



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП ВО  
Профессор Т.Н. Александрова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	2. Технические науки
Группа научных специальностей:	2.8. Недропользование и горные науки
Научная специальность:	2.8.9. Обогащение полезных ископаемых
Направленность (профиль):	Обогащение полезных ископаемых
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	4 года
Составитель:	д.т.н., профессор Т.Н. Александрова

Санкт-Петербург

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Роль полезных ископаемых в жизни человека трудно переоценить. Почти все материалы, из которых сделаны окружающие нас предметы, современная техника – от канцелярской кнопки и пластикового пакета до высотного здания, компьютера и космического корабля, в своем первоначальном виде находились под Землей. Полезные ископаемые составляют материальную основу экономики.

Полезные ископаемые – это природные минеральные образования в земной коре неорганического и органического происхождения, химический состав и физические свойства, которых позволяют использовать их в сфере материального производства. В настоящее время более 200 видов минерального сырья применяется в промышленности и сельском хозяйстве. По физическим свойствам различают полезные ископаемые твердые (в свою очередь, подразделяются на горючие (торф, сланец, уголь) и негорючие, которые бывают: агрономические (апатитовые и фосфоритовые), неметаллические (кварцевые, баритовые и др.) и металлические (руды черных и цветных металлов), жидкие (нефть, вода) и газообразные (газы природные горючие и инертные). Месторождением полезного ископаемого называется скопление минерального вещества в земной коре, которое в качественном и количественном отношении пригодно для использования в народном хозяйстве. Месторождения, разработка которых при существующем уровне техники экономически целесообразна, называются промышленными; месторождения, разработка которых при тех же условиях невыгодна, называются непромышленными. По мере развития техники добычи и обогащения полезных ископаемых непромышленные месторождения могут переходить в категорию промышленных.

Эффективность использования того или иного полезного ископаемого зависит, прежде всего, от содержания в нем ценного компонента и наличия вредных примесей. Добываемые полезные ископаемые только в тех случаях подвергаются непосредственной переработке металлургическими, химическими и другими методами, когда качество их соответствует требованиям, предъявляе-

мым к данному сырью. Такие полезные ископаемые в природе встречаются весьма редко. Поэтому непосредственная переработка большинства полезных ископаемых технически и экономически невыгодна и их обычно подвергают специальной подготовке – обогащению. (Обогащению подвергаются в настоящее время 100 % добываемых руд цветных и редких металлов, более 90 % руд черных металлов, весь коксующийся и большая часть энергетического угля, все горно-химическое сырье и значительная часть сырья для производства строительных материалов). Таким образом, горно-перерабатывающий комплекс включает три основных «блока»: добыча минерального сырья, обогащение добытого минерального сырья, переработка продуктов обогащения

Обогащение полезных ископаемых – это совокупность процессов механической переработки минерального сырья с целью извлечения ценных (полезных) компонентов и удаления пустой породы и вредных примесей. Т.е. это разделение минерального сырья на нужный в сфере материального производства продукт – концентрат и не нужный (в настоящее время) хвосты.

Технология обогащения полезного ископаемого зависит от его состава, а все операции (процессы), происходящие на обогатительной фабрике можно подразделить на подготовительные, основные и вспомогательные.

К подготовительным процессам относят процессы дробления, измельчения, грохочения и классификации. Их задача разъединить полезный минерал и пустую породу (раскрыть сростки минералов) и создать нужную гранулометрическую характеристику перерабатываемого сырья.

К основным процессам относят следующие процессы:

гравитационные, основанные на различиях в плотности разделяемых минералов;

флотационные (различия в поверхностных свойствах разделяемых минералов);

магнитные (различия в магнитной восприимчивости разделяемых минералов);

электрические (различия в электрических свойствах разделяемых минералов);

специальные (различия в цвете, блеске, форме, естественной или наведенной радиации разделяемых минералов);

комбинированные, в схему которых помимо традиционных процессов обогащения (не затрагивающих химического состава сырья) включены операции, изменяющие химический состав сырья.

Наиболее часто в практике обогащения полезных ископаемых используют флотационный, магнитный и гравитационный методы обогащения.

К вспомогательным относят обезвоживание, пылеулавливание, очистка сточных вод. Задача этих процессов – обеспечить оптимальное протекание основных процессов и довести продукты разделения до определенных кондиций.

Также существует особая группа процессов, которые часто относят к вспомогательным – это процессы окускования. Окускованием называют процессы переработки мелких классов полезных ископаемых и концентратов в куски (или гранулы, комки) с целью подготовки их к дальнейшему более эффективному использованию.

Кроме технологических процессов на фабрике есть процессы производственного обслуживания, которые обеспечивают непрерывность и стабильность технологических процессов. Это внутри-фабричный транспорт, водоснабжение, электроснабжение, снабжение сжатым воздухом, механизация и автоматизация, опробование и контроль.

Совокупность последовательных технологических операций обработки, которым подвергают полезные ископаемые на обогатительных фабриках, называется схемой обогащения. В зависимости от характера сведений, которые содержатся в схеме обогащения, ее называют технологической, качественной, количественной, качественно-количественной, водно-шламовой и схемой цепи аппаратов.

Обогащение полезного ископаемого всегда производится по определенной схеме. И одной из важнейших задач, решаемых при этом, является расчет схем обогащения [1 – 4].

## 1. ГРАВИТАЦИОННОЕ ОБОГАЩЕНИЕ

Гравитационным обогащением называют такой метод, в котором разделение минеральных частиц, отличающихся плотностью, размером и формой, обусловлено различием в характере и скорости их движения в текучих средах под действием силы тяжести и сил сопротивления.

Гравитационный метод представлен рядом процессов. Они могут быть собственно гравитационными (разделение в поле силы тяжести – обычно для относительно крупных частиц) и центробежными (разделение в центробежном поле – для мелких частиц). Если разделение происходит в воздушной среде, то процессы называют пневматическими; в остальных случаях – гидравлическими. Наибольшее распространение в обогащении получили собственно гравитационные процессы, осуществляемые в воде.

