

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 02.06.2022 15:02:57  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf27812336e9206a237d4b50e556f90c

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное**  
**Образовательное учреждение высшего образования**  
**«Юго-Западный государственный университет»**  
**(ЮЗГУ)**

Кафедра экспертизы и управления недвижимостью, горного дела

**УТВЕРЖДАЮ:**  
**Проректор по учебной работе**  
**О.Г. Локтионова**  
« 22 » 03  
2022 г.  


**ФЛОТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ**

Методические указания по выполнению курсовых проектов для студентов специальности 21.05.04 Горное дело специализации «Обогащение полезных ископаемых»

УДК 622

Составитель: Л.А. Семенова

Рецензент

Кандидат географических наук, доцент Р.А. Попков

**Флотационные методы обогащения:** Методические указания по выполнению курсовых проектов для студентов специальности 21.05.04 Горное дело специализации «Обогащение полезных ископаемых» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.А. Семенова. - Курск, 2022. - 14с.: рис. 3. - Библиогр.: с. 14.

Содержит основные сведения о расчете качественно-количественной и водно-шламовой схемы флотационного метода обогащения, предназначенные для студентов специализации «Обогащение полезных ископаемых». В работе даны рекомендации по выбору и расчету флотационных схем обогащения.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной на заседании кафедры Э и УН, ГД протокол № 1 от «30» 08 2021 года.

Предназначены для студентов направления подготовки (специальности) 21.05.04 Горное дело для специализации «Обогащение полезных ископаемых».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать

формат 60x84 1/16

Усл. Печ. Лист 0,81 Уч.-изд.л. 0,73 Тираж 100 экз. Заказ Бесплатно 11/16

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

## Содержание

	Введение	4
1	Цели и задачи выполнения курсового проекта	4
2	Тематика курсовых проектов	4
3	Объем и содержание курсового проекта	5
4	График выполнения курсового проекта	6
5	Защита курсового проекта	7
6	Пояснения к выполнению курсового проекта	7
	Список литературы	14

## **Введение**

Методические указания рекомендуются для студентов специальности 21.05.04 «Обогащение полезных ископаемых» при выполнении курсового проекта, предусмотренного рабочей программой дисциплины «Флотационные методы обогащения».

В методических указаниях содержатся пояснения к выполнению отдельных разделов проекта, к выбору и обоснованию схемы обогащения, реагентного режима, расчету технологических показателей, к оформлению пояснительной записки, графической части и т.п.

## **2 Цели и задачи выполнения курсового проекта**

2.1 Настоящий курсовой проект является самостоятельной итоговой работой студента под руководством преподавателя, содержащий результаты решения поставленной задачи по курсу «Флотационные методы обогащения», и оформленной в соответствии с требованием настоящих указаний.

2.2 Целью выполнения курсового проекта является приобретение студентом навыков в выборе и расчете флотационных схем, обосновании флотационного режима, используя знания и компетенции, полученные при изучении теоретического курса «Флотационные методы обогащения», а также привлекая соответствующие литературные источники.

2.3 Основными задачами при выполнении курсового проекта являются:

- привитие практических навыков проектирования и расчета технологических схем флотации;
- развитие навыков работы с учебной, научной, справочной литературой и нормативными документами, относящимися к охране окружающей среды, водного и воздушного пространства, овладение навыками грамотного, ясного и сжатого изложения результатов работы и аргументированной защиты принятых решений.

## **3 Тематика курсовых проектов**

3.1 Тематика курсовых проектов сводится к проектированию и расчету флотационной схемы обогащения железорудного сырья на базе АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева».

3.2 Вариантами для разработки схем флотационного обогащения могут быть:

1. Доводка концентрата магнетитового, получаемого при переработке неокисленных железистых кварцитов по схеме мокрой магнитной сепарации (ММС);

2. Дообогащение хвостов мокрой магнитной сепарации;  
3. Обогащение окисленных железистых кварцитов Михайловского месторождения и продуктов их переработки;

3.3 Студент самостоятельно выбирает тему курсового проекта из числа утвержденных кафедрой и согласовывает её с руководителем курсового проекта (КП).

