**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
«15» 05 2026 г.

# ГРАВИТАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБОГАЩЕНИЯ

Методические указания по выполнению самостоятельных работ для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело, профиль «Обогащение полезных ископаемых»

Курск 2026

УДК 551

Составитель: Л.А. Семенова

Рецензент
Кандидат географических наук, доцент Р.А. Попков

**Гравитационные методы обогащения**: методические указания по выполнению самостоятельных работ для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело»/ Минобрнауки России, Юго-Зап. гос. ун-т; сост. Л. А. Семенова. – Курск, 2026. –18 с.: - Библиогр.: с. 19.

Методические указания предназначены для оказания помощи студенту при выполнении самостоятельной работы. Они включают задания для самостоятельной работы по дисциплине «Гравитационные методы обогащения», темы для изучения дисциплины с использованием различных источников, список рекомендуемой литературы, контрольные вопросы для самопроверки.

Методические указания подготовлены на кафедре «Экспертиза и управление недвижимостью, горного дела» и предназначены для самостоятельной работы студентов, обучающихся по направлению 21.05.04 «Горное дело».

Текст печатается в авторской редакции
Подписано в печать 15.05.26 Формат 60х84 1/16
Усл. Печ. Лист 1,05 Уч.-изд.л. 0,95 Тираж 100экз. Заказ 490 Бесплатно
Юго-Западный государственный университет.
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94

**Содержание**


| | | |
|---|---|---|
| **1** | **Введение** | 4 |
| **2** | **Тематический план самостоятельной работы** | 5 |
| 3 | **Методические указания к изучению разделов курса** | 6 |
| 4 | Тема 1. Введение. Понятие гравитационного метода обогащения. Теоретические основы и классификация гравитационных процессов | 9 |
| 5 | Тема 2. Гидравлическая классификация. Машины и аппараты. Расслоение частиц в пульсирующем потоке воды. Отсадка | 12 |
| 6 | Тема 3. Обогащение в безнапорной струе воды, текущей по наклонной плоскости. Обогащение в тяжелых средах. Тяжелые жидкости и суспензии | 15 |
| **8** | **Список литературы** | **18** |
| | Формируемые компетенции | 19 |

## Введение

Цель организации самостоятельной работы - обеспечение качественного и эффективного обучения в соответствии с требованиями действующих государственных образовательных стандартов, что достигается непрерывной и дискретной учебной работой студента по освоению программ отдельных учебных дисциплин.

Изучение дисциплины «Гравитационные методы обогащения»» предполагает формирование у обучающихся базовых знаний в области обогащения полезных ископаемых, подготовка выпускников к решению профессиональных задач, связанных с вопросами обогащения полезных ископаемых.

**Целью** самостоятельной работы обучающихся является углубление и закрепление знаний, умений и навыков, полученных обучающимися в рамках аудиторных занятий в рамках изучаемой дисциплины, побуждение к творческой деятельности.

СРС позволяет реализовать следующие функции: систематизация и закрепление полученных теоретических знаний, практических умений и навыков обучающихся; углубление и расширение теоретических знаний; формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации; формирование умений использовать нормативную, правовую и специальную литературу; развитие познавательных способностей и активности обучающихся.

Задачи организации СРС обучающихся: обеспечить единство, непрерывности целостность образовательного процесса на всех этапах его осуществления; освоить содержание основных положений учебного курса в процессе подготовки к аудиторным занятиям; научится использовать материал, собранный в ходе и полученный в ходе аудиторных и самостоятельных занятиях;

**Тематический план самостоятельной работы**

Тематический план самостоятельной работы студентов по дисциплине «Гравитационные методы обогащения» представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Тематический план самостоятельной работы студентов

| № п/п | Наименование раздела (темы) дисциплины | Срок выполнения (неделя) | Время, час | Содержание самостоятельной работы |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Тема 1. Введение. Понятие гравитационного метода обогащения. Теоретические основы и классификация гравитационных процессов | 2 | 50 | Составить конспект по теме. Ответить вопросы для самоконтроля. Решить задачи |
| 2 | Тема 2. Гидравлическая классификация. Машины и аппараты. Расслоение частиц в пульсирующем потоке воды. Отсадка | 6 | 50 | Составить конспект. Решить задачи. Ответить вопросы для самоконтроля. |
| 3 | Тема 3. Обогащение в безнапорной струе воды, текущей по наклонной плоскости. Обогащение в тяжелых средах. Тяжелые жидкости и суспензии | 8 | 56,88 | Составить конспект. Решить задачи. Ответить вопросы для самоконтроля. |
| | | **Итого:** | **156,88** | |

**Методические указания к изучению разделов курса**

Общие положения

Самостоятельная работа выполняется во внеаудиторное время по заданию преподавателю, но без его непосредственного участия.