По типу используемых аппаратов гравитационные процессы можно разделить на отсадку; обогащение в тяжелых средах; обогащение в потоке воды, текущей по наклонной поверхности: концентрацию на столах, обогащение на шлюзах, в желобах, на винтовых сепараторах; в центробежных концентраторах; обогащение на вибрационных концентраторах; в противоточных водных сепараторах и др.

При всех гравитационных процессах имеет место падение частиц – это основной вид их движения. И основной задачей является определение скоростей падения частиц.

Падение (осаждение) – один из основных видов движения тел при гравитационных процессах. Различают свободное и стесненное падение. Свободное падение - это падение единичного тела в неограниченном пространстве среды или падение массы тел при небольшой объемной концентрации твердого ( $\lambda < 0,1$ ). Под объемной концентрацией твердого понимают отношение объема падающих тел к объему всей взвеси. При падении тел в гравитационном поле движущей силой является гравитационная сила (вас тела в среде), а в центробежном поле – гравитационная и центробежная силы. При свободном падении тела испытывают сопротивление только со стороны среда – гидродинамическое

(при падении в воде) или аэродинамическое (при падении в воздухе).

Максимальная постоянная скорость, которую при данных условиях может иметь определенное тело при свободном падении, называется конечной скоростью свободного падения. Условное её обозначение обычно  $v_0$ .

### 1.1 Задачи на расчет конечной скорости свободного падения частиц в гравитационном поле и на расчет диаметра шара по известной конечной скорости его свободного падения

В задачах 1.1 – 1.10 рассчитать скорость падения шара  $v_0$  заданной крупности и плотности, падающего в воде при разной ее температуре. В задачах 1.11 – 1.20 определить диаметр шара по известной конечной скорости его свободного падения. Расчет ведется согласно методических указаний [7, 8]. Условия задач 1.1 – 1.10 приведены в табл.1.1, задач 1.11 – 1.20 в таблице 1.2.

Таблица 1.1

Условия задач 1.1 – 1.10

Номер задачи	Плотность шара $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Диаметр шара $d$ , м	Температура воды $T$ , °С
1.1	2650	$0,36 \cdot 10^{-2}$	8
1.2	4400	$0,2 \cdot 10^{-4}$	38
1.3	1400	$0,2 \cdot 10^{-1}$	50
1.4	2650	$0,14 \cdot 10^{-4}$	50
1.5	5000	$0,11 \cdot 10^{-3}$	38
1.6	7000	$0,14 \cdot 10^{-1}$	38
1.7	4400	$0,72 \cdot 10^{-2}$	30
1.8	1400	$0,57 \cdot 10^{-4}$	38
1.9	2650	$0,23 \cdot 10^{-3}$	24
1.10	13000	$0,16 \cdot 10^{-3}$	30

Таблица 1.2

## Условия задач 1.11 – 1.20

Номер задачи	Скорость падения $v_0$ , м/с	Плотность шара $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Температура воды $T$ , °С
1.11	$8 \cdot 10^{-3}$	1350	30
1.12	$9 \cdot 10^{-3}$	1350	40
1.13	$10 \cdot 10^{-2}$	1350	50
1.14	1,06	2650	8,0
1.15	1,63	2650	8,0
1.16	$0,47 \cdot 10^{-2}$	7000	50
1.17	$1,6 \cdot 10^{-2}$	1350	40
1.18	$3 \cdot 10^{-2}$	1350	20
1.19	$4 \cdot 10^{-2}$	1350	30
1.20	0,40	4400	30

### 1.2. Задачи на расчет конечной скорости стесненного падения тел

В задачах 1.21 – 1.30 рассчитать конечную скорость стесненного падения шаров заданной плотности и крупности, падающих в трубке заданного размера. Расчет ведется согласно методических указаний [8].

Таблица 1.3

## Условия задач 1.21 – 1.30

Номер задачи	Диаметр $d$ , мм	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Диаметр трубы $D$ , мм	Температура воды $T$ , °С
1.21	5;15;25	1150	30	15
1.22	6;13;25	1150	30	20
1.23	7;12;20	1150	30	10
1.24	10;15;20	1150	30	15
1.25	12;18;25	1150	30	20
1.26	3;13;20;	1150	30	20
1.27	6;18;25	1150	30	15
1.28	5;10;20;	1150	30	20
1.29	5;10;25	1150	30	10
1.30	6;13;20	1150	31	20

В задачах 1.31 – 1.40 рассчитать конечную скорость определить конечную скорость стесненного падения в воде (температура воды 18°C) однородных взвесей из частиц кварца, имеющих размер  $d_s=(1,05+1,1)d_{cp}$  при последовательных значениях объемной концентрации твердого  $\lambda=0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4$ . Значения конечной скорости свободного падения зерен  $v_0$  зерен при заданной крупности приняты по табл.3.6, 3.7 [9], значение  $n$  – по графику 3,8 того же справочника.

Таблица 1.4

Условия задач 1.31 – 1.40

Номер задачи	Крупность $d$ , м	Конечная скорость м/с	Коэффициент $n$
1.31	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$3,5 \cdot 10^{-3}$	4,60
1.32	$9,1 \cdot 10^{-5}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$	4,52
1.33	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-2}$	4,44
1.34	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	4,29
1.35	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	4,06
1.36	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	3,96
1.37	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	3,88
1.38	$2,3 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	3,77
1.39	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	3,54
1.40	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-2}$	3,37

## 2. МАГНИТНОЕ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОБОГАЩЕНИЕ

Магнитное обогащение основано на различии в магнитных свойствах подлежащих разделению минералов. Этот метод широко применяют при обогащении руд черных металлов, доводке концентратов редких и цветных металлов, регенерации сильно-магнитных утяжелителей, удалении железистых примесей.

