



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
СОВРЕМЕННЫЕ ИОНООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЕТАЛЛУРГИИ**

**Направление  
подготовки**

**22.04.02 Metallurgy**

**Название магистерской  
программы**

**Внедрение инновационных технологий на  
металлургических предприятиях**

**Уровень высшего образования**

**Магистратура**

*(бакалавриат, специалитет, магистратура)*

Рассмотрено на заседании кафедры Metallurgy  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

Коллектив разработчиков:

№ п/п	ФИО	Уч. степень, уч. звание
1	Тимофеев К.Л.	Канд. техн. наук

Задания и методические указания к выполнению практических работ составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Современные ионообменные процессы в металлургии»

Практические занятия по дисциплине предусмотрены в объеме 30 часов (заочная форма обучения). Они имеют целью под руководством преподавателя на практике закрепление обучающимися, полученных на лекциях теоретических знаний.

### Заочная форма обучения

Код раздела, темы	Тема занятия	Время на проведение занятия (час.)
1	Определение коэффициентов распределения и разделения для различных сорбентов	2
2	Расчет коэффициентов сорбции по модельным уравнениям	2
	Определение механизма и лимитирующей стадии ионного обмена	2
3,4	Сорбционная очистка стоков медно-цинкового рудника	2
	Определение динамической емкости и селективности сорбентов к извлекаемым примесям	2
5	Расчет ионообменной колонны по заданным характеристикам	4
6	Определение емкости экстрагента, коэффициентов распределения/разделения и селективности	4
7	Определение оптимального числа ступеней экстракции и требуемых объемов экстрагента	8
8	Выбор и расчет аппаратов для экстракции: экстрактор пульсационного типа с насадкой КРИМЗ, экстрактор смеситель-отстойник	4

**Всего:** 30

Практические работы по дисциплине направлены на углубленное изучение теоретического материала и на приобретение умения, навыков и опыта проведения эксперимента, расчета оборудования для ионообменных процессов, анализа и обработки его результатов.

С целью оценки уровня освоения материала по каждой работе составляется отчет, на основании которого проводится защита работы.

Практические работы являются основной формой организации учебного процесса, направленной на формирование практических умений для решения профессиональных задач.

Дидактической целью практических работ является формирование аналитических умений, необходимых для изучения дисциплины и последующих дисциплин учебного плана.

Дидактическая цель способствует формированию умений и навыков:

- по работе с технической литературой и нормативными документами;
- по оформлению отчетных документов в соответствии с ГОСТ;
- по использованию информационных технологий;
- по анализу процессов, событий, явлений для проектирования своей профессиональной деятельности.

Содержание практической работы определяется требованиями к результатам освоения дисциплины.

В процессе подготовки и проведения практической работы студентам рекомендуется придерживаться следующей методике, состоящей из четырех этапов.

На первом этапе следует подготовить вопросы, которые возникли у студентов в процессе изучения теории. Предварительно рекомендуется обсудить вопросы в группы студентов, характеризуя основные положения теории. Это приучает студентов к четкости и последовательности формирования вопроса и логичности ответа.

На втором этапе целесообразно проверить соответствие ответа теоретическому материалу.

Третий этап предполагает практическое решение теоретической задачи в соответствии с методикой теоретического описания проведения опыта и расчета оборудования для ионообменных процессов, используя существующие типичные примеры. Целью этапа является применение математического метода решения задачи по теме занятия.

Четвертый этап является завершением практического занятия. На этом этапе студенты оформляют отчет о проделанной работе.

При выполнении фронтальной работы студенты группы выполняют одновременно одну практическую работу по единому плану.

При выполнении индивидуальной работы студенты группы выполняют разные задания по содержанию и плану практической работы. К такой форме прибегают при различном уровне подготовки студентов и надлежащем изучении теоретического материала.

Практическая работа предусматривает максимальную самостоятельность, предусматривающую выполнение работы, оформление в соответствии с ГОСТ, интерпретация результатов.

### **Практическая работа № 1.**

**Тема:** Определение коэффициентов распределения и разделения для различных сорбентов

*Тип практического задания* – расчетная работа.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

- как определяются коэффициенты распределения и разделения;
- в чем отличие указанных параметров;
- как определяется ряд сродства.

*Практическое задание* (на основе исходных данных по концентрации элементов в исходных растворах и после сорбции и расходу сорбента):

- рассчитать значения статической обменной емкости;
- рассчитать коэффициенты распределения;
- рассчитать коэффициенты разделения;
- построить ряд сродства сорбента к извлекаемым ионам;
- сделать выбор сорбента для извлечения ценного компонента – цветные/редкие металлы.