Обучающийся осуществляет самостоятельную работу в соответствии с рабочим учебным планом и программой самостоятельной работы, максимально используя возможности индивидуального, творческого и научного потенциала.

В методических указаниях описываются действия, которые необходимо выполнить студенту в рамках самостоятельной работы, в том числе при подготовке к лабораторным работам, практическим занятиям, выполнения курсового проекта, подготовки реферата и т.д.

Гравитационные методы обогащения занимают ведущее место (наряду с флотационными и магнитными) среди других методов обогащения.

Гравитационными методами обогащения называются такие, в которых 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.

Все выполненные работы оформляются в соответствии с правилами оформления, принятыми в Университете.

## Тема 1. Введение. Понятие гравитационного метода обогащения. Теоретические основы и классификация гравитационных процессов

*Вопросы для самопроверки и обсуждения*

1. Дать определения гравитационному методу обогащения полезных ископаемых.

2. Дать классификацию гравитационных процессов обогащения.

3. Назвать область применяется гравитационного обогащения.

4. Назвать преимущества и недостатки гравитационного метода обогащения.

5. Назвать самые распространенные гравитационные процессы.

6. Какие среды используют при гравитационном обогащении?

7. Как можно определить плотность относительно крупных частиц?

8. Как определить плотность мелких частиц?

9. Что такое эквивалентный диаметр частицы по объему и по поверхности?

10. Что такое коэффициент сферичности частицы?

11. Что такое вязкость среды?

12. Как можно определить плотность жидкости?

13. Как определить вязкость жидкости?

14. Что показывает число Рейнольдса?

15. Чему равно число Рейнольдса?

16. Какие основные силы действуют при гравитационном обогащении?

**Задачи.**

**Задача 1.** Принцип гравитационного разделения

- **Условие**: На обогатительной фабрике перерабатывается руда, содержащая золото (плотность 19,3 г/см³) и кварц (плотность 2,65 г/см³). Крупность частиц — от 0,1 до 2 мм.
- **Требуется**

1. Объяснить, **на чём основан гравитационный метод обогащения**.

2. Указать, какие **силы** действуют на частицы в потоке воды (сила тяжести, сила сопротивления среды, подъёмная сила).

3. Описать, как **различие в плотности** минералов влияет на их движение в водной среде.

4. Обосновать выбор **гравитационного оборудования** для данной крупности (например, винтовые желоба, отсадочные машины).

**Задача 2.** Закон свободного осаждения частиц (закон Стокса)

- **Условие**: В воде оседают две сферические частицы одинакового размера: одна из галенита (плотность 7,5 г/см³), другая — из кварца (2,65 г/см³). Диаметр частиц — 0,05 мм.
- **Требуется**

1. Записать **формулу закона Стокса** для скорости свободного осаждения.

2. Объяснить, как **плотность частицы** влияет на её скорость осаждения.

3. Определить, какая частица будет оседать быстрее и во сколько раз (качественно, без расчёта).

4. Указать, при каких **условиях** закон Стокса применим (ламинарный режим, мелкие частицы).

**Задача 3.** Классификация гравитационных процессов

- **Условие**: На фабрике используются различные гравитационные методы: отсадка, винтовые желоба, шлюзы, центробежные концентраторы.
- **Требуется**

1. Указать, по какому **признаку** классифицируются гравитационные процессы (направление движения среды, характер движения частиц, вид силового поля).

2. Определить, в каких аппаратах используется **вертикальное пульсирующее движение воды** (отсадочные машины).

3. Указать, в каких аппаратах разделение происходит в **наклонном потоке** (шлюзы, винтовые желоба).

4. Объяснить, как **центробежная сила** усиливает процесс обогащения в центробежных концентраторах.

**Задача 4.** Влияние крупности и формы частиц

- **Условие**: При гравитационном обогащении наблюдается, что мелкие плотные частицы уносятся вместе с лёгкими, а крупные — переходят в концентрат, даже если содержат мало ценного минерала.
- **Требуется**

1. Объяснить, как **крупность частиц** влияет на эффективность разделения (эффект «крупного лёгкого» и «мелкого тяжёлого»).