Суть магнитного метода обогащения в том, что магнитные частицы под воздействием магнитного поля изменяют траекторию своего движения, а немагнитные практически не изменяют.

Электрическое обогащение (электросепарация) основано на различиях в электрических свойствах разделяемых частиц и осуществляется под влиянием электрического поля. Суть метода в том, что в электрическом поле частицы, имеющие различные электрические заряды (лучше разноименные, но это не обязатель-



но) движутся по различным траекториям.

Электрическое обогащение применяют для мелких ( $-5$  мм) сухих сыпучих материалов, обогащение которыми другими методами недостаточно эффективно, экономически невыгодно или неприемлемо с экологической точки зрения.

Электросепарация применяется для доводки черновых концентратов алмазных и редкометалльных руд. Менее распространена электрическая сепарация гематитовых руд, разделение кварца и полевого шпата, обогащение калийных (сильвинитовых) руд, слюды, асбеста, алмазов и некоторых других неметаллических полезных ископаемых. Также электрический метод можно применять для классификации по крупности и обеспыливания.

### 2.1 Задачи на расчет параметров магнитного и электрического обогащения

В задачах 2.1 – 2.10 с учетом динамики движения зерен через магнитное поле рассчитать удельную магнитную силу, необходимую для извлечения зерен в магнитную фракцию. Верхняя подача, криволинейное движение, тихоходный режим. Расчет вести согласно методических указаний [10, 11].

Таблица 2.1

Условия задач 1.1 – 1.10

Номер задачи	Содержание магнитной фракции $\alpha_m$ , %	Радиус барабана (или валька) $R$ , м	Скорость вращения барабана (или валька) $v$ , м/с	Крупность материала $d_0$ , мм	Угол удержания зерен $\alpha$ , град.
2.1	20	0,60	2,0	50-0	90 <sup>0</sup>
2.2	25	0,45	1,5	25-0	85
2.3	30	0,40	2,0	70-0	120
2.4	15	0,50	1,5	30-0	75
2.5	35	0,30	2,5	25-0	100
2.6	18	0,60	1,0	15-0	90
2.7	22	0,40	1,8	10-0	80
2.8	40	0,45	2,0	50-0	60
2.9	20	0,35	1,5	12-0	75
2.10	28	0,40	3,0	20-0	120

В задачах 2.11 – 2.20 рассчитать допустимую (критическую) скорость перемещения руды через магнитное поле при требуемой удельной магнитной силе притяжения и динамике движения исходной руды и магнитной фракции через магнитное поле.

Таблица 2.2

Условия задач 1.11 – 1.20

Номер задачи	Содержание магнитной фракции в исходном материале $\alpha_m$ , %	Радиус барабана (или валька) R, м	Угол удержания зерен $\alpha$ , град.	Крупность исходного материала $d_0$ , мм	Требуемая удельная магнитная сила притяжения $F_{уд}$ , Н/кг
1.11	40	0,6	25	15-0	9,81
1.12	25	0,75	20	50-0	$7,55 \cdot 10^2$
1.13	18	0,4	45	12-0	166,0
1.14	32	0,25	50	25-0	9,81
1.15	38	0,6	60	30-0	30
1.16	20	0,4	90	20-0	10,4
1.17	18	0,45	45	15-0	$8 \cdot 10^2$
1.18	25	0,6	110	70-0	200,0
1.19	40	0,5	55	10-0	$0,5 \cdot 10^2$
1.20	35	0,25	35	25-0	120

В задачах 2.21 – 2.30 рассчитать требуемую электрическую силу для определенного электрического поля. Условия задач приведены в табл. 2.3. (Разделение происходит в поле коренного разряда, а требуется определить силы  $F_z$ ,  $F_{II}$ )

Таблица 2.3

Условия задач 1.21 – 1.30

Номер задачи	Номер части-	Относительная диэлектрическая проницаемость		плотность жемчужности поля $E_z$	Коэффициент неоднородности $c$ , м <sup>-1</sup>
		Частицы $\epsilon_m$	Среды $\epsilon$		
2.21	2	35	1	$1,5 \cdot 10^5$	50
2.22	5	80	1	$4 \cdot 10^5$	30
2.23	3	10	1	$5 \cdot 10^5$	20
2.24	4	40	10	$6 \cdot 10^5$	35
2.25	0,5	25	4	$4 \cdot 10^7$	45
2.26	0,3	12	3	$5 \cdot 10^7$	50
2.27	6,0	32	5	$6 \cdot 10^7$	40
2.28	1,0	45	1	$10^6$	25
2.29	3,0	18	1	$1,5 \cdot 10^6$	50
2.30	0,25	20	1	$2 \cdot 10^6$	20

В задачах 2.21 – 2.30 рассчитать  $\operatorname{tg}\alpha$  и значение угла  $\alpha$ , определяющего траекторию движения в межэлектродном пространстве частиц разной крупности, плотности, электропроводности при свободном падении их в поле коронного разряда в воздушной среде.

Таблица 2.4

Условия задач 1.21 – 1.30

Номер задачи	Крупность частиц $r$ , мм	Плотность частиц $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Относительная диэлектрическая проницаемость частиц $\epsilon_m$	Напряженность поля $E_k$ , В/м
2.31	3,0	2700	10	$2 \cdot 10^5$
2.32	2,5	3000	25	$3,5 \cdot 10^5$
2.33	8,0	4000	80	$4 \cdot 10^5$
2.34	6,0	2700	6	$10^6$
2.35	3,0	5800	35	$1,5 \cdot 10^6$
2.36	3,5	2800	12	$2 \cdot 10^6$
2.37	4,0	5500	42	$3 \cdot 10^6$
2.38	12,0	6500	30	$1,5 \cdot 10^6$
2.39	5,0	7000	32	$2 \cdot 10^7$
2.40	8,0	3200	28	$9 \cdot 10^5$

### 3. РАСЧЕТ КАЧЕСТВЕННО-КОЛИЧЕСТВЕННЫХ СХЕМ ГРАВИТАЦИОННОГО, МАГНИТНОГО И ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ

#### 3.1 Задания на расчет схем гравитационного обогащения

Рассчитать качественно-количественную схему – это значит по имеющимся технологическим показателям рассчитать недостающие показатели для каждого из продуктов. Расчет ведется согласно методических указаний [8, 12, 13].