*Результатом успешного выполнения практического задания* считается правильный расчет указанных величин, построение ряда сродства сорбента к извлекаемому элементу.

## Практическая работа №2

**Тема:** Расчет коэффициентов сорбции по модельным уравнениям. Определение механизма и лимитирующей стадии ионного обмена

*Тип практического задания* – расчетная работа.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

- понятие лимитирующей стадии;
- отличие внешне, внутридиффузионного и кинетического режимов при сорбции;
- понятие коэффициентов внутренней и внешней диффузии;
- признаки смешанодиффузионного режима.

*Практическое задание* (на основе исходных данных по исходной концентрации и изменении равновесной концентрации во времени при различных температурах):

- определить статическую обменную емкость;
- построить график зависимости степени ионного обмена от времени;
- произвести математическую обработку полученной кривой, используя уравнения внешней, внутренней диффузии и химической кинетики;
- рассчитать коэффициенты внешней и внутренней диффузии и константы скорости в модельных уравнениях химической кинетики;
- по коэффициенту корреляции определить лимитирующую стадию процесса сорбции;
- графическим методом определить энергию активации процесса, подтвердив (или опровергнув) выбранную лимитирующую стадию

*Результатом успешного выполнения практического задания считается* правильное определение лимитирующей стадии ионного обмена и выбор ионообменной смолы, обладающей наилучшими кинетическими характеристиками для извлечения элемента.

## Практическая работа №3

**Тема:** Сорбционная очистка стоков медно-цинкового рудника

*Тип практического задания* – кейс.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

- рациональный выбор сорбента для очистки от тяжелых металлов;
- выбор реагентов для регенерации;
- переработка промывочных вод ионообменных смол.

*Ситуационное задание*

Горнорудному предприятию цветной металлургии «РОСПРИРОДНАДЗОР» выписал предписание по исключению сброса загрязненных вод в водоем, относящийся к категории рыбохозяйственного назначения.

Объем стока предприятия составляет 1 млн.м<sup>3</sup>/год, и формируется за счет подотвальных (100 тыс. м<sup>3</sup>) и шахтных вод (900 тыс. м<sup>3</sup>). Основные загрязняющие примеси – катионы цветных металлов, железо и мышьяк (таблица 1).

Таблица 1 – Химсостав шахтных и подотвальных вод

Наименование	рН	Содержание							
		Cu	Zn	Fe	As	Al	Ca	Mg	Cd
Шахтные воды, мг/дм <sup>3</sup>	5,5-7,5	0,5-5	1-40	0,5-2	0,05-0,2	0,1-1	300	100	0,1-0,5
Подотвальные воды, г/дм <sup>3</sup>	2,0-2,5	1-4	2-5	3-10	0,5-2	3-4	0,5	0,3	0,1-0,2

На предприятии действует старая станция нейтрализации (1960 год), на которой очистку смеси подотвальных и шахтных вод производят гашеной известью, после чего нейтрализованный раствор сбрасывают в 4 прудка (V=70-100 тыс. м<sup>3</sup>) для отстаивания.

Состав очищенной воды сезонный и варьируется в зависимости от времени года (таблица 2).

Таблица 2 – Химсостав очищенной воды

Период	рН	Содержание, мг/дм <sup>3</sup>								
		Cu	Zn	Fe	As	Al	Ca	Mg	Cd	взвешенные вещества
Зима (ноябрь-апрель)	9,5-12,0	0,001-0,1	0,01-0,1	<0,1	<0,05	0,01-0,1	300	100	0,01-0,1	<3
Лето (май-октябрь)	6,3-8,0	0,1-1,5	0,5-20	<0,1	<0,05	0,01	300	100	0,05-0,8	<3
ПДК	6,5-8,5	0,001	0,01	0,1	0,05	0,04	180	40	0,005	-

Техническими специалистами предприятия разработана новая технологическая схема очистки вод до нормативов ПДК. Данная схема представлена ниже.

