

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

Структурное подразделение «Металлургии цветных металлов»

УТВЕРЖДЕНА:

на заседании кафедры металлургии цветных металлов

Протокол №9 от 14 февраля 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ПРИКЛАДНАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И КИНЕТИКА»

Направление: 22.04.02 Металлургия

Совершенствование и оптимизация технологических процессов производства цветных
металлов

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной
подписью
Составитель программы: Минеева Татьяна
Султановна
Дата подписания: 05.06.2025

Документ подписан простой электронной
подписью
Утвердил и согласовал: Немчинова Нина
Владимировна
Дата подписания: 05.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

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

1.1 Дисциплина «Прикладная термодинамика и кинетика» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ОПК-1 Способен решать производственные и(или) исследовательские задачи, на основе фундаментальных знаний в области металлургии	ОПК-1.1

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ОПК-1.1	Демонстрирует знания о термодинамике и кинетике процессов, протекающих в конкретных металлургических системах, на основе которых возможно решать производственные и (или) исследовательские задачи	Знать научное понимание термодинамики и кинетики процессов, протекающих в конкретных пиро- и гидрометаллургических системах Уметь оценивать термодинамическую вероятность, изучать кинетику металлургических процессов Владеть принципами физико-химического анализа взаимодействий, протекающих в металлургических системах

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Прикладная термодинамика и кинетика» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: Нет

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Прогрессивные технологии производства благородных металлов», «Новые направления в металлургии легких металлов», «Новые направления в металлургии тяжелых цветных металлов», «Новые направления в металлургии кремния», «Производственная практика: научно-исследовательская работа (научно-исследовательский семинар)», «Производственная практика: технологическая (проектно-технологическая) практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 1
Общая трудоемкость дисциплины	108	108
Аудиторные занятия, в том числе:	30	30
лекции	15	15
лабораторные работы	0	0

практические/семинарские занятия	15	15
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	78	78
Трудоемкость промежуточной аттестации	0	0
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Зачет	Зачет

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 1

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Основополагающ ие подходы к изучению теоретических основ металлургических процессов	1, 2	4					1, 4, 6	12	Эссе
2	Термодинамическ ий анализ пирометалургичес ких систем	3, 4	3			3, 4	4	2, 4, 5, 6	14	Тест
3	Термодинамическ ий анализ гидрометаллургич еских систем	5	2			1, 2	4	4, 5, 6, 7	14	Решение задач
4	Современные представления о кинетике растворения и методы ее исследования	6, 7	6			5, 6	7	2, 3, 4, 5, 6	38	Реферат, Тест
	Промежуточная аттестация									Зачет
	Всего		15				15		78	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 1

№	Тема	Краткое содержание
1	Основополагающие подходы к изучению теоретических основ металлургических процессов	Осмысленное управление технологическими процессами предполагает углубленное изучение теоретических основ с использованием современных методов исследования, научно обоснованной методологии познания. Каждый из методов имеет определенную область применения.

		Использование его не по назначению приводит к получению недостоверных данных и ошибочных выводов, противоречащих сути явления. Термодинамические расчеты являются необходимым, но недостаточным этапом изучения процесса, они свидетельствуют о его вероятности, а не о реальном протекании, бесспорен только вывод о невозможности процесса. Определяющим этапом является экспериментальное исследование кинетики и механизма процессов, успех которого зависит от правильной методики проведения опытов, анализа и обобщения полученных результатов (умения сделать правильные выводы, подчеркнуть практические аспекты их использования). Корректно изученная кинетика, увязанная с механизмом процесса, обеспечивает получение надежных результатов Математическое моделирование многокомпонентных гетерогенных систем в отличие от традиционных экспериментов обеспечивает их корректное описание с учетом обширной совокупности факторов, определяющих показатели процесса. Для выщелачивания используется метод минимизации энергии Гиббса, положенный в основу программного комплекса «Селектор», дающий сведения о равновесиях, механизме протекания реакций, взаимном влиянии компонентов раствора и твердых фаз, термодинамических характеристиках веществ и физико-химических параметрах среды. По данному методу построены математические модели процессов выщелачивания урановых руд, золота экологически безопасным растворителем применительно к технологии подземного выщелачивания. Имеется принципиальная возможность создания программных комплексов, которые объединят рассмотрение термодинамики и кинетики выщелачивания.
2	Термодинамический анализ пирометалургических систем	Термодинамический анализ пирометаллургических систем основан прежде всего на выявлении равновесного состояния системы, его количественных характеристик и последующем определении направления протекания реакций при отклонении фактических параметров от равновесных, а также факторов, обеспечивающих сдвиг от равновесия в сторону образования продуктов. Теория процессов окисления (диссоциации), окислительного рафинирования, восстановления, взаимодействий в сульфидных расплавах основана на учении о сродстве металлов к кислороду (сере, хлору),