3.4 Студент имеет право с разрешения заведующего кафедрой или руководителя КП выбрать любую другую тему (в рамках учебной программы), не предусмотренную тематикой кафедры, если она является актуальной и важной.

3.5 Допускается выдача комплексного задания на выполнение КП на группу из нескольких студентов со строгой конкретизацией задания и объема работы каждого студента и его вклада в оформление проекта.

## **4 Объем и содержание курсового проекта**

4.1 Курсовой проект оформляется в виде текстового документа — пояснительной записки и дополняется графическим материалом.

В пояснительной записке должны быть в краткой и четкой форме раскрыты основные этапы работы, иллюстрируемые рисунками, расчетными таблицами, схемами, алгоритмами, необходимыми для полного уяснения его содержания.

4.2 В разработанном курсовом проекте приводится описание либо вещественного состава сырья и флотационных свойств основных минералов, входящих в состав перерабатываемого сырья, либо особенностей флотационного метода обогащения.

4.3 Рассчитываются и вычерчиваются качественно-количественная и водно-шламовая схемы флотации, составляются таблицы технологического баланса металла и баланса воды.

4.4 Результаты выполнения курсового проекта оформляются в виде пояснительной записки объемом 18-25 страниц машинописного текста. Записка содержит расчетные таблицы, пояснения к расчету и проверке расчетов, где они необходимы.

4.6 Содержание пояснительной записки:

- титульный лист (по форме приложения А);
- задание (ТЗ) на курсовой проект (по форме приложения Б);
- содержание;
- введение;
- характеристика исходного сырья (необязательная часть);
- выбор и обоснование схемы флотации и реагентного режима(необязательная часть);
- расчет качественно-количественной схемы флотации;
- расчет водно-шламовой схемы флотации;
- список литературы.

4.6 Графическая часть включает схему обогащения, содержащую качественно-количественные и вводно-шламовые показатели, выполняется на листе ватмана формата А-1.

## 5 График выполнения курсового проекта

Номер учебной недели	Наименование мероприятия	Продолжительность выполнения, в неделях
1	2	3
2	Получение задания на курсовой проект и подбор необходимой литературы.	1
3	Выбор и обоснование схемы и реагентного режима флотации	1
4	Расчет технологической схемы флотации	2
6	Выполнение индивидуального задания	1
7	Оформление пояснительной записки и графической части курсового проекта	2
9	Защита курсового проекта	1
	Итого	8

## 6 Защита курсового проекта

6.1 Курсовой проект принимается комиссией из 2-3 преподавателей. Студент делает сообщение (3-5 мин) по существу выполненной работы.

На защиту выносятся следующие вопросы:

- обоснование выбранной схемы флотации и реагентного режима, механизм действия используемых реагентов;
- порядок расчета технологической схемы, основные соотношения для расчета показателей;
- пояснение чертежа и др.

6.2 Предусматривается в отдельных случаях проведение открытой защиты курсовых проектов с приглашением студентов других групп, преподавателей, работников базового предприятия и др.

## 7. Пояснения к выполнению разделов курсового проекта

### Разработка схемы флотации

7.1.1 С помощью учебной литературы и методических пособий хорошо освоить основную терминологию, используемую при описании флотационных схем, а именно понятия: основная, перемешивающая, контрольная

операции флотации; циклы и стадии флотации; операции и продукты разделения, смешения;

7.1.2 Ознакомиться с основными рекомендациями по выбору схем с учетом следующих факторов:

- минералогический и химический состав железорудного сырья, структурные и текстурные особенности;
- флотационные свойства минералов;
- требуемые показатели качества концентрата.

Пример технологической схемы флотационного обогащения с основной, перечистными и контрольной операциями флотации приведен на рис.1