В заданиях 3.1 – 3.10 необходимо рассчитать качественно-количественную схему гравитационного обогащения горючего сланца. Схема обогащения приведена на рисунке 3.1, исходные данные в таблице 3.1.

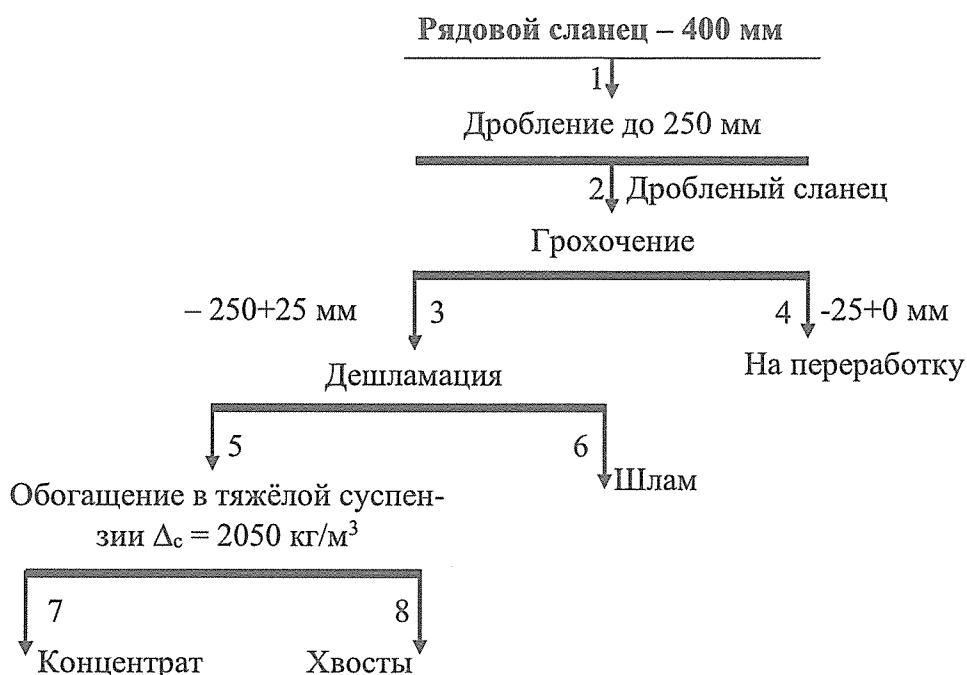


Рис. 3.1

Таблица 3.1

Исходные данные

Номер варианта	$\beta_1$	$\beta_3$	$\gamma_4$	$\gamma_6$	$\beta_6$	$\beta_7$	$\beta_8$	$Q_1$
3.1	23,0	22,5	25,0	10,0	23,4	42,5	5,1	700
3.2	23,5	22,8	24,7	11,0	23,3	42,6	5,2	650
3.3	24,0	23,5	24,5	12,5	23,2	41,8	5,9	600
3.4	23,8	22,7	23,7	10,5	23,8	41,2	6,1	650
3.5	24,4	23,8	25,5	11,9	24,4	43,1	6,2	630
3.6	22,9	22,2	23,5	12,1	23,2	41,1	6,4	850
3.7	23,4	22,4	23,1	12,0	24,1	41,2	6,5	800
3.8	24,2	23,5	24,5	12,5	23,2	41,8	6,1	700
3.8	23,2	22,6	24,6	11,1	23,3	42,6	5,2	740
3.10	24,1	23,4	25,5	11,8	24,4	43,1	6,2	680

В заданиях 3.11 – 3.15 необходимо рассчитать качественно количественную схему гравитационного обогащения золотосодержащей руды. Схема обогащения приведена на рисунке 3.2, исходные данные в таблице 3.2.

