

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего**  
**образования**  
**«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Металлургии цветных металлов (129)»

**УТВЕРЖДЕНА:**  
на заседании кафедры  
Протокол №09 от 09 февраля 2026 г.

**Рабочая программа дисциплины**

**«ТЕОРИЯ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ»**

Направление: 22.03.02 Metallургия

Металлургия цветных, редких и благородных металлов

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной  
подписью  
Составитель программы: Минеева Татьяна  
Султановна  
Дата подписания: 11.06.2026

Документ подписан простой электронной  
подписью  
Утвердил и согласовал: Немчинова Нина  
Владимировна  
Дата подписания: 11.06.2026

Год набора – 2026

Иркутск, 2026 г.

**1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

**1.1 Дисциплина «Теория гидрометаллургических процессов» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения**

| <b>Код, наименование компетенции</b>                                                                                                                | <b>Код индикатора компетенции</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| ПКС-1 Готовность использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, химической кинетики, электрохимии в профессиональной деятельности    | ПКС-1.3                           |
| ПКС-7 Готовность использовать физико-математический аппарат и проводить расчеты для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности | ПКС-7.3                           |

**1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы**

| <b>Код индикатора</b> | <b>Содержание индикатора</b>                                                                                                                   | <b>Результат обучения</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПКС-1.3               | Использует основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса массы применительно к гидрометаллургическим процессам цветной металлургии | <p><b>Знать</b> физико-химические закономерности процессов выщелачивания и выделения металлов из растворов и пульп, направления их совершенствования на основе основных понятий, законов и моделей термодинамики</p> <p><b>Уметь</b> использовать основные понятия, законы и модели термодинамики и химической кинетики для оценки термодинамической вероятности, понимания закономерностей кинетики гидрометаллургических процессов и выполнения физико-химических расчетов.</p> <p><b>Владеть</b> научным пониманием сущности и принципов анализа физико-химических закономерностей процессов, протекающих в гидрометаллургических системах, на основе основных понятий, законов и моделей термодинамики и химической кинетики; - навыками термодинамического анализа и расчёта количественных физико-химических параметров процессов, протекающих в гидрометаллургических системах на основе основных понятий, законов и</p> |

|         |                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         |                                                                       | моделей термодинамики и химической кинетики;<br>современными методами исследования кинетики гидрометаллургических процессов;<br>- представлениями теоретической металлургии применительно к гидрометаллургическим системам                                                                                                                                                                                                                                        |
| ПКС-7.3 | Осуществляет расчеты в области теории гидрометаллургических процессов | <b>Знать</b> математические методы, информативные для физико-химических расчетов в области теории гидрометаллургических процессов.<br><b>Уметь</b> выполнять расчеты термодинамики и кинетики гидрометаллургических процессов с использованием физико-математического аппарата<br><b>Владеть</b> необходимыми знаниями и умением использования физико-математического аппарата при выполнении физико-химических расчетов в теории гидрометаллургических процессов |

## 2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Теория гидрометаллургических процессов» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Аналитическая и физическая химия», «Математика», «Металлургические технологии», «Физика», «Химия»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Металлургия благородных металлов», «Металлургия легких металлов», «Металлургия редких металлов», «Металлургия тяжелых цветных металлов», «Производственная практика: технологическая (проектно-технологическая) практика»

## 3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 4 ЗЕТ

| Вид учебной работы                                      | Трудоемкость в академических часах<br>(Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа) |             |
|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
|                                                         | Всего                                                                                                         | Семестр № 5 |
| Общая трудоемкость дисциплины                           | 144                                                                                                           | 144         |
| Аудиторные занятия, в том числе:                        | 64                                                                                                            | 64          |
| лекции                                                  | 32                                                                                                            | 32          |
| лабораторные работы                                     | 16                                                                                                            | 16          |
| практические/семинарские занятия                        | 16                                                                                                            | 16          |
| Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование) | 44                                                                                                            | 44          |
| Трудоемкость промежуточной аттестации                   | 36                                                                                                            | 36          |

|                                                                    |                          |                                |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| Вид промежуточной аттестации<br>(итогового контроля по дисциплине) | Экзамен, Курсовая работа | Экзамен,<br>Курсовая<br>работа |
|--------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|