2. Указать, как **форма частиц** (угловатая, округлая) влияет на их поведение в потоке.

3. Предложить **мероприятия по оптимизации** процесса (классификация по крупности перед обогащением, контроль степени измельчения).

4. Обосновать необходимость **предварительной классификации** материала перед гравитационным обогащением.

## Тема 2. Гидравлическая классификация. Машины и аппараты. Расслоение частиц в пульсирующем потоке воды. Отсадка

*Вопросы для самопроверки и обсуждения*

1. Гидравлическая классификация

- Что понимается под **гидравлической классификацией**?
- На каком **физическом принципе** основана классификация частиц по крупности в водной среде?
- Какие **факторы** влияют на скорость осаждения частиц (плотность, крупность, форма, вязкость среды)?

- В чём отличие **классификации** от **обогащения**?
- Какие **виды классификации** вы знаете (по направлению потока, по режиму движения)?

2. Машины и аппараты для классификации

- Какие **основные типы классификаторов** применяются на обогатительных фабриках (спиральные, гидроциклоны, гидросепараторы)?
- Как устроен и работает **спиральный классификатор**?
- Каков принцип действия **гидроциклона**?
- Какие **преимущества и недостатки** у гидроциклонов по сравнению со спиральными классификаторами?
- Для каких **крупностей** применяются различные типы классификаторов?

3. Расслоение частиц в пульсирующем потоке воды

- Что такое **пульсирующий поток воды** и как он создаётся?
- Какие **силы** действуют на частицы при пульсации (подъёмная сила, сила тяжести, сопротивление среды)?
- Опишите **стадии пульсационного цикла** (подъём воды, остановка, опускание воды, сжатие слоя).
- Как происходит **расслоение частиц** по плотности и крупности в пульсирующем потоке?
- Как влияет **частота и амплитуда пульсаций** на эффективность расслоения?

4. Отсадка

- Что представляет собой процесс **отсадки** как метод гравитационного обогащения?
- Как устроена и работает **отсадочная машина** (камера, клапан, диафрагма, грохот)?
- Какие **виды отсадочных машин** существуют (по способу создания пульсации: клапанные, диафрагменные, пневматические)?
- Какие **материалы** обогащаются методом отсадки (уголь, руды

чёрных и цветных металлов, нерудное сырьё)?

- Какие **показатели качества** продукта контролируются при отсадке (извлечение, выход, содержание золы или основного компонента)?

5. Применение и оптимизация процессов

- В каких **стадиях обогащения** применяется гидравлическая классификация (предварительная, контрольная, перед флотацией)?
- Как классификация влияет на **эффективность последующих процессов обогащения**?
- Какие **дефекты работы** классификаторов и отсадочных машин могут снижать извлечение?
- Как обеспечивается **равномерная подача пульпы** на оборудование?
- Какие **мероприятия** проводятся для повышения эффективности отсадки (настройка режима пульсации, контроль крупности питания)?

**Задачи**

**Задача 1**. Работа гидроциклона

- **Условие**: На фабрике используется гидроциклон для классификации пульпы перед флотацией. Питание: 60 % класса –0,071 мм. На выходе получают слив (мелкий продукт) и шлам (крупный продукт).
- **Требуется**

1. Объяснить, по какому **принципу** происходит разделение в гидроциклоне (действие центробежных и гидравлических сил).
2. Указать, какой продукт — **слив или шлам** — направляется на флотацию.
3. Описать, как **давление питания** влияет на эффективность классификации.
4. Предложить **меры по регулировке** гидроциклона при ухудшении качества разделения (замена сопла, изменение давления).

**Задача 2.** Настройка отсадочной машины

- **Условие**: Отсадочная машина перерабатывает угольную мелочь

(0–13 мм). Наблюдается повышенное содержание породы в концентрате.

- **Требуется**

1. Описать, как **частота и амплитуда пульсаций** влияют на расслоение частиц.
2. Указать, какой **режим пульсации** следует установить для улучшения разделения (увеличить/уменьшить частоту, амплитуду).
3. Объяснить, как **равномерность подачи питания** влияет на стабильность процесса.
4. Предложить **дополнительные мероприятия** (проверка грохота, контроль влажности пульпы).

**Задача 3.** Анализ продуктов классификации

- **Условие**: На спиральном классификаторе проведён анализ продуктов: в сливе — 85 % класса –0,1 мм, в шламе — 40 % класса +0,5 мм. Питание содержит 60 % класса –0,1 мм.