**Задание для группы:**

- 1) Выявить недостатки указанной схемы
- 2) Указать недостающие и необходимые стадии
- 3) Предложить изменения технологической схемы

4) Какие параметры и данные необходимо иметь для расчета оборудования и проектирования

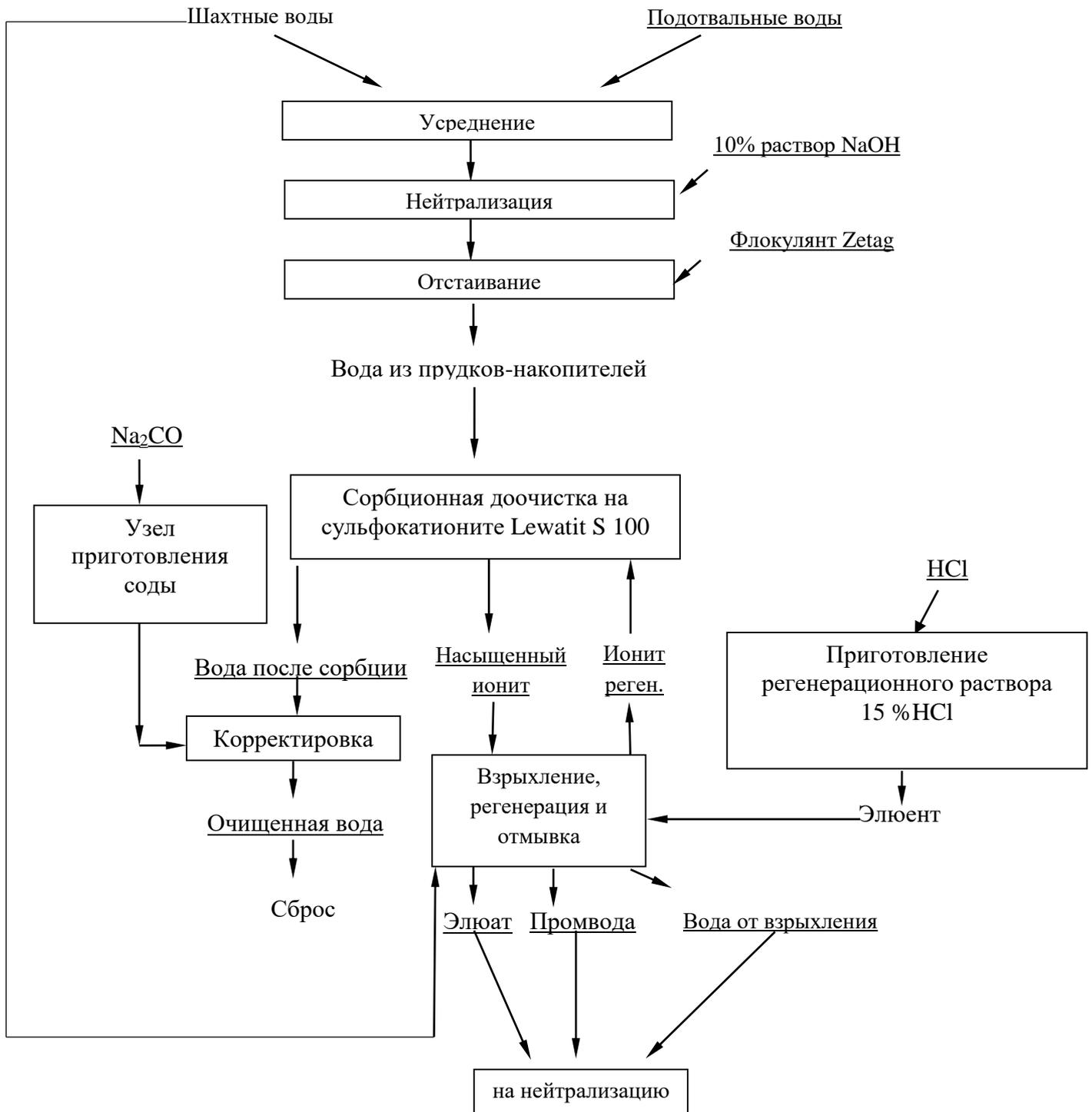


Рис. Технологическая схема очистки шахтных и подотвальных вод

Результатом успешного выполнения ситуационного задания считается правильное, проанализированное и доказанное решение предложенной в кейсе ситуации.

#### **Практическая работа №4**

**Тема:** Определение динамической емкости и селективности сорбентов к извлекаемым примесям

*Тип практического задания* – расчетная работа.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

- понятие динамической и полной динамической обменной емкости сорбента;
- основной критерий выбора ионита;
- отличие статической и динамической обменной емкости.