#### 4 Структура и содержание дисциплины

##### 4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

##### Семестр № 5

| №<br>п/п | Наименование<br>раздела и темы<br>дисциплины                                              | Виды контактной работы |              |         |              |         |              | СРС                 |              | Форма<br>текущего<br>контроля      |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------|---------|--------------|---------|--------------|---------------------|--------------|------------------------------------|
|          |                                                                                           | Лекции                 |              | ЛР      |              | ПЗ(СЕМ) |              |                     |              |                                    |
|          |                                                                                           | №                      | Кол.<br>Час. | №       | Кол.<br>Час. | №       | Кол.<br>Час. | №                   | Кол.<br>Час. |                                    |
| 1        | 2                                                                                         | 3                      | 4            | 5       | 6            | 7       | 8            | 9                   | 10           | 11                                 |
| 1        | Теория гидрометаллургических процессов-научная основа гидрометаллургического производства | 1                      | 2            |         |              |         |              |                     |              |                                    |
| 2        | Теоретические основы кинетики выщелачивания                                               | 4, 5, 6, 7, 8          | 12           | 1, 2, 3 | 10           | 2, 3    | 6            | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 | 26           | Тест, Отчет по лабораторной работе |
| 3        | Термодинамика процессов выщелачивания                                                     | 2, 3                   | 4            |         |              | 1       | 4            | 4, 7, 8             | 4            | Решение задач                      |
| 4        | Физико-химические основы экстракционных процессов                                         | 9, 10                  | 4            |         |              | 4, 5    | 4            | 7                   | 2            |                                    |
| 5        | Теоретические основы сорбционных процессов извлечения металлов из пульпы и растворов      | 11, 12                 | 4            |         |              | 6       | 2            | 7                   | 2            |                                    |
| 6        | Физико-химические основы процессов выделения металлов в виде малорастворимых соединений   | 13                     | 2            | 4       | 4            |         |              | 3, 5, 6, 7          | 4            | Отчет по лабораторной работе       |
| 7        | Теоретические основы цементации                                                           | 14                     | 2            | 5       | 2            |         |              | 3, 5, 6, 7          | 5            | Отчет по лабораторной работе       |
| 8        | Основы процессов кристаллизация солей металлов из растворов                               | 15                     | 2            |         |              |         |              | 7                   | 1            |                                    |
|          | Промежуточная аттестация                                                                  |                        |              |         |              |         |              |                     | 36           | Экзамен, Курсовая работа           |

|  |       |  |    |  |    |  |    |  |    |  |
|--|-------|--|----|--|----|--|----|--|----|--|
|  | Всего |  | 32 |  | 16 |  | 16 |  | 80 |  |
|--|-------|--|----|--|----|--|----|--|----|--|

#### 4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

##### Семестр № 5

| № | Тема                                                                                      | Краткое содержание                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Теория гидрометаллургических процессов-научная основа гидрометаллургического производства | Гидрометаллургические процессы заключаются в извлечении металлов из руд, концентратов и других минеральных продуктов путём обработки их водными растворами химических реагентов с последующим выделением из раствора металла или его химического соединения. Эти процессы широко используются в производстве цинка, золота, меди, никеля, вольфрама, урана, молибдена, тантала, ниобия и др. металлов.. При таком многообразии схем весьма важно знание общих теоретических основ производства металлов. Опираясь на общие закономерности и принципы, можно легко разобраться в частной технологической схеме производства любого металла. Теория любого процесса включает рассмотрение: термодинамических характеристик процесса, позволяющих определить условия, при которых возможно его осуществление, кинетики и механизма процесса. Как известно, термодинамическая возможность протекания реакции – необходимое, но недостаточное условие для её использования в технологии. Другое условие – приемлемая для практики скорость процесса, поэтому важнейшее значение приобретают кинетические его характеристики, механизм, лимитирующие скорость стадии. По совокупности термодинамических и кинетических данных можно определить научно обоснованные режимы проведения технологических операций, правильно выбрать типы аппаратов и провести их расчёт. |
| 2 | Теоретические основы кинетики выщелачивания                                               | Процесс выщелачивания включает три основные стадии: транспорт растворителя из раствора к поверхности реакции; химическую реакцию; транспорт растворимых продуктов реакции от поверхности в объём раствора. Каждая из этих стадий может состоять из нескольких ступеней. Если сопротивление одной из стадий значительно больше, чем у остальных, она определяет скорость всего процесса и называется лимитирующей. В зависимости от лимитирующей стадии выщелачивание может протекать во внешнедиффузионной, внутريدиффузионной и кинетической областях, каждая из которых характеризуется совокупностью «признаков»                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |

|   |                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                       | <p>(зависимостей скорости от наиболее значимых параметров процесса, выявленных на основе анализа уравнения потока данной стадии). Наиболее совершенным методом экспериментального исследования кинетики растворения является метод вращающегося диска. Знание лимитирующей стадии процесса позволяет обосновать правильный выбор направления его интенсификации. Так, в случае внешнедиффузионной области устранение торможения достигается использованием аппаратов с интенсивным перемешиванием пульпы. Для кинетической области целесообразно использование температурного фактора (вплоть до автоклавного варианта) или повышение энергетического состояния путем механохимического активирования.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| 3 | Термодинамика процессов выщелачивания | <p>Процессы выщелачивания подразделяются на простое растворение и выщелачивание с химической реакцией. Для оценки термодинамической вероятности простого растворения необходимо знание величин энергии гидратации и энергии кристаллической решетки. Если энергия кристаллической решетки минерала невелика, для ее разрушения достаточно энергии гидратации ионов – подобное соединение растворяется в воде; в противном случае энергии гидратации не хватает для разрыва прочной электростатической связи внутри кристалла – необходимо осуществлять химические реакции. Термодинамическая вероятность протекания процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями, определяется знаком и величиной энергии Гиббса. Если <math>\Delta G = 0</math>, то реакция идет в прямом направлении, и чем больше убыль <math>\Delta G</math>, тем полнее равновесие сдвинуто в сторону образования продуктов. Энергия Гиббса связана с константой равновесия реакции <math>\Delta G = -RT \ln K_p</math>, поэтому при самопроизвольном протекании процесса <math>K_p &gt; 1</math>. <math>K_p</math> можно определить расчётным путём по трем вариантам: 1) по известным значениям стандартных термодинамических функций участников реакции; 2) по величинам произведений растворимости исходного твердого вещества и малорастворимого продукта реакции; 3) по значениям электрохимических потенциалов.</p> <p>В целом термодинамика указывает на возможность или невозможность протекания процесса. Окончательный вывод о протекании реакции делают только после изучения кинетики.</p> |

|   |                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 | Физико-химические основы экстракционных процессов                                   | <p>Экстракция – это процесс извлечения соединений металлов из водного раствора в органическую фазу, не смешивающуюся с водой. Используемые в качестве экстрагентов органические соединения подразделяют на нейтральные экстрагенты, образующие координационные связи с извлекаемым ионом, более прочные, чем связи молекул воды с этим ионом, и жидкие ионообменники, способные при контакте с водным раствором к обмену неорганического катиона или аниона, входящих в состав экстрагента, на одноимённый ион из раствора. Нейтральные экстрагенты содержат активные атомы, обладающие электронно-донорной способностью. По типу активного атома различают кислородсодержащие (спирты, эфиры, кетоны, фосфорорганика-ТБФ); азотсодержащие(амины) и серусодержащие(органические сульфиды) экстрагенты. Анионообменные экстрагенты - четвертичные аммониевые основания и их соли-производные иона аммония (например, ТАБАХ). Жидкие катионообменники- органические кислоты жирного ряда, а также хелатообразующие реагенты. Нейтральная экстракция может протекать по оксониевому, сольватному и гидратно-сольватному механизмам. При использовании смеси двух экстрагентов может наблюдаться синергизм - положительные отклонения от аддитивности экстракции.</p> |
| 5 | Теоретические основы сорбционных процессов извлечения металлов из пульп и растворов | <p>В гидрометаллургии применяются три модификации сорбционной технологии с использованием ионитов и активированных углей: извлечение металлов из растворов, извлечение металлов из пульп и сорбционное выщелачивание. Иониты (синтетические ионообменные смолы) представляют собой полимерные сетки, несущие ионогенные (функциональные) группы, способные поглощать из растворов положительно или отрицательно заряженные ионы в обмен на эквивалентное количество одноименно заряженных ионов из фазы ионита. Активированные угли характеризуются более низкой стоимостью, более высокой селективностью, но уступают смолам по механической прочности. Качество активированного угля определяется характером его пористой структуры. Сырьем для их получения являются природные материалы органического происхождения: древесина, торф, ископаемые угли и др. Получение углеродистых сорбентов</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|   |                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                         | <p>включает три основные стадии: гранулирование со связующим; карбонизацию и активацию. Критерием эффективности сорбентов является их обменная емкость (ПОЕ, ДОЕ, РОЕ) и коэффициент распределения иона. О селективности сорбции судят по изотермам. Процесс ионного обмена характеризуется либо пленочной, либо гелевой кинетикой. Распространённый способ проведения сорбционных процессов - пропускание раствора через колонну, заполненную сорбентом. О распределении сорбируемых ионов вдоль колонны обычно судят по выходным кривым, характеризующим остроту фронта сорбции.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 6 | Физико-химические основы процессов выделения металлов в виде малорастворимых соединений | <p>Выделение металлов из растворов в виде гидроксидов, сульфидов и основных солей основано на том, что эти соединения тяжелых цветных и редких металлов являются труднорастворимыми. Основной термодинамической характеристикой равновесия между малорастворимым соединением (<math>MeA</math>) и раствором является его произведение растворимости (<math>L</math>): <math>a_a = L</math>. Растворимость соединений зависит от ряда факторов: pH и ионной силы раствора, гидролиза аниона и катиона, комплексообразования с осаждающим анионом. Каждый гидроксид образуется при определенном значении pH раствора, зависящем от произведения растворимости гидроксида, активности металла в растворе и заряда иона металла. pH выделения труднорастворимых сульфидов кроме того зависит от активности сульфидной серы и произведения растворимости его гидроксида. Различие в pH выделения гидроксидов, сульфидов и основных солей позволяют осуществить селективное выделение металлов и очистку растворов от примесей.</p> |
| 7 | Теоретические основы цементации                                                         | <p>Цементация-это процессы вытеснения металлов из растворов, основанные на электрохимической реакции между металлом-цементатором и ионом вытесняемого металла: <math>Me + Me^{n+} \rightarrow Me^{n+} + Me</math>. Термодинамическая вероятность протекания цементации определяется соотношением величин электродных потенциалов вытесняющего и вытесняемого металлов: <math>E_{Me^{n+}/Me} &gt; E_{Me^{m+}/Me}</math>. Поскольку по мере выделения металла изменяется его концентрация, а следовательно и значение потенциала, процесс протекает до установления равновесия, когда <math>E_{Me^{n+}/Me} = E_{Me^{m+}/Me}</math>. Процесс цементации состоит из следующих стадий: 1) доставки ионов к катодной поверхности и отвода ионов от анодной поверхности; 2) электрохимического превращения(</p>                                                                                                                                                                                                                      |