- **Требуется**

1. Определить, **качественно ли** работает классификатор (по соотношению классов в продуктах).
2. Указать, какой продукт — **слив или шлам** — считается мелким, а какой — крупным.
3. Объяснить, как **угол наклона спирали** влияет на время пребывания материала.
4. Предложить **рекомендации** по улучшению эффективности (регулировка уровня воды, скорость вращения спирали).

**Задача 4.** Сравнение методов обогащения

- **Условие**: Требуется выбрать метод обогащения для руды, содержащей золото в виде крупных включений (0,5–2 мм) в кварцевой жиле.

- **Требуется**

1. Обосновать выбор **отсадки** как метода предварительного обогащения.
2. Объяснить, почему **флотация** может быть неэффективна без

предварительного гравитационного выделения.

3. Описать, как **гидравлическая классификация** может использоваться перед отсадкой.

4. Указать, какие **преимущества** даёт комбинированная схема (гравитация + флотация).

## Тема 3. Обогащение в безнапорной струе воды, текущей по напорной плоскости. Обогащение в тяжелых средах. Тяжелые жидкости и суспензии

*Вопросы для самоконтроля*

1. Обогащение в безнапорной струе воды (шлюзы, винтовые желоба)

- Что представляет собой процесс **обогащения в струе воды, текущей по наклонной плоскости**?
- Какие **силы** действуют на частицы в потоке (сила тяжести, сила трения, сила сопротивления воды)?
- Как происходит **расслоение частиц** по плотности и крупности в шлюзе или на винтовом желобе?
- Какое значение имеет **режим потока** (ламинарный, турбулентный) для эффективности обогащения?
- Как влияют **угол наклона** лотка и **расход воды** на процесс разделения?

2. Шлюзы и винтовые желоба

- Как устроен и работает **плоский шлюз**?
- Каково назначение **напорных реек (рифлей)** в шлюзе?
- Как устроен **винтовой желоб** и в чём его преимущество перед плоским шлюзом?
- Какие **продукты** получаются при обогащении на винтовом желобе (концентрат, хвосты, промпродукт)?
- Для обогащения каких **полезных ископаемых** применяются

шлюзы и винтовые желоба (золото, олово, руды тяжёлых металлов, нерудное сырьё)?

3. Обогащение в тяжёлых средах

- На каком **принципе** основано обогащение в тяжёлых средах?
- Что такое **эффективная плотность суспензии** и как она регулируется?
- Какие **тяжёлые среды** применяются на практике (суспензии магнетита, ферросилиция)?
- Какие требования предъявляются к материалу тяжёлой среды (плотность, зерновой состав, смачиваемость, коррозионная активность)?
- Как происходит **разделение частиц** в тяжёлой среде (всплывают — лёгкие, тонут — тяжёлые)?

4. Аппараты для обогащения в тяжёлых средах

- Как устроены и работают **сепараторы в тяжёлой среде** (батареи конусов, циклоны, ванты)?
- Как обеспечивается **стабильность плотности** суспензии в процессе обогащения?
- Как организована **регенерация и замкнутый цикл** тяжёлой среды?
- Какие **преимущества и недостатки** имеет метод обогащения в тяжёлых средах?
- Для каких **крупностей и видов сырья** применяется данный метод (уголь, руды железа, марганца, алмазов)?

5. Применение и эффективность процессов

- В каких **стадиях обогащения** применяются шлюзы и винтовые желоба (предварительное, доводка)?
- Как влияет **крупность питания** на эффективность обогащения в струе воды?
- Почему обогащение в тяжёлых средах считается **одним из самых точных гравитационных методов**?

- Какие **требования** предъявляются к подготовке питания перед обогащением в тяжёлой среде (классификация, обезвоживание)?
- Какие **экологические и экономические аспекты** необходимо учитывать при использовании тяжёлых сред?

**Задачи**

**Задача 1.** Обогащение на винтовом желобе

- **Условие**: На винтовом желобе обогащается золотосодержащее сырьё крупностью 0,1–2 мм. Плотность золота — 19,3 г/см³, кварца — 2,65 г/см³. Наблюдается унос частиц золота в хвосты.
- **Требуется**

1. Объяснить, какие **факторы** могут привести к потере золота (излишний расход воды, большой угол наклона, недостаточная вязкость потока).
2. Указать, как **режим подачи пульпы** (равномерность, концентрация) влияет на расслоение.
3. Предложить **меры по оптимизации** процесса (уменьшение угла наклона, снижение расхода воды, проверка износа желоба).
4. Описать, как **форма частиц золота** (пластинчатая, округлая) влияет на их движение в потоке.