*Практическое задание* (на основе исходных данных по концентрации элементов в растворах до и после их фильтрования через слой сорбента при различных удельных нагрузках):

- определить динамическую и полную динамическую обменную емкость;
- построить выходную кривую сорбции, определив время до «проскока»;
- определить селективность различных ионитов к извлекаемому элементу;
- определить оптимальную скорость пропускания раствора;
- рассчитать теоретическое требуемое число ступеней сорбции.

*Результатом успешного выполнения ситуационного задания считается* правильное выполнение расчет динамической и полной динамической обменной емкости, корректное построение выходной кривой сорбции и обоснование селективности к примеси

#### **Практическая работа №5**

**Тема:** Расчет ионообменной колонны по заданным характеристикам

*Тип практического задания* – расчетная работа.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

Устные вопросы по теме практического задания:

- понятие динамической и полной динамической обменной емкости сорбента;
- основной критерий выбора ионита;
- отличие статической и динамической обменной емкости.

*Практическое задание* (на основе исходных данных емкости и типа ионита, требуемой производительности установки и концентрации элюента):

- определить требуемый объем сорбента;
- определить количество ступеней сорбции;
- рассчитать время процесса между регенерациями и определить суммарное время работы колонны с учетом регенерации и промывки;
- рассчитать сечение аппарата и требуемую высоту слоя сорбента;
- выбрать оптимальный сорбционный фильтр из каталога стандартизированного оборудования.

*Результатом успешного выполнения ситуационного задания считается* правильно выполненный расчет ионообменной колонны, выбранной в зависимости от расхода и состава подаваемого на сорбцию потока

#### **Практическая работа №6**

**Тема:** Определение емкости экстрагента, коэффициентов распределения/разделения и селективности

*Тип практического задания* – расчетная работа.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

- понятие емкости экстрагента;
- определение коэффициентов распределения и разделения между водной и органической фазой;
- оценка селективности сорбента.

*Практическое задание* (на основе исходных данных по концентрации элементов в исходных растворах и после экстракции, соотношению О:В и доле экстрагента в органической фазе):

- рассчитать значения обменной емкости различных экстрагентов;
- рассчитать коэффициенты распределения;
- рассчитать коэффициенты разделения;
- построить ряд сродства экстрагента к извлекаемым ионам;
- сделать выбор экстрагента для извлечения ценного компонента – цветные/редкие металлы.

*Результатом успешного выполнения ситуационного задания* считается правильный расчет указанных величин, построение ряда сродства экстрагента к извлекаемому элементу

### **Практическая работа №7**

**Тема:** Определение оптимального числа ступеней экстракции и требуемых объемов экстрагента

*Тип практического задания* – расчетная работа.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

- выходная кривая экстракции;
- извлечение элементов в зависимости от соотношения О (органическая фаза):В (водная фаза);
- расчет числа ступеней экстракции.

*Практическое задание* (на основе исходных данных по производительности по перерабатываемому раствору, начальным и конечным концентрациям металлов в водной и органической фазах, коэффициентов распределения, продолжительности стадии экстракции, соотношению О:В, свойств водной и органической сред):

- определить число ступеней экстракции;
- рассчитать предельную нагрузку на пульсационную колонну;
- определить диаметр и высоту насадочной колонны;
- выбрать указанный рассчитанный экстрактор из каталога и обосновать его пригодность.

*Результатом успешного выполнения ситуационного задания* считается правильное построение выходной кривой экстракции и определение по ней количества ступеней экстракции

### **Практическая работа №8**

**Тема:** Выбор и расчет аппаратов для экстракции: экстрактор пульсационного типа с насадкой КРИМЗ, экстрактор смеситель-отстойник

*Тип практического задания* – расчетная работа.

*Устные вопросы по теме практического задания:*

- типы экстракционного оборудования;
- основные принципы выбора экстракторов;
- области применения экстрактора смеситель-отстойник.

*Практическое задание* (на основе исходных данных по производительности по перерабатываемому раствору, начальным и конечным концентрациям металлов в водной и органической фазах, коэффициентов распределения, соотношению О:В, продолжительности стадии экстракции, свойств водной и органической сред):

- определить число ступеней экстракции;
- рассчитать объем и размеры смесительной камеры;
- рассчитать минимальное число оборотов мешалки, обеспечивающее равномерное распределение фаз;
- рассчитать объем и определить габаритные размеры отстойника;

- выбрать указанный рассчитанный экстрактор из каталога и обосновать его пригодность.

*Результатом успешного выполнения ситуационного задания считается* правильный расчет экстрактора по представленным исходным данным характеристик смешиваемых потоков водной и органической фаз