|   |                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                             | разряда ионов на катодных участках, ионизации – на анодных участках); 3) электрокристаллизации (образования и роста кристаллов на поверхности катода). Контролирующая стадия процесса зависит от величины и характера электродной поляризации. О кинетике электродного процесса можно судят по поляризационным кривым, выражающим зависимость между смещением потенциала электрода и величиной протекающего через электрод тока. Скорость цементации и лимитирующая п стадия могут изменяться во времени вследствие уменьшения концентрации вытесняемого металла, увеличения толщины слоя осаждённого металла, изменения поверхности катодных и анодных участков.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 8 | Основы процессов кристаллизация солей металлов из растворов | Кристаллизация из растворов – процесс выделения из них твёрдой фазы, включающий четыре стадии: 1) достижение пересыщения раствора; 2) образование зародышей кристаллов (центров кристаллизации); 3) рост кристаллов; 4) перекристаллизацию. По способу получения пересыщенных растворов различают изотермическую (выпаривание растворителя), изогидрическую (охлаждением насыщенного раствора) кристаллизацию и высаливание. При гомогенном зародышеобразовании энергия, необходимая для образования критического зародыша, появляется в микрообъёме пересыщенного раствора в результате флуктуации. Гетерогенное образование центров кристаллизации происходит при введении затравки кристаллизуемой соли в виде мельчайших частиц, являющихся готовыми центрами кристаллизации. Дальнейший рост зародышей определяется сочетанием диффузии растворённых частиц к поверхности кристалла и введения их в структуру решётки кристалла (он включает адсорбцию частиц, их миграцию по поверхности кристалла и встраивание в кристаллическую решётку (теории адсорбционного слоя и дислокационная). |

#### 4.3 Перечень лабораторных работ

##### Семестр № 5

| № | Наименование лабораторной работы                                            | Кол-во академических часов |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Исследование закономерностей внешней диффузии                               | 4                          |
| 2 | Исследование зависимости скорости процесса от концентрации исходных веществ | 2                          |

|   |                                                                          |   |
|---|--------------------------------------------------------------------------|---|
| 3 | Исследование влияния температуры на скорость гетерогенного процесса      | 4 |
| 4 | Исследование закономерностей осаждения гидроксидов металлов из растворов | 4 |
| 5 | Исследование закономерностей выделения металлов цементацией              | 2 |

#### 4.4 Перечень практических занятий

##### Семестр № 5

| № | Темы практических (семинарских) занятий                                       | Кол-во академических часов |
|---|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Термодинамика процессов выщелачивания                                         | 4                          |
| 2 | Обобщенное уравнение потока выщелачивания                                     | 2                          |
| 3 | Расчет количественных параметров кинетики выщелачивания                       | 4                          |
| 4 | Расчет числа ступеней экстракции                                              | 2                          |
| 5 | Примеры механизмов экстракционных процессов из гидрометаллургической практики | 2                          |
| 6 | Количественные характеристики ионитов                                         | 2                          |