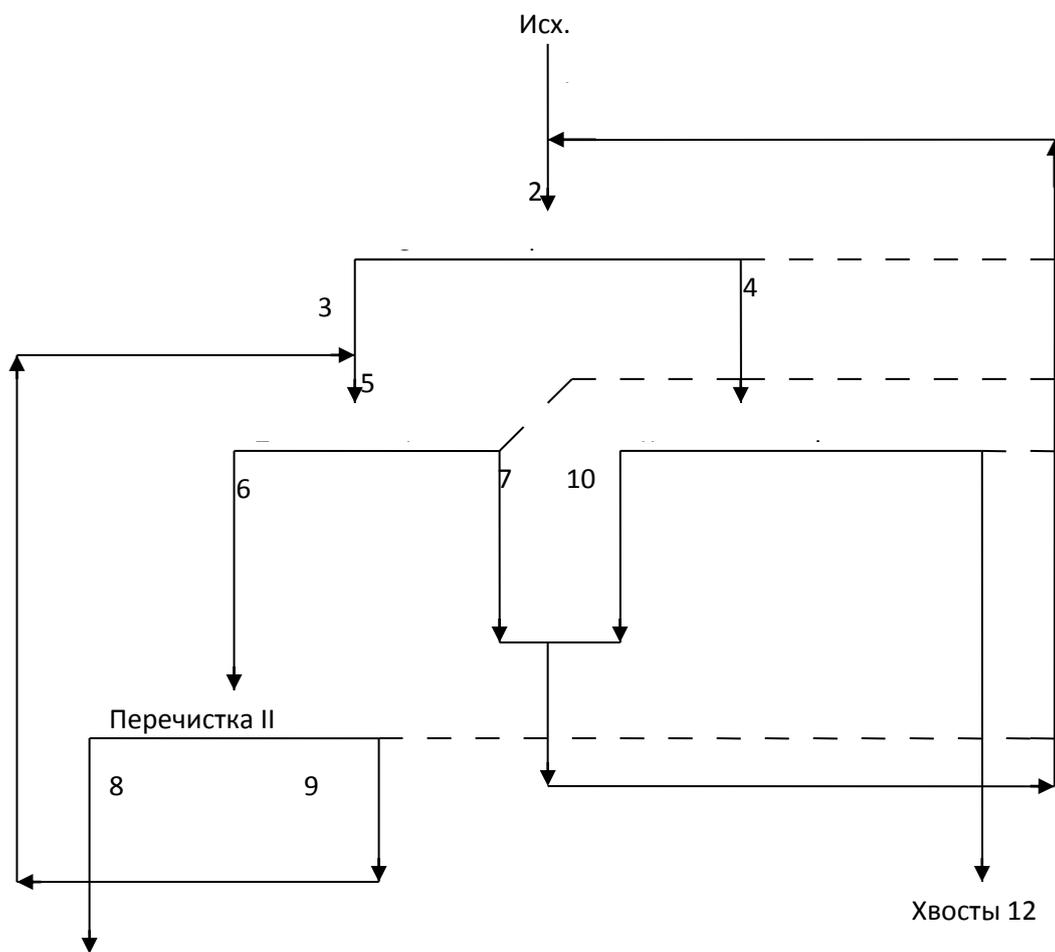


Рис.1. Схема флотационного обогащения железорудного сырья

7.1.3 Ознакомиться с результатами опытных и промышленных испытаний флотационных схем обогащения железорудного сырья на базовом предприятии АО «Михайловский ГОК им. А.В. Варичева».

На основании обобщенного анализа построить схему флотационного обогащения по заданному варианту.

Выбор реагентного режима.

7.2.1 Выбор реагентов, последовательность их подачи при обогащении данной руды по выбранной схеме рационально производить с учетом данных о характеристике исходной руды и флотационных свойствах составляющих ее минералов, а также используя общие сведения о механизме действия промышленных реагентов. При этом в качестве прототипа можно использовать реагентные режимы, принятые на практике при обогащении аналогичных руд.

7.2.2 Флотационные реагенты — это химические вещества, с помощью которых можно изменить поверхностные свойства минералов в нужном направлении. В зависимости от роли при флотации реагенты классифицируются на собиратели, пенообразователи, депрессоры, активаторы и регуляторы среды.

7.2.3 Привести краткие сведения по составу, требованиям к качеству, способам подачи реагентов, с помощью которых предполагается выделить из исходного железорудного сырья концентрат заданного качества. Здесь же в сжатой форме излагается механизм действия каждого реагента применительно к рассматриваемой схеме.

Привести требования безопасности при работе с реагентами.

