито 1 мм, шприц.

### Ход работы

Кинетика флотации – это зависимость суммарных показателей, характеризующих флотационный процесс, от продолжительности флотации ( $t$ ). Кинетика флотации определяется по результатам флотационного эксперимента. Для этого продолжительность флотационного опыта разбивают на несколько временных отрезков, в течение которых проводят накопления порций (фракций) пенного продукта. К примеру, кинетика извлечения ценного компонента в пенный продукт флотации может выглядеть так, как это представлено на рисунке 3.

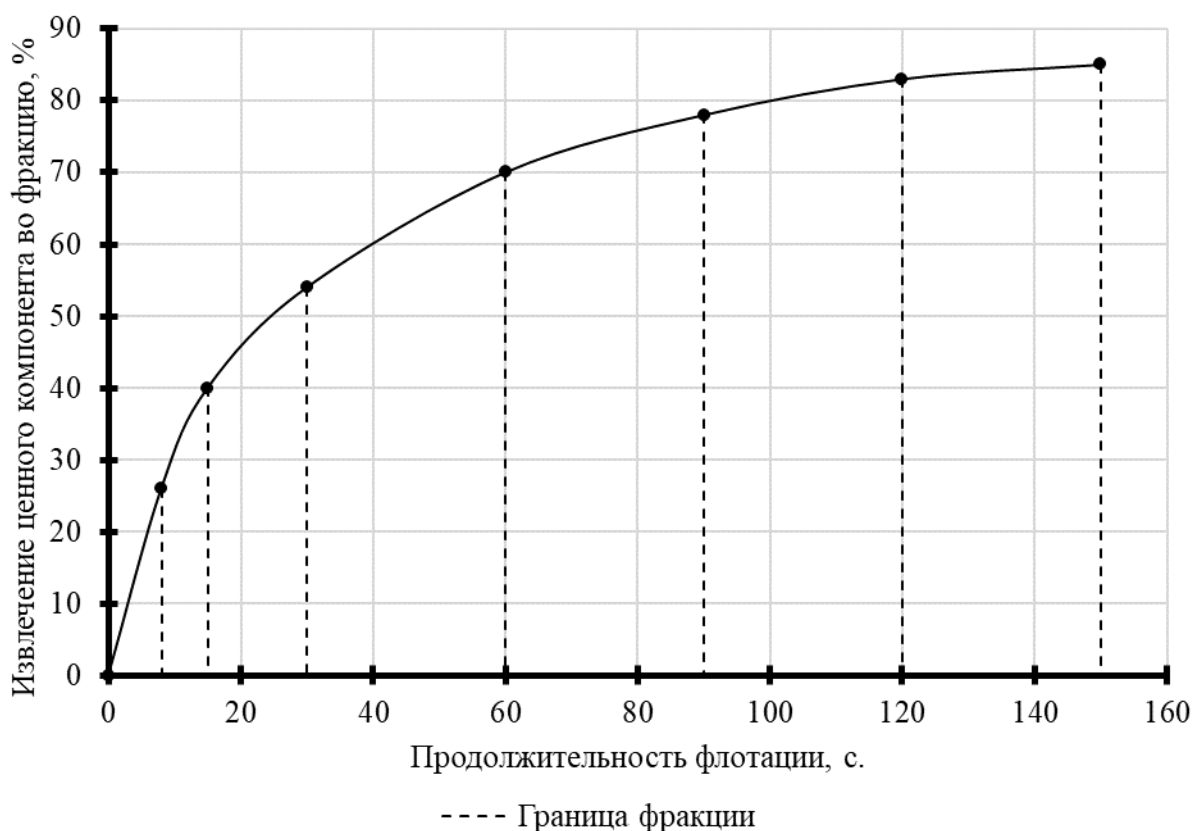


Рисунок 3 – Изображение кинетики флотации

В данном случае границами фракций будет являться границы интервалов времени, в течение которых была отобрана эта фракция, например, фракция 0-8 мин, 8-15 мин и т.д.