#### 4.5 Самостоятельная работа

##### Семестр № 5

| № | Вид СРС                                                   | Кол-во академических часов |
|---|-----------------------------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Выполнение тренировочных и обучающих тестов               | 1                          |
| 2 | Написание курсового проекта (работы)                      | 18                         |
| 3 | Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам | 3                          |
| 4 | Подготовка к практическим занятиям                        | 3                          |
| 5 | Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам) | 3                          |
| 6 | Подготовка к сдаче и защите отчетов                       | 3                          |
| 7 | Проработка разделов теоретического материала              | 12                         |
| 8 | Решение специальных задач                                 | 1                          |

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: тренинг, исследовательский метод.

#### 5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

##### 5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

##### 5.1.1 Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

Теория гидрометаллургических процессов: Методические указания по выполнению курсовой работы [электронный ресурс] /сост. Минеева Т.С. –Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.– 22с.

### **5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям**

Теория гидрометаллургических процессов: Методические указания по проведению практических занятий /сост. Минеева Т.С. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. – 44с.

### **5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:**

Теория гидрометаллургических процессов: Методические указания по выполнению лабораторных работ /сост. Минеева Т.С. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014.– 36с.

### **5.1.4 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:**

Теория гидрометаллургических процессов: Методические указания по выполнению самостоятельной работы [электронный ресурс] /сост. Минеева Т.С. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.– 15с.

## **6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине**

### **6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля**

#### **6.1.1 семестр 5 | Отчет по лабораторной работе**

##### **Описание процедуры.**

Перед проведением лабораторных работ все обучающиеся обязаны ознакомиться с правилами охраны труда и строго их выполнять. К выполнению лабораторных работ допускаются обучающиеся, прослушавшие инструктаж по технике безопасности и сделав соответствующую запись в журнале по ТБ в аудитории, предназначенной для проведения лабораторных работ по данной дисциплине.

1. Задание на выполнение лабораторной работы обучающийся получает на предыдущем занятии. При подготовке к лабораторной работе обучающийся обязан ознакомиться с её содержанием, повторить или изучить теоретический материал, относящийся к работе, используя рекомендуемую литературу, понять цель и задачи работы.
  2. К началу занятий должна быть подготовлен шаблон отчета по лабораторной работе, в который необходимо включить необходимые расчётные формулы, подготовить таблицы для наблюдений.
  3. Отчет оформляется для каждой лабораторной работы. Отчёт должен содержать название работы, изложение цели и задач работы, краткое теоретическое введение, схему установки и краткое описание методики проведения работы, таблицу с опытными и расчётными данными; графики (там, где это требуется), справочные данные, выводы по работе. Отчёты по лабораторным работам оформляются в соответствии с требованиями методических указаний по выполнению лабораторных работ и требованиями СТО «027-2021 СИСТЕМА МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА. Учебно-методическая деятельность. Общие требования к организации и проведению лабораторных работ».
  4. На следующем занятии отчёт предоставляется преподавателю для проверки. При защите отчёта проверяется знание теоретического материала соответствующих разделов курса и вопросов методики, связанной с выполнением работы.
- Вопросы для контроля (на примере лабораторной работы «Исследование закономерностей осаждения из растворов гидроксидов металлов»:
1. Как изменяется рН выделения гидроксида металла при увеличении концентрации металла в растворе?
  2. Как влияет на рН выделения гидроксида металла увеличение заряда иона металла?
  3. Как влияет на рН выделения гидроксида металла величина произведения его

растворимости?

4. Чем определяется селективное выделение металла в виде гидратов?
5. От каких факторов зависит рН выделения основных солей?
6. От каких факторов зависит рН выделения из раствора сульфидов металлов?
7. Как влияет на рН выделения сульфида металла концентрация металла в растворе и произведение растворимост

Подробное описание лабораторных работ и вопросы к защите отчета представлены в методических указаниях (см. п.5.1.2).

### **Критерии оценивания.**

Правильность оформления отчетов и полнота ответов на вопросы по контрольным вопросам, приведенным к каждой лабораторной работе в методических указаниях. Подробное описание лабораторных работ и вопросы к защите отчета представлены в методических указаниях

### **6.1.2 семестр 5 | Тест**

#### **Описание процедуры.**

При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и проработать конспект лекционного материала.