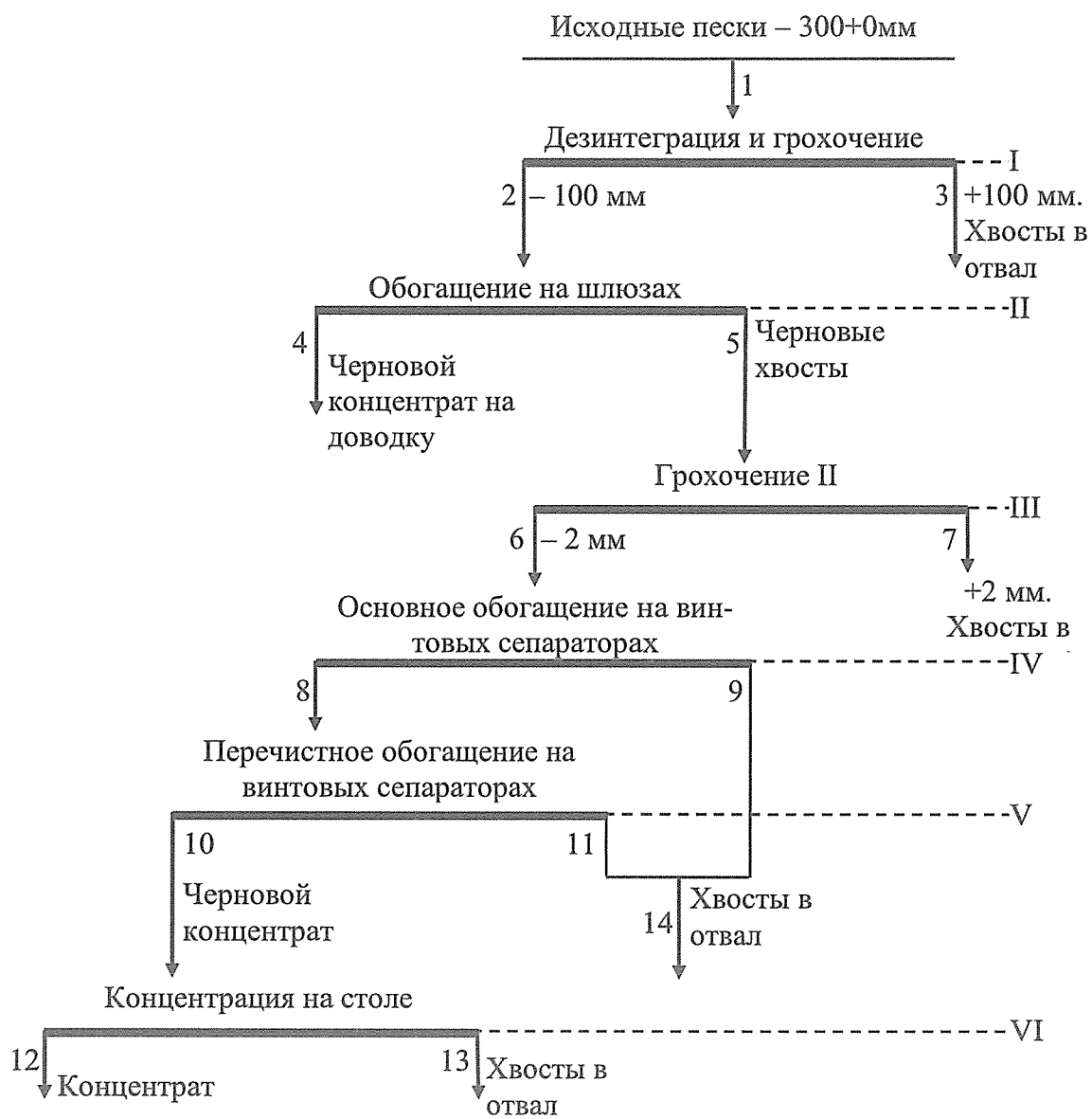


Рис. 3.2

Таблица 3.2

## Исходные данные

Номер варианта	Показатель						
	$\beta_1$	$\beta_2$	$\varepsilon_2$	$\beta_4$	$\varepsilon_4$	$\beta_6$	$\varepsilon_6$
3.11	0,80	1,20	98,50	500,0	70,00	0,85	28,01
3.12	0,85	1,25	98,55	510,0	71,65	0,83	26,81
3.13	0,86	1,26	98,56	515,0	71,55	0,86	26,82
3.14	0,84	1,22	97,50	505,0	71,50	0,87	25,75
3.15	1,05	1,32	98,10	525,0	71,95	0,89	24,01
	Показатель						
	$\beta_8$	$\varepsilon_8$	$\beta_{10}$	$\varepsilon_{10}$	$\beta_{12}$	$\varepsilon_{12}$	$Q_1$
3.11	200,00	26,37	480,0	26,36	1200,0	26,353	100,0
3.12	210,00	26,42	490,0	26,28	1160,0	26,270	110,0
3.13	215,00	26,45	495,0	26,32	1165,0	26,305	115,0
3.14	200,00	25,36	482,0	25,22	1180,0	25,206	112,0
3.15	205,55	23,36	480,0	23,31	1200,0	23,285	118,0

## 3.2 Задания на расчет схем магнитного обогащения

Расчет ведется согласно методических указаний [7, 10, 13].

В заданиях 3.16 – 3.25 – рассчитать технологические показатели схемы магнитного обогащения железной руды, приведенной на рис. 3.3 по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение). Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3

## Исходные данные

Показатель	Номер варианта									
	3.16	3.17	3.18	3.19	3.20	3.21	3.22	3.23	3.24	3.25
$\beta_1$	31,0	30,5	31,0	32,0	31,0	30,0	32,0	32,2	30,0	32,0
$\beta_4$	54,0	53,5	54,0	55,0	54,0	54,0	54,0	55,5	53,0	53,0
$\beta_5$	10,0	10,0	10,0	11,0	10,0	10,0	10,0	11,0	10,5	10,0
$\gamma_9'$	300,0	250,0	300,0	250,0	250,0	300,0	300,0	250,0	260	240
$\beta_{10}$	60,0	60,0	61,0	61,0	61,0	60,0	62,0	61,5	60,0	61,5
$\beta_{11}$	11,0	11,0	11,5	12,0	11,5	11,0	11,5	12,0	11,5	11,5
$\beta_{12}$	65,0	65,0	66,0	66,5	66,0	65,0	67,0	66,8	65,5	66,5
$\beta_{13}$	12,0	12,0	12,5	12,5	12,5	12,0	12,5	12,5	12,5	12,5
$Q_1$	2000	1900	2100	2200	2300	2400	2500	3000	2450	2500