		оцениваемом величиной давления диссоциации оксидов (сульфидов, хлоридов). Оценка возможности осуществления процесса, фазового состояния системы, объяснение природы шлаков и штейнов, особенностей взаимодействий, протекающих в расплавах, проводится на основе анализа и расчета фазовых равновесий с использованием диаграмм состояния соответствующих пирометаллургических систем Для изучения гетерогенных равновесий в системах с металлами, их оксидами, сульфидами и т.д. наиболее удобны системы с участием газов, для которых объем, давление и состав газовой фазы надежно и сравнительно легко определяются экспериментально. Учитывая возможность получения ложных равновесий, следует подходить к исследуемому равновесию с двух сторон. Совпадение результатов свидетельствует о достижении действительного равновесия системы. Наиболее распространены следующие методы:- статический метод с замкнутым объектом системы, невозобновляемой газовой фазой и отсутствием направленного газового потока относительно конденсированных фаз;- динамический метод с незамкнутым объемом системы, возобновляемой газовой фазой, непрерывным подводом в систему направленного потока газа и отводом газообразных продуктов взаимодействия;-циркуляционный метод с замкнутым объемом системы, невозобновляемой газовой фазой и многократным пропусканием газового потока относительно конденсированных фаз. Циркуляционный метод является наиболее совершенным методом изучения равновесий с участием газовой фазы. Он совмещает достоинства статического и динамического методов и в то же время в значительной мере свободен от их недостатков.
3	Термодинамический анализ гидрометаллургических систем	Термодинамическая вероятность простого растворения определяется соотношением величин энергии гидратации и энергии кристаллической решетки. Если энергия кристаллической решетки минерала невелика и для ее разрушения достаточно энергии гидратации ионов, соединение растворяется в воде; в противном случае необходимо осуществление химических реакций. Термодинамическая вероятность протекания процессов выщелачивания, сопровождающихся химическими реакциями, определяется знаком и величиной энергии Гиббса. Константа равновесия реакции является

		критерием полноты ее протекания. Кр можно определить экспериментально (через Кс) и расчётным путём: – по известным значениям стандартных термодинамических функций участников реакции (для реакций обмена); – по величинам произведений растворимости исходного твердого вещества и малорастворимого продукта; (в случае образования твердого продукта) – по значениям стандартных электрохимических потенциалов (для окислительно-восстановительных реакций). В целом термодинамика указывает на возможность или невозможность протекания процесса. Окончательный вывод о его осуществлении делают только после изучения кинетики.
4	Современные представления о кинетике растворения и методы ее исследования	Кинетика гетерогенных процессов растворения базируется на представлениях химической кинетики, но значительно сложнее, чем для гомогенных реакций. Основополагающими являются закон действующих масс, теория активированного комплекса, уравнение Аррениуса, а также законы физико-химической гидродинамики. Выявление зависимости скорости процесса от важнейших технологических факторов позволяет получить представление о его механизме (области протекания, стадиальности, образовании и свойствах промежуточных продуктов). Для большинства процессов выщелачивания характерно протекание в диффузионном режиме. Особенностью гетерогенных реакций является образование на реакционной поверхности пленок, что осложняет и замедляет процесс. Экспериментально определяемая величина энергии активации характеризует энергетические затраты на процесс в целом. Другая отличительная особенность - необходимость учета величины реакционной поверхности, что возможно при использовании наиболее совершенного метода исследования кинетики- метода вращающегося диска. Приоритетным преимуществом поверхности вращающегося диска является ее равнодоступность в диффузионном отношении. Выщелачивание-головная операция гидрометаллургических схем переработки рудного сырья, его показатели определяют приемлемость схемы в целом. В связи с этим первостепенное значение имеет его интенсификация. Направления интенсификации выщелачивания определяются лимитирующей стадией процесса; их обосновывают, исходя из анализа признаков

		протекания процесса во внешне-, внутридиффузионной и кинетической областях. При выщелачивании, лимитируемом внешней диффузией, устранение внешнедиффузионного торможения достигается использованием аппаратов с интенсивным перемешиванием пульпы. Внутридиффузионное сопротивление может быть сведено к минимуму путем тонкого или сверхтонкого измельчения. Для кинетической области целесообразно использование температурного фактора (в том числе автоклавный вариант) или повышение энергетического состояния твердой фазы путем механохимического активирования.
--	--	---

4.3 Перечень лабораторных работ

Лабораторных работ не предусмотрено

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 1

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Методы определения констант равновесия реакций, протекающих в пирометаллургических системах	2
2	Методы определения констант равновесия реакций, протекающих в гидрометаллургических системах, и термодинамически необходимого количества реагента	2
3	Типы диаграмм состояния пирометаллургических систем и фазовые равновесия в них	2
4	Термодинамика совмещенных равновесий	2
5	Кинетика процессов, представляющих интерес для практической гидрометаллургии.	5
6	Критерии определения режима протекания процесса растворения методом ВД	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 1

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение письменных творческих работ (писем, докладов, сообщений, ЭССЕ)	8
2	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	4

3	Написание реферата	20
4	Подготовка к зачёту	16
5	Подготовка к практическим занятиям	12
6	Проработка разделов теоретического материала	14
7	Решение специальных задач	4

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: групповая дискуссия.