Пример теста:

Вариант

1. Вывести уравнение потока выщелачивания необратимой реакции  $\text{FeWO}_4 + 2\text{NaOH} = \text{Na}_2\text{WO}_4 + \text{Fe}(\text{OH})_2$ .
2. От каких из перечисленных факторов зависит толщина эффективного диффузионного слоя
  - толщина диска
  - концентрация реагента
  - скорость вращения диска
  - материал диска
3. Перечислить характерные признаки протекания процесса выщелачивания во внутридиффузионной области.
4. Как определить с помощью графика порядок необратимой химической реакции?  $T = \text{const}$ .
5. Процесс выщелачивания при 35 0С протекает в промежуточной области. Какая стадия станет лимитирующей при 85 0С?
6. Процесс выщелачивания при концентрации реагента 0,5 моль/л протекает в промежуточной области. Химическая реакция имеет нулевой порядок по реагенту. В какой области будет протекать процесс при повышении концентрации в 10 раз?
7. Как зависит скорость выщелачивания от поверхности для частиц сферической формы?
8. Какие из перечисленных факторов соответствуют протеканию процесса выщелачивания во внешедиффузионной области
  - поток не зависит от времени
  - энергия активации 40 кДж/моль
  - порядок по реагенту равен 1

- поток зависит от интенсивности перемешивания

### Критерии оценивания.

Тест считается успешно пройденным при правильных ответах на вопросы теста более 75%.

### 6.1.3 семестр 5 | Решение задач

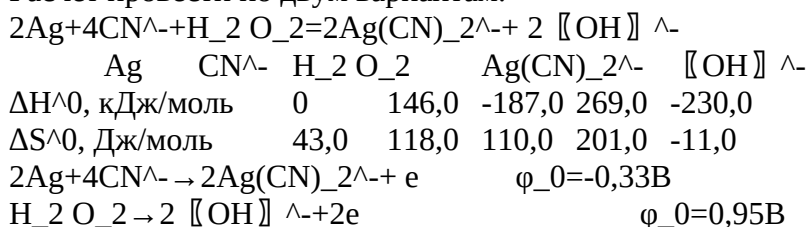
#### Описание процедуры.

Обучающимся выдается индивидуальное задание (по вариантам) для самостоятельного решения, содержащее необходимые для расчетов исходные данные. При выполнении расчетного задания необходимо проработать материал лекций и практических занятий по тематике работы. Результаты расчета представляются преподавателю в печатном виде (с помощью ПК), допускается сдача в электронном виде.

Пример варианта задания:

Оценить термодинамическую вероятность процесса цианирования серебра ( $t^\circ=25^\circ\text{C}$ ).

Расчет провести по двум вариантам.



### Критерии оценивания.

Правильность решения

### 6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

#### 6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

| Индикатор достижения компетенции | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                    | Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации |
|----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ПКС-1.3                          | Способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса массы и химической кинетики для понимания теоретических основ процессов, протекающих в гидрометаллургических системах. | Устное собеседование по вопросам к экзамену.          |
| ПКС-7.3                          | Способен выполнять расчетно-теоретическую работу, используя физико - математический аппарат для расчета физико-химических параметров в теории                                                          | Выполнение и защита курсовой работы                   |

## 6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

### 6.2.2.1 Семестр 5, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

#### 6.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамен проводится в виде собеседования по вопросам экзаменационного билета. Для успешной сдачи экзамена обучающемуся заранее выдаются контрольные вопросы. Критерии оценки ответов доводятся до сведения обучающихся. Результат объявляется после сдачи и выставляется в электронную экзаменационную ведомость.

Вопросы к экзамену:

1. Сущность гидрометаллургических процессов и их значение в производстве цветных металлов. Основные операции гидрометаллургической схемы переработки сырья. Растворители, применяемые в гидрометаллургии. Требования к ним.
2. Термодинамика простого растворения. Вода как растворитель. Энергия гидратации, расчетные и экспериментальные методы определения. Принцип разделения Мищенко. Методы определения энергии кристаллической решетки.
3. Оценка термодинамической вероятности процессов выщелачивания, сопровождающихся химической реакцией. Методы определения констант равновесия для реакций различных ти-пов.
4. Обобщенное уравнение потока выщелачивания (вывод). Области протекания процесса выщелачивания. Особенности кинетики выщелачивания с участием газообразных реагентов и дисперсных твердых веществ. Роль геометрии зерна.
5. Закономерности внешней диффузии и признаки протекания процесса выщелачивания во внешнедиффузионной области. Вращающийся диск и его возможности для изучения кинетики гетерогенных процессов.
6. Закономерности и признаки протекания процесса во внутريدиффузионной области. Закономерности и признаки протекания процесса в кинетической области. Формально-кинетическое уравнение скорости.
7. Влияние дефектов кристаллической структуры минералов на термодинамику и кинетику процессов выщелачивания. Механическое активирование твердых тел. Ультразвуковое, радиационное и термическое активирование.
8. Направления интенсификации процессов выщелачивания.
9. Общая характеристика процесса экстракции, области применения. Классификация экстракционных процессов. Основные типы экстрагентов.
10. Механизмы экстракции: оксониевый, гидратно - сольватный и др. Графический и аналитический методы расчета числа теоретических ступеней экстракции. Синергизм экстракции. Аппараты для осуществления экстракционных процессов.
11. Общая характеристика ионного обмена. Строение ионитов. Способы получения. Основные характеристики ионитов (набухание, емкости). Сорбция металлов активными углями.
12. Равновесие и селективность ионного обмена. Кинетика ионного обмена. Ионный обмен в колоннах и из пульпы.
13. Факторы, влияющие на растворимость труднорастворимых соединений. Условия осаждения гидроксидов металлов, основных солей, сульфидов.
14. Физико-химические основы цементации: термодинамика, кинетика, виды поляризации.