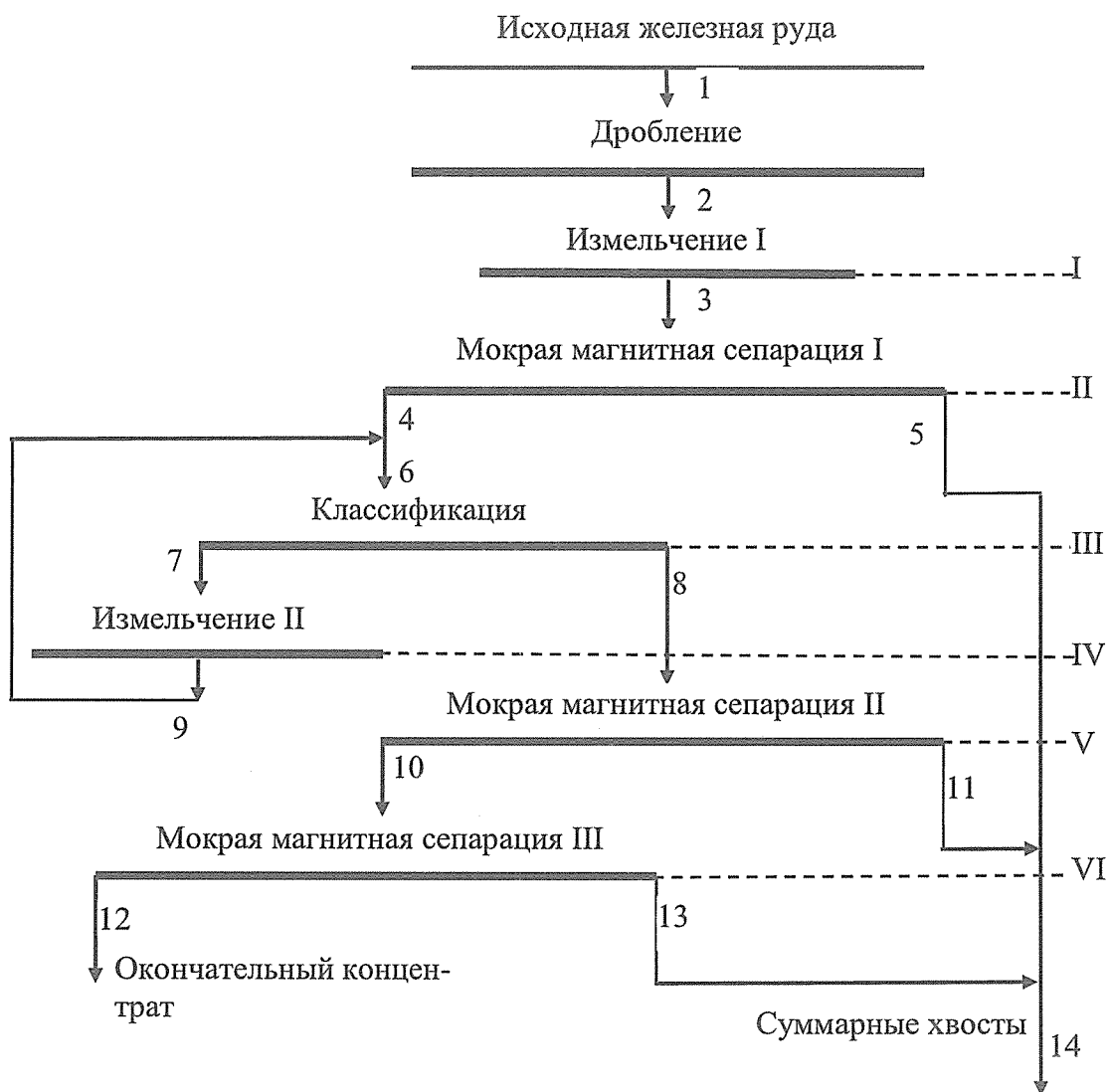


Рис. 3.3 Технологическая схема

### 3.3 Задания на расчет схем флотационного обогащения

Расчет ведется согласно методических указаний [7, 13].

В заданиях 3.26 – 3.35 необходимо рассчитать технологические показатели схемы флотационного обогащения апатитовой руды, приведенной на рис. 3.4 по всем продуктам (производительность, выход, содержание, извлечение). Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.4.