#### Расчет качественно-количественной схемы флотации

7.3.1. Расчет количественной схемы обогащения производится в соответствии с «Проектированием обогатительных фабрик» К.А.Разумова и сводится к определению относительных и абсолютных показателей технологической схемы [7].

*Относительными показателями являются:*

- выход продукта переработки  $\gamma_n$ , %;
- массовая доля полезного компонента в продукте переработки  $\beta_n$  и в исходной руде  $\alpha$ , %;
- извлечение полезного компонента в продукт переработки  $\epsilon_n$ , %.

*Абсолютными показателями являются:*

- масса продукта переработки  $Q_n$ , т/час;
- масса полезного компонента в продукте переработке  $P_n$ , т/час.

7.3.2 Относительные и абсолютные показатели связаны равенствами:

*Выход продукта* переработки равен отношению массы продукта переработки к массе исходного продукта, умноженному на 100%:

$$\gamma_n = \frac{Q_n}{Q_{исх}} \cdot 100\% \quad (1)$$

*Массовая доля полезного компонента* в продукте переработки равна отношению массы полезного компонента в продукте переработки к массе всего продукта переработки, умноженному на 100%:

$$\beta_n = \frac{P_n}{Q_n} \cdot 100\% \quad (2)$$

*Извлечение полезного компонента* в продукт переработки равно отношению массы полезного компонента в продукте переработки к массе полезного компонента в исходном продукте, умноженному на 100%:

$$\varepsilon_n = \frac{P_n}{P_{исх}} \cdot 100\% \quad (3)$$

7.3.3 Расчет схемы рекомендуется производить вначале в относительных, затем в абсолютных показателях в следующей последовательности:

*Число исходных показателей*, необходимых и достаточных для расчета схемы в относительных показателях определяется из выражения:

$$N = c \cdot (1 + n_p - a_p) - 1; \quad (4)$$

$$N_n = c \cdot (n_p - a_p), \quad (5)$$

где  $N$  – общее число исходных показателей, необходимых и достаточных для расчета схемы относительных показателях;

$c$ - число расчетных компонентов, для монометаллической руды  $c=2$ ;

$n_p$ - число продуктов разделения в схеме;

$a_p$ - число операций разделения в схеме;

$N_n$ - число исходных относительных показателей, относящихся только к продуктам обработки.

Общее число численных значений показателей выхода продукта ( $N_\gamma$ ), массовой доли полезного компонента в продукте ( $N_\beta$ ) и извлечения полезного компонента в продукт ( $N_\varepsilon$ ), принятых в качестве исходных, составляет:

$$N_n = N_\gamma + N_\beta + N_\varepsilon \quad (6)$$

В качестве исходных обычно принимаются показатели массовой доли и извлечения ( $N_\beta$ ;  $N_\varepsilon$ ) в концентратах основных, перечистных и контрольных операций. Показатели выхода ( $N_\gamma$ ) как правило, в качестве исходных не принимаются, т. е.  $N_\gamma = 0$ . Подставляя значение  $N_\gamma$  в формулу, получим:

$$N_n = 0 + N_\beta + N_\varepsilon = N_\beta + N_\varepsilon \quad (7)$$

Максимальное число показателей извлечения ( $N_{\varepsilon \max}$ ), которое может быть принято в качестве исходного, составляет:

$$N_{\varepsilon \max} = n_p - a_p; \quad (8)$$

Число показателей массовой доли при этом составит:

$$N_{\beta} = N_n - N_{\varepsilon \max} \quad (9)$$

7.3.4 На основании данных исследований или опыта работы действующей фабрики, перерабатывающей аналогичное сырье, устанавливаются численные значения показателей массовой доли ( $\beta_n$ ) и извлечения ( $\varepsilon_n$ ), принятых в качестве исходных, в концентратах основных, перечистных и контрольных операций. Массовая доля полезного компонента в исходной руде ( $\beta_1$ ) обычно дается в задании.

Расчет неизвестных (искомых) относительных показателей для всех продуктов схемы производится, исходя из уравнения, связывающего относительные показатели:

$$\gamma_n \beta_n = \varepsilon_n \alpha, \quad (10)$$

где  $\gamma_n$ ,  $\beta_n$ ,  $\varepsilon_n$  - соответственно выход, массовая доля и извлечение продукта, %;

$\alpha$  - массовая доля полезного компонента в исходном продукте ( $\beta_1$ ), %.