15.Физико-химические основы кристаллизации из растворов: основные стадии процесса. Скорость массовой кристаллизации.

#### 6.2.2.1.2 Критерии оценивания

| Отлично                                                                                                                                                                                                                 | Хорошо                                                                                                                                                                                                                                       | Удовлетворительно                                                                                                                                                                                            | Неудовлетворительно                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Способен глубоко и прочно использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса массы и химической кинетики для понимания теоретических основ процессов, протекающих в гидрометаллургических системах. | Способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса массы и химической кинетики для понимания теоретических основ процессов, протекающих в гидрометаллургических системах, но не в полной мере глубоко и прочно. | Слабо способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса массы и химической кинетики для понимания теоретических основ процессов, протекающих в гидрометаллургических системах. | Не способен использовать основные понятия, законы и модели термодинамики, переноса массы и химической кинетики для понимания теоретических основ процессов, протекающих в гидрометаллургических системах. |

#### 6.2.2.2 Семестр 5, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине

##### 6.2.2.2.1 Описание процедуры

Для оценки сформированности индикатора компетенций ПКС-7.3 необходимо выполнить расчетную курсовую работу (по вариантам) и ответить на контрольные вопросы при ее защите.

Задания и пример расчета приведены в методических указаниях.

Перечень вопросов к защите курсовой работы:

- 1.Как рассчитывается скорость выщелачивания по первичным кинетическим кривым?
- 2.Для выполнения каких расчетов необходимо знание формально-кинетического уравнения процесса выщелачивания?
- 3.Физический смысл понятия «энергия активации»
- 4.Физический смысл понятия «порядок по реагенту»
- 5.Методика расчета энергии активации
- 6.Методика расчета порядка по реагенту
7. Для чего необходимо определение количественных кинетических параметров?
8. Что такое лимитирующая стадия процесса выщелачивания?
9. На чем основан выбор путей интенсификации выщелачивания
10. Как знание кинетических закономерностей процесса выщелачивания позволяет обосновать рекомендации по его практическому осуществлению?

##### 6.2.2.2.2 Критерии оценивания

| Отлично | Хорошо | Удовлетворительно | Неудовлетворительно |
|---------|--------|-------------------|---------------------|
|---------|--------|-------------------|---------------------|

|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                   | <b>о</b>                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Способен выполнять расчетно-теоретическую работу, глубоко обоснованно используя физико-математический аппарат для расчета физико-химических параметров в теории гидрометаллургических процессов. | Способен выполнять расчетно-теоретическую работу, используя физико-математический аппарат для расчета физико-химических параметров в теории гидрометаллургических процессов, но не в полной мере. | Способен выполнять расчетно-теоретическую работу, слабо используя физико-математический аппарат для расчета физико-химических параметров в теории гидрометаллургических процессов. | Не способен выполнять расчетно-теоретическую работу, используя физико-математический аппарат для расчета физико-химических параметров в теории гидрометаллургических процессов. |

## 7 Основная учебная литература

1. Вольдман Г. М. Теория гидрометаллургических процессов : учеб. пособие для вузов по специальности "Хим. технология ред. металлов и материалов на их основе" / Г. М. Вольдман, А. Н. Зеликман, 2003. - 462.

2. Теория металлургических процессов : учебник для вузов по направлению 150100 "Металлургия", специальность 150102 "Металлургия цветных металлов" / Г. Г. Минеев [и др.]; под общ. ред. Г. Г. Минеева, 2010. - 522.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-39666.pdf>

## 8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Зеликман А. Н. Теория гидрометаллургических процессов : учебное пособие для специальности "Металлургия цветных металлов" / А. Н. Зеликман, Г. М. Вольдман, Л. В. Беляевская, 1975. - 504.