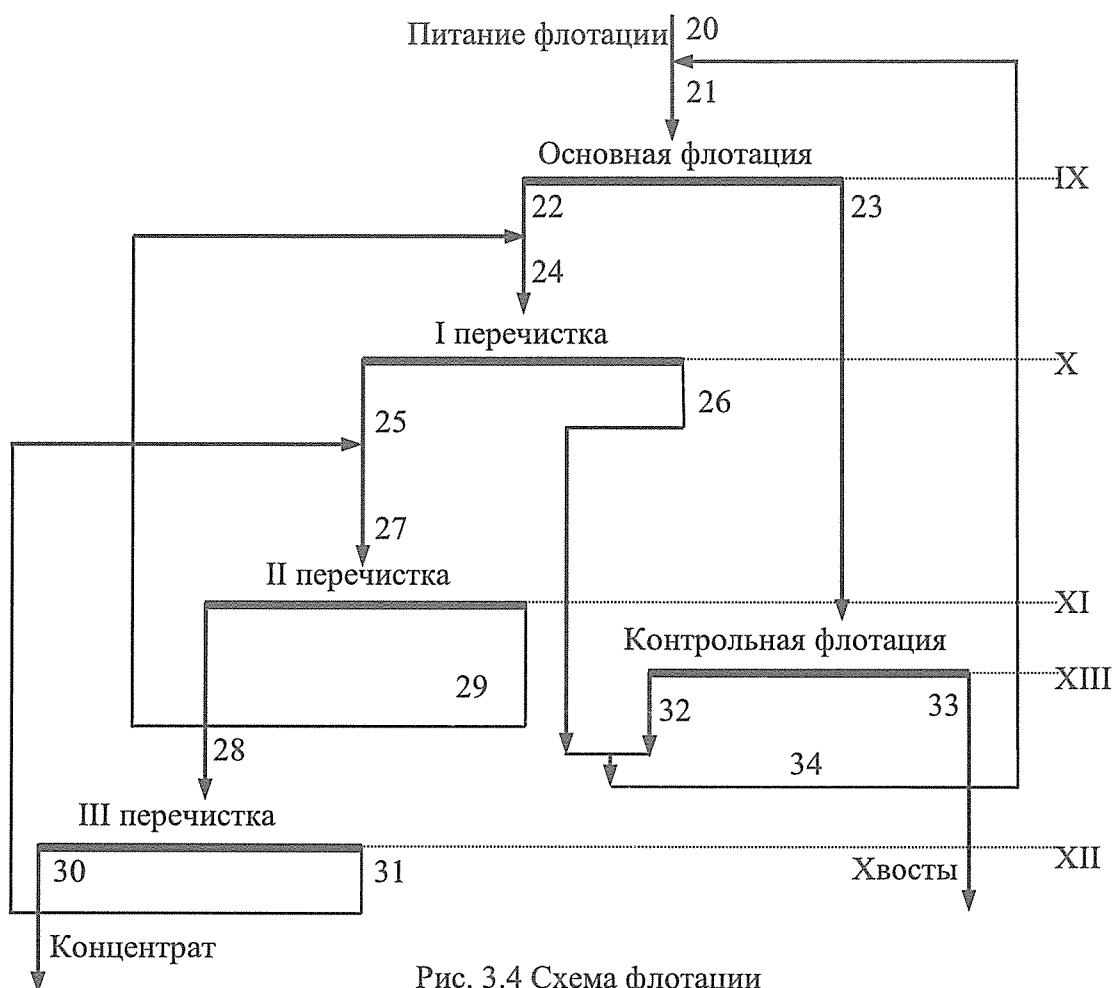


Рис. 3.4 Схема флотации

Таблица 3.4

Исходные данные

Показатель	Номер варианта									
	3.26	3.27	3.28	3.29	3.30	3.31	3.32	3.33	3.34	3.35
$\beta_{20}, \%$	13,00	13,40	13,30	13,40	13,50	13,60	13,70	13,29	13,39	13,49
$\varepsilon_{20}, \%$	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
$\beta_{22}, \%$	34,80	34,81	34,82	34,83	34,84	34,85	34,86	34,54	34,55	34,56
$\varepsilon_{22}, \%$	143,95	143,98	143,98	144,00	144,02	144,04	144,06	143,96	143,98	144,00
$\beta_{25}, \%$	37,20	37,20	37,21	37,22	37,23	37,24	37,25	37,21	37,22	37,23
$\varepsilon_{25}, \%$	250,62	250,65	250,66	250,68	250,70	250,72	250,74	250,65	250,66	250,68
$\beta_{28}, \%$	38,30	38,30	38,30	38,31	38,32	38,33	38,34	38,30	38,31	38,32
$\varepsilon_{28}, \%$	116,80	116,90	116,92	116,94	116,96	116,98	117,00	116,90	116,92	116,94
$\beta_{30}, \%$	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00	39,00
$\varepsilon_{30}, \%$	92,50	92,51	92,52	92,53	92,54	92,55	92,56	92,52	92,53	92,54
$\beta_{32}, \%$	11,00	11,00	11,05	11,06	11,07	11,08	11,09	11,05	11,07	11,06
$\varepsilon_{32}, \%$	9,89	9,91	9,92	9,93	9,94	9,95	9,96	9,92	9,94	9,96
$Q_{20}, \text{т/ч}$	2500	2600	2700	2400	2300	2450	2550	3000	2800	2900



#### 4. РАСЧЕТ ВОДНО-ШЛАМОВЫХ СХЕМ ГРАВИТАЦИОННОГО, МАГНИТНОГО И ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ

Расчитать водно-шламовую схему это значит определить количество воды в каждой операции и продукте; необходимое количество воды, добавляемое в конкретную операцию. Разжижения, влажности или содержания твердого в отдельных операциях и продуктах выбираются по литературным источникам, либо задаются по данным практики. Расчет ведётся согласно методическим указаниям [7, 12, 13].

##### 4.1 Задания на расчет водно-шламовых схем гравитационного обогачения

В заданиях 4.1 – 4.10 необходимо рассчитать водно-шламовую схему гравитационного обогачения. Составить баланс воды. Схемы приведена на рисунке 3.1 (раздел 3).  $M$  – влажность продукта,  $Q_1$  – производительность по исходному продукту. Плотность тяжелой суспензии принять  $2100 \text{ кг/м}^3$ , плотность утяжелителя (ферросилиций)  $6800 \text{ кг/м}^3$ . Производительность по исходному продукту принять по таблице 3.1, по остальным продуктам согласно расчёту, произведенному ранее – раздел 3, расчет схемы 3.1. Остальные необходимые для расчета данные принять по литературным источникам. Исходные данные приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные

Номер варианта	Влажность продукта, %		
	$M_1$ , %	$M_3$ , %	$M_5$ , %
4.1	4,0	3,5	45,0
4.2	4,1	3,5	45,1
4.3	4,2	3,6	45,2
4.4	4,3	3,6	45,5
4.5	4,4	3,7	45,6
4.6	4,2	3,6	45,0
4.7	4,4	3,7	45,2
4.8	4,3	3,6	45,3
4.9	4,1	3,4	45,1
4.10	4,0	3,4	44,8

#### 4.2 Задания на расчет водно-шламовых схем магнитного обогащения

В заданиях 4.11 – 4.20 рассчитать водно-шламовую схему (сх. рис. 3.3, раздел 3) магнитного обогащения. Составить баланс воды.  $M$  – влажность продукта,  $S$  – содержание твердого (римскими цифрами в операции, арабскими – в продукте). Производительность по исходному продукту принять по таблице 3.3 (раздел 3), по остальным продуктам согласно расчёту, произведенному ранее – раздел 3, расчет схемы 3.3. Остальные необходимые для расчета данные принять по литературным источникам. Исходные данные приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Исходные данные

Показатель	Номер варианта									
	4.11	4.12	4.13	4.14	4.15	4.16	4.17	4.18	4.19	4.20
$M_1 = M_2, \%$	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,1	3,8	3,9	4,0
$S_I, \%$	65	70	75	68	73	78	72	77	68	74
$S_{II}, \%$	45	50	55	48	49	52	51	47	53	51
$S_4, \%$	60	62	65	61	62	63	61	60	62	62
$S_7, \%$	61	62	65	62	61	62	62	62	61	63
$S_8, \%$	40	41	43	41	40	41	41	41	40	42
$S_V, \%$	43	48	52	46	47	50	50	45	47	49
$S_{10}, \%$	59	60	63	60	61	62	60	59	61	61
$S_{VI}, \%$	42	47	51	45	46	49	50	44	46	48
$S_{12}, \%$	58	60	62	60	60	61	60	58	60	60
$Q_1$	2000	1900	2100	2200	2300	2400	2500	3000	2450	2500