По формуле  $\gamma_n = \frac{\varepsilon_n \alpha}{\beta_n}$  определяются значения выходов для продуктов схемы с известными значениями массовой доли, а затем из уравнения баланса выходов ( $\gamma_{к-т} + \gamma_{хв} = \gamma_{исх}$ ) определяются недостающие значения выходов:

$$\gamma_{хв} = \gamma_{исх} - \gamma_{к-т} \quad (11)$$

Аналогично по формуле  $\varepsilon_n = \frac{\gamma_n \beta_n}{\alpha}$  определяются значения извлечений для продуктов с известными показателями массовой доли и из уравнения баланса извлечений ( $\varepsilon_{к-т} + \varepsilon_{хв} = \varepsilon_{исх}$ ) определяются недостающие значения извлечений:

$$\varepsilon_{хв} = \varepsilon_{исх} - \varepsilon_{к-т} \quad (12)$$

По формуле  $\beta_n = \frac{\varepsilon_n \alpha}{\gamma_n}$  определяются неизвестные значения массовой доли полезного компонента.

При расчете схемы могут быть использованы частные выходы ( $\gamma_n^l$ ) и частные извлечения ( $\varepsilon_n$ ), которые определяются по отношению к отдельным операциям схемы, имея в виду, что исходным в таком случае является продукт, поступающий в данную операцию.

Проверка правильности расчета схемы производится по балансам конечных продуктов обогащения:

$$\gamma_{к-т} + \gamma_{хв} = 100\% \text{ - баланс выходов;}$$

$$\varepsilon_{к-т} + \varepsilon_{хв} = 100\% \text{ - баланс извлечений;}$$

$$\gamma_{к-т} \beta_{к-т} + \gamma_{хв} \beta_{хв} = 100\alpha \text{ - баланс металла.}$$

Расчет схемы в абсолютных показателях проводится на основании рассчитанной схемы в относительных показателях, для чего необходимо знать массу какого-нибудь продукта схемы, обычно исходного.

При расчете схемы пользуются формулами:

$$Q_n = \frac{\gamma_n \cdot Q_{уцх}}{100}, m/час; \quad (13)$$

$$P_{уцх} = \frac{\alpha \cdot Q_{уцх}}{100}, m/час; \quad (14)$$

$$P_n = \frac{\varepsilon_n \cdot P_{уцх}}{100}, m/час. \quad (15)$$

Результаты расчета качественно-количественной схемы заносятся в таблицу 1 и изображаются графически в виде схемы на листе формата А-1.

Таблица 1- Форма записи результатов расчета качественно-количественной схемы флотации

№ операций и продуктов	Наименование операций и продуктов	Q, т/час	γ, %	β, %	ε, %	P, т/час
1	2	3	4	5	6	7

Запись результатов расчета количественной схемы обогащения на технологической схеме производится в следующем порядке:

$$Q_n; \gamma_n$$

$$\beta_n; \varepsilon_n$$

#### Расчет водно-шламовой схемы флотации

Целью проектирования водно-шламовой схемы является:

- обеспечение оптимальных отношений Ж:Т в операциях схемы;
- определение количества воды, добавляемой в операции, или, наоборот, выделяемой из продуктов при операциях обезвоживания;
- определение отношений Ж:Т в продуктах схемы;

- определение общей потребности воды и составление баланса по воде.

Принятые обозначения:

$R_n$  – отношение жидкого к твердому по массе в операции или продукте,  
 $R = Ж:Т$

$W_n$  – количество воды в операции или продукте, м<sup>3</sup>/час;

$L_n$  – количество свежей воды, добавляемой в операцию или к продукту,  
м<sup>3</sup>/час;

$S_n$  – влажность продукта, %;

$V_n$  – объем пульпы в продукте, м<sup>3</sup>/час;