**Задача 2.** Работа шлюза с напорными рейками

- **Условие**: В шлюзе для извлечения олова (касситерит, плотность 6,8–7,1 г/см³) из россыпного материала используются напорные рейки (рифли). Через рейки просачивается часть ценных частиц.
- **Требуется**

1. Объяснить, какую **функцию выполняют напорные рейки** (создание зон завихрения, удержание тяжёлых частиц).
2. Указать, как **высота и шаг реек** влияют на эффективность улавливания.
3. Предложить **рекомендации по настройке** шлюза (оптимальный расход воды, угол наклона, частота чистки реек).

4. Описать, почему **мелкие плотные частицы** могут быть утеряны при высокой скорости потока.

**Задача 3.** Обогащение в тяжёлой среде (суспензия ферросилиция)

- **Условие**: На фабрике по обогащению угля применяется сепарация в тяжёлой среде с плотностью 1,45 г/см³. Уголь имеет плотность 1,3 г/см³, пустая порода — 2,2–2,5 г/см³.
- **Требуется**

1. Определить, какие частицы будут **всплывать**, а какие — **тонуть** в данной среде.

2. Указать, как **стабильность плотности суспензии** влияет на точность разделения.

3. Объяснить, зачем необходима **регенерация тяжёлой среды** и как она осуществляется (гидроциклоны, магнитные сепараторы).

4. Перечислить **преимущества** данного метода по сравнению с другими гравитационными процессами (высокая точность, возможность автоматизации).

**Задача 4.** Выбор метода обогащения для алмазов

- **Условие**: На россыпной алмазной фабрике требуется выделить алмазы (плотность 3,5 г/см³) из песчано-гравийной смеси (плотность 2,6–2,7 г/см³). Крупность алмазов — 0,5–5 мм.
- **Требуется**

1. Обосновать выбор **обогащения в тяжёлой среде** как основного метода.

2. Указать, какая **плотность суспензии** необходима для эффективного разделения (например, 2,8–3,0 г/см³).

3. Описать, почему **гравитационные методы** (шлюзы, винтовые желоба) могут использоваться на предварительных стадиях.

4. Объяснить, как **форма и поверхность алмазов** (гладкие, гидрофобные) влияют на их поведение в потоке и среде.

## Список литературы

1. Верхотуров М.В. Гравитационные методы обогащения: учеб, для вузов - М.: МАКС Пресс, 2006. 352 с. http://nashaucheba.ru/v5185/верхотуров_м.в._гравитационные_методы_обогащения.

2. Пилов П.И. Гравитационная сепарация полезных ископаемых. 2010 г. 127 с. http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-gravitacionnaya-separaciya-poleznyh-iskopaemyh.pdf или http://pdf.knigi-x.ru/21metodichka/178100-1-gravitacionnaya-separaciya-poleznih-iskopaemih-uchebnoe-posobie-dlya-studentov-obuchayuschihsya-specialnosti-obogasche.php

3. Федотов К.В. Проектирование обогатительных фабрик. / К.В. Федотов, Н.И. Никольская. Уч-к для ВУЗов, 2-е изд., М. Горная книга, 2014. — 536 с. — Ре-жим доступа: https://e.lanbook.com/book/72717.

4. Кусков В.Б., Кускова Я.В. Гравитационные методы обогащения. Метод. указания к практическим занятиям для студентов специальности 21.05.04 / РИЦ Санкт-Петербургского горного университета. Заказ 46. С. 4. 2017 г., 87 с.

5. Кусков В.Б., Кускова Я.В. Гравитационные методы обогащения. Мето-дические указания к лабораторным работам. / РИЦ Санкт-Петербургского горного университета. Заказ 607. С.168. 2017 г., 72 с.

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

**Формируемые компетенции**

ПК-10.1 - Выбирает основные технологические параметры эффективного и экологически безопасного производства работ по переработке и обогащению минерального сырья на основе знаний принципов проектирования технологических схем обогатительного производства;

ПК-10.2 - Рассчитывает основные технологические параметры эффективного и экологически безопасного производства работ по переработке и обогащению минерального сырья