Как правило, под кинетикой флотации понимают зависимости суммарного извлечения ценного компонента в пенный продукт и суммарного выхода пенного продукта от продолжительности флотации. Однако, в процессе исследований могут также исследоваться и другие зависимости технологических показателей от продолжительности флотации и расходов реагентов.

Для исследования влияния расхода собирателя на кинетику выхода пенного продукта необходимо провести два опыта (опыты № 1 и 2) при различных его расходах. В качестве собирателя используется реагент бутиловый ксантогенат.

Две навески руды измельчаются при одинаковой продолжительности  $\tau$  в шаровой мельнице. Разгрузка материала из мельницы в накопительную ёмкость осуществляется через сито 1 мм с целью предотвращения попадания в импеллер флотационной машины крупных частиц, которые могут привести к его поломке.

После просеивания материал из накопительной ёмкости переводится во флотационную камеру. Камера закрепляется во флотационной машине таким образом, чтобы импеллер был погружен в пульпу. После установки, включается импеллер и в камеру добавляется вода до сливного порога и собиратель объёмом  $V_1$ . Под сливной порог камеры ставится чашка для сбора пенного продукта. После агитации в течение одной минуты в камеру добавляется пенообразователь. После ещё одной минуты агитации включается аэрация, пеногон и секундомер. При помощи секундомера производится отсчёт интервалов времени, в течение которых необходимо отобрать четыре флотационные фракции. Продолжительность отбора каждой фракции составляет 4 мин.

При этом в процессе флотации по мере удаления пенного продукта из камеры необходимо периодически добавлять в неё такое количество воды, чтобы обеспечить в ней уровень пульпы близкий к уровню сливного порога.

После отбора последней пенной фракции флотация прекращается, чашки с пенными продуктами обезвоживаются и сушатся. Камерный продукт декантируется, обезвоживается и переводится в чашку для сушки.

В дальнейшем делается опыт № 2 повторяется с расходом собирателя  $V_2$ .

### Обработка результатов

Полученные массы заносятся в таблицу 3. с последующим расчётом выхода каждой фракции.

Таблица 3 – Общий вид таблицы гранулометрического состава

№	Продукт	Продолжительность флотации, мин	Масса, г	Выход, %		Скорость изменения выхода пенного продукта, %/с
				частный	суммарный	
Опыт № 1, концентрация собирателя $V_1$						
2.1	Фракция № 1	4				
3.1	Фракция № 2	4				
4.1	Фракция № 3	4				
5.1	Фракция № 4	4				
6.1	Камерный	–				
Опыт № 2, концентрация собирателя $V_2$						
2.2	Фракция № 1	4				
3.2	Фракция № 2	4				
4.2	Фракция № 3	4				
5.2	Фракция № 4	4				
6.2	Камерный	–				
1	Исходный		1000	100,00		

При помощи полученных результатов для каждого опыта:

1. Рассчитываются выходы фракции;
2. Строится зависимость суммарного выхода пенного продукта флотации от её продолжительности  $\Sigma\gamma_{\text{п}}=f(t)$ ;
3. Определяется скорость изменения выхода пенного продукта ( $\Delta\gamma$ ) для каждой фракции по формуле

$$\Delta\gamma_{\text{п}} = \frac{\gamma_{i+1} - \gamma_i}{t_{i+1} - t_i}, \%/\text{с} \quad (3)$$

где  $\gamma_{i+1}$ ,  $\gamma_i$  – выходы  $i+1$ -ой и  $i$ -ой фракций соответственно, %;  $t_{i+1}$ ,  $t_i$  – продолжительности флотации  $i+1$ -ой и  $i$ -ой фракций соответственно, с.

4. Строится зависимость скорости изменения выхода пенного продукта флотации от её продолжительности  $\Delta\gamma_{\text{п}} = f(t)$ .

### Выводы



Охарактеризовать виды полученных зависимостей, сделать вывод о влиянии расхода собирателя на выходы фракции и скорость изменения выхода пенного продукта.