Основные соотношения:

$$W_n = R_n \cdot Q_n; \quad (16)$$

$$R_n = \frac{W_n}{Q_n}; \quad (17)$$

$$R_n = \frac{S_n}{1 - S_n}; \quad (18)$$

$$S_n = \frac{R_n}{1 + R_n} = \frac{W_n}{Q_n + W_n}; \quad (19)$$

$$V_n = W_n + \frac{Q_n}{\delta_n} = R_n Q_n + \frac{Q_n}{\delta_n}; \quad (20)$$

$$V_n = Q_n \left( R_n + \frac{1}{\delta_n} \right). \quad (21)$$

При выборе исходных показателей для расчета водно-шламовой схемы руководствуются следующим:

- каждую операцию обработки продукта необходимо проводить при оптимальном отношении Ж:Т, т.е. при оптимальном значении R (I группа исходных показателей);

- часть продуктов, выходящих из операции обогащения, будет иметь относительно постоянное значение R (II группа исходных показателей);

- для успешного осуществления некоторых технологических операций необходимо подавать в операцию определенное количество дополнительной воды на 1 т обрабатываемого продукта (III группа исходных показателей).

Оптимальные значения исходных показателей для расчета шламовой схемы приведены в таблице 22 (Разумов К.А. «Проектирование обогатительных фабрик»).

Расчет водно-шламовой схемы производится в следующем порядке:

- устанавливают численные значения исходных показателей;

- составляют вспомогательную таблицу (форма таблицы 2), куда записываются масса продуктов по данным расчета количественной схемы и исходные показатели для расчета;

- по формуле  $W_n = R_n \cdot Q_n$  подсчитывают и записывают в таблицу количество воды для тех продуктов схемы, для которых известны по исходным показателям значения R;

- по уравнению баланса определяют количество воды, добавляемое в отдельные операции или в отдельные продукты, и одновременно подсчитывают количество воды во всех продуктах схемы;

- по формуле  $R_n = \frac{W_n}{Q_n}$  подсчитывают значения R;

- по формуле  $V_n = Q_n (R_n + \frac{1}{\delta_n})$  подсчитывают объем пульпы для всех продуктов и операций;

- результаты расчета оформляются в виде таблицы (таблица 3);

- составляют баланс воды по флотационной схеме.

Таблица 2 - Вспомогательная таблица для расчета шламовой схемы (значения исходных показателей)

№ операций и продуктов	$Q_n$ , т/час	$R_n$	$W_n$ , м <sup>3</sup> /час
1	2	3	4

Таблица 3 – Форма записи показателей расчета шламовой схемы

№ операций и продуктов	Наименование операций и продуктов	$Q$ , т/час	R	W м <sup>3</sup> /час	V м <sup>3</sup> /час
1	2	3	4	5	6

## Список литературы

1. Мелик-Гайказян В.И., Емельянова Н.П.; Юшина Т.И. Методы решения задач теории и практики флотации [Текст]: учебник для вузов – М.: Издательство МГГУ «Горная книга», 2013 г.– 363 с.

2. Федотов К.В., Никольская Н.И. Проектирование обогатительных фабрик: [Текст] учебник для вузов – М.: Издательство МГГУ «Горная книга», 2012 г. – 536 с.

3. Авдохин В.М. Обогащение углей: [Электронный ресурс] учебник для вузов: В 2 т. – М.: Издательство «Горная книга», 2012 г. – Т. 2. Технологии. – 475 с. // Университетская библиотека ONLINE – [http:// biblioclub.ru/](http://biblioclub.ru/)

4. Абрамов А. А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Технология обогащения полезных ископаемых : Учебник для студентов вузов. - (Высшее горное образование). Т.П. - 2004. - 509 с.

5. Горные машины и оборудование [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 130403.65 «Открытые горные работы» / Юго-Западный государственный университет, Кафедра горного дела и обогащения полезных ископаемых. - ЮЗГУ, 2012. - 12 с.(ЭУ)

6. Горные машины и оборудование [Электронный ресурс] : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов специальности 130405.65 «Обогащение полезных ископаемых» / Юго-Западный государственный университет, Кафедра горного дела и обогащения полезных ископаемых. - ЮЗГУ, 2012. - 18 с.(ЭУ)

7. Разумов К. А. Проектирование обогатительных фабрик [Текст] : учебник для вузов / К. А. Разумов, В. А. Перов. - Недра, 1982. - 518 с.