#### 4.3 Задания на расчет водно-шламовых схем флотационного обогащения

В заданиях 4.21 – 4.30 рассчитать водно-шламовую схему флотационного обогащения (рис. 3.4, раздел 3). Составит баланс воды. Производительность по продукту обозначена –  $Q_i$ , т/ч, разжижение в продукте или операции  $R_i$  (римскими цифрами в операции, арабскими – в продукте). Исходные данные приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

## Исходные данные

№ про- дукта или опе- рации	Вариант №...									
	4.21		4.22		4.23		4.24		4.25	
	Q	R	Q	R	Q	R	Q	R	Q	R
I		3,00		3,1		3,00		3,05		3,14
1	2500,0	1,95	2600,0	1,96	2400,0	1,95	2550,0	1,96	2650,0	1,98
3	1344,5	1,40	1398,3	1,4	1290,8	1,40	1371,4	1,42	1425,2	1,42
II		2,30		2,32		2,30		2,33		2,33
6	2189,6	1,30	2277,1	1,31	2102,0	1,30	2233,3	1,31	2320,9	1,31
IV		4,06		4,23		4,06		4,13		4,28
13	292,2	2,50	303,9	2,51	280,5	2,50	298,0	2,51	309,7	2,51
III		2,10		2,11		2,10		2,12		2,12
9	991,1	1,20	1030,8	1,21	951,5	1,20	1010,9	1,22	1050,6	1,22
V		2,30				2,30		2,31		2,35
11	770,8	1,10	801,7	1,11	740,0	1,10	786,3	1,11	817,1	1,15
	Вариант №...									
	4.26		4.27		4.28		4.29		4.30	
I		3,17		3,16		3,18		3,20		3,11
1	2350,0	1,98	2450,0	1,97	2400,0	1,93	2400,0	1,91	2600,0	1,99
3	1263,9	1,45	1317,7	1,45	1290,8	1,47	1290,8	1,50	1398,3	1,53
II		2,33		2,34		2,34		2,35		2,38
6	2058,2	1,31	2145,8	1,31	2102,0	1,31	2102,0	1,35	2277,1	1,35
IV		4,31		4,30		4,32		4,33		4,16
13	274,7	2,55	286,4	2,52	280,5	2,52	280,5	2,55	303,9	2,55
III		2,15		2,13		2,13		2,15		2,13
9	931,7	1,22	971,3	1,22	951,5	1,22	951,5	1,22	1030,8	1,22
V		2,35		2,33		2,33		2,33		2,33
11	724,6	1,14	755,4	1,15	740,0	1,17	740,0	1,17	801,7	1,18

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: учебник для вузов. В 3 т. – 2 из-е., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – Т. I. Обоганительные процессы и аппараты. – 470 с.

2. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: учебник для вузов. В 3 т. – 2 из-е., стер. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2004. – Т. II. Технология обогащения полезных ископаемых. – 510 с.

3. Авдохин В.М. Основы обогащения полезных ископаемых. Том 1. Обоганительные процессы: Учебник. – 4-е изд. – 2016, 417 стр.

4. Авдохин В.М. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых. Т.2. Технология обогащения: Учебник. – 4-е изд. – 2017, 312 стр.

5. Обогащение полезных ископаемых. Учебник / Т.Н. Александрова, В.Б. Кусков, В.В. Львов, Н.В. Николаева. РИЦ Национального минерально-сырьевого университета «Горный», Заказ 503. С 144 (ISBN 978-5-94211-731-3), 2015, 530 с. [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=33%2E4%D1%8F73%2F%D0%9E%2D21%2D667610266<.>)

6. Обогащение полезных ископаемых: учеб. пособие / К.И. Лукина, В. П. Якушкин, А. Н. Муклакова. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 224 с. — (Высшее образование: Специалитет). <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=561064>

7. Кармазин В.И. Расчеты технологических показателей обогащения полезных ископаемых. Автор: В.И. Кармазин, И. К. Младецкий, П. И. Пилов – 2009. 221 с.

8. Гравитационные методы обогащения [Текст]: метод. указания к практ. занятиям / [сост.: В. Б. Кусков, Я. В. Кускова]. - Санкт-Петербург: С.-Петерб. горный университет, 2017. - 85, [2] с.: ил. - Библиогр.: с. 85 (2 назв.).

9. Справочник по обогащению руд. Подготовительные процессы. Изд. 2-е, переработанное и дополненное. М. Недра, 1982. — 367 с.

10. Кармазин В.В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых [Электронный ресурс]: учеб. / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. — Электрон. дан. — Москва : Горная книга, 2005. — 669 с.

11. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения. Методические указания к практическим занятиям. / Сост. Львов В.В., Николаева Н.В. — СПб.: ЛЕМА, 2018, — 66 с.

12. Кусков В.Б., Кускова Я.В. Гравитационные методы обогащения. Методические указания по курсовому проектированию для студентов специальности 21.05.04 / РИЦ Санкт-Петербургского горного университета. Заказ 608. С. 169. 2017 г., 46 с.

13. Федотов К.В., Никольская Н.И. Проектирование обогатительных фабрик. Уч-к для ВУЗов, 2-е изд., М. 2014, 533 с. Федотов, К.В. Проектирование обогатительных фабрик [Электронный ресурс]: учеб. / К.В. Федотов, Н.И. Никольская. — Электрон. дан. — Москва: Горная книга, 2014. — 536 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72717>.