2. Зеликман Абрам Наумович. Теория гидрометаллургических процессов : учебник для вузов по спец. "Металлургия цв. металлов" и "Хим. технология редких и рассеян. элементов" / А. Н. Зеликман, Г. М. Вольдман, Л. В. Беляевская, 1983. - 423.

3. Каковский Игорь Антонович. Термодинамика и кинетика гидрометаллургических процессов / Игорь Антонович Каковский; АН КазССР, Хим.-металлург. ин-т, 1986. - 267.

4. Набойченко Станислав Степанович. Расчеты гидрометаллургических процессов : учеб. пособие для вузов по направлению "Металлургия" и спец. "Металлургия цв. металлов" / Станислав Степанович Набойченко, Антонин Александрович Юнь, 1995. - 427.

5. Леонов С. Б. Гидрометаллургия : учебник для вузов по специальности 110200 "Металлургия цветных металлов": [В 2-х ч.]. Ч. 2. Выделение металлов из растворов и вопросы экологии / С. Б. Леонов, Г. Г. Минеев, И. А. Жучков, 2000. - 491.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-2192.pdf>



6. Каковский Игорь Антонович. Кинетика процессов растворения / И. А. Каковский, Ю. М. Поташников, 1975. - 222.
7. Хабаши Основы прикладной металлургии: в 2 т. Т. 1 : Теоретические основы, 1975. - 232.
8. Процессы и аппараты цветной металлургии : учеб. для вузов по направлению "Металлургия" и специальности "Металлургия цв. металлов" / Под ред. С. С. Набойченко, 1997. - 655.
9. Леонов С. Б. Гидрометаллургия : учеб. для вузов по специальности 110200 "Металлургия цв. металлов" : [в 2 ч.]. Ч. 1. Рудоподготовка и выщелачивание / С. Б. Леонов, Г. Г. Минеев, И. А. Жучков, 1998. - 702.
- [Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files/er-2121.pdf>
10. Вольдман Григорий Маркович. Теория гидрометаллургических процессов : учеб. для вузов по спец. "Физ.-хим. исслед. металлург. процессов" / Г. М. Вольдман, А. Н. Зеликман, 1993. - 399.
11. Краткий справочник физико-химических величин / сост. Н. М. Барон [и др.]; под ред. А. А. Равделя, А. М. Пономаревой, 2010. - 237.
12. Минеев Г. Г. Биометаллургия золота / Г. Г. Минеев, 1989. - 159.
- [Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-8803.pdf>
13. Минеев Г. Г. Растворители золота и серебра в гидрометаллургии / Геннадий Григорьевич Минеев, Адольф Федорович Панченко, 1994. - 241.
14. Минеев Г. Г. Кучное выщелачивание золотосодержащих руд / Геннадий Григорьевич Минеев, Сергей Борисович Леонов, 1997. - 81.
15. Оспанов Х. К. Термодинамика и кинетика гетерогенных процессов : учеб. пособие / Х. К. Оспанов, 1990. - 155.
16. Теория гидрометаллургических процессов : методические указания по проведению практических занятий для студентов заочной формы обучения / Иркут. гос. техн. ун-т, 2013. - 43.
17. Теория гидрометаллургических процессов : методические указания для самостоятельной работы бакалавров по направлению 22.03.02 "Металлургия" очной и заочной форм обучения / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 17.
- [Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-16541.pdf>
18. Теория гидрометаллургических процессов : методические указания по выполнению курсовой работы работы по направлению подготовки бакалавров 22.03.02 "Металлургия" очной и заочной форм обучения / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2017. - 35.
- [Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-17815.pdf>
19. Теория гидрометаллургических процессов : методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов заочной формы обучения / Иркутский государственный технический университет, 2014. - 36.

[Сайт] – URL: <http://elib.istu.edu/viewer/view.php?file=/files3/er-38483.pdf>

## **9 Ресурсы сети Интернет**

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

## **10 Профессиональные базы данных**

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

## **11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем**

1. Microsoft Windows (XP Prof + Vista Bussines) rus VLK поставка 08\_2007
2. Microsoft Office 2003 VLK (поставки 2007 и 2008)

## **12 Материально-техническое обеспечение дисциплины**

1. 310529 Иономер лабораторный
2. Экран Projecta SlimScreen настенный
3. Проектор "Epson EB-S18"
4. Весы технические лабораторные "BT-1500"
5. Установка вращающегося диска и металлические диски
6. установка для титрования
7. Магнитные мешалки
8. Штангенциркуль
9. Тахометр
10. Реагенты
11. Термостат циркуляционный LOIP LT-208a, до +200 С