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Прикладная термодинамика и кинетика: метод. указания к практическим занятиям [электронный ресурс] / сост. Т.С. Минеева. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 25 с

5.1.2 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Прикладная термодинамика и кинетика: метод. указания по самостоятельной работе студентов [электронный ресурс] / сост. Т.С. Минеева. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2017. – 13 с.

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 1 | Эссе

Описание процедуры.

Данный вид самостоятельной работы предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение письменной работы (эссе) по предлагаемой тематике с использованием рекомендуемой литературы и информационных ресурсов.

На последней неделе семестра обучающийся представляет подготовленный материал в виде отчетного документа (текст эссе должен быть выполнен с помощью ПК, напечатан на листах белой бумаги формата А4, иметь титульный лист, объем до 2 стр.) Допускается представление преподавателю в электронном виде.

Вопросы для контроля:

- 1.Определяющие этапы проведения исследований: методичность, комплексное использование современных методов анализа, корректность интерпретации результатов.
2. Приоритетные для физико-химического моделирования металлургические направления

Критерии оценивания.

Оформление в соответствии СТО.005-2020. Полнота раскрытия рассматриваемых вопросов. Обязательно изложение и аргументация собственной позиции,

6.1.2 семестр 1 | Тест

Описание процедуры.

При подготовке к тестированию самостоятельно изучить теоретический материал с помощью основной и дополнительной литературы и информационных ресурсов и

прочитать конспект лекционного материала.

Пример теста

Вариант

1. От каких из перечисленных факторов зависит толщина эффективного диффузионного слоя?

- концентрации реагента;
- вязкости раствора;
- плотности раствора.

2. Какие из перечисленных признаков соответствуют протеканию процесса выщелачивания в кинетической области?

- энергия активации 12 кДж/моль;
- поток не зависит от интенсивности перемешивания;
- поток зависит от времени.

3. Зависимость степени выщелачивания от каких факторов позволяет определить порядок по реагенту?

- от температуры;
- от интенсивности перемешивания;
- от концентрации реагента.

4. Какая стадия будет лимитировать процесс выщелачивания, если он протекал в промежуточном режиме, химическая реакция имеет второй порядок по реагенту, а концентрация последнего увеличена в 5 раз?

- сохранится промежуточный режим;
- диффузия;
- химическое взаимодействие.

5. В какой области будет протекать процесс выщелачивания, если он шел в промежуточном режиме, а температура понижена в 4 раза?

- в кинетической;
- в диффузионной;
- в промежуточной.

6. Какой из признаков является однозначным доказательством протекания процесса выщелачивания в кинетической области?

- порядок по реагенту равен 1;
- поток не зависит от времени;
- энергия активации 60 кДж/моль.

7. Какой вид имеет общее уравнение потока выщелачивания по необратимой реакции без образования твердого продукта?

8. Что позволяет интенсифицировать процесс, протекающий в кинетической области?

- наложение ультразвука;
- использование автоклавов;
- интенсивное перемешивание.

Вариант

1. Что является количественной мерой сродства металла к кислороду?

- константа скорости реакции диссоциации;
- энергия Гиббса реакции образования оксида;
- давление кислорода в газовой фазе.

2. . Каким уравнением выражается константа равновесия реакции диссоциации оксида, если MeO и Me находятся в конденсированных фазах?

- $[K]_{p} = P_{(O_2)} \cdot P_{Me}^2$;

- $[K]_p = P_{(O_2)}$;
 - $[K]_p = P_{(O_2)} / (P^2 MeO)$.
3. Примесь может быть удалена окислительным рафинированием, если:
- давление диссоциации оксида примеси больше давления диссоциации оксида основного металла;
 - давление диссоциации оксида примеси меньше давления диссоциации оксида основного металла;
 - давление диссоциации оксида примеси равно давлению диссоциации оксида основного металла.
4. Для каких процессов равновесие в системе однозначно определяется температурой?
- газовое восстановление оксидом;
 - углестермическое восстановление;
 - реакция Будуара.
5. При каком соотношении фактического и равновесного составов газовой фазы протекает восстановление оксидом углерода?
- $(CO_{факт}) / [CO]_{2факт} > (CO_{равн}) / [CO]_{2равн}$;
 - $(CO_{факт}) / [CO]_{2факт} < (CO_{равн}) / [CO]_{2равн}$;
 - $(CO_{факт}) / [CO]_{2факт} = (CO_{равн}) / [CO]_{2равн}$.
6. С повышением температуры сродство металлов к сере
- возрастает;
 - понижается;
 - не меняется;
7. Распределение металлов между шлаком и штейном зависит от:
- растворимости в штейновой и шлаковой фазе;
 - различия в сродстве металла к кислороду и сере;
 - температуры плавления металла.
8. Термодинамическая устойчивость $[MeSO]_4$ при окислительном обжиге определяется:
- давлением пара $[MeSO]_4$;
 - давлением диссоциации $[MeSO]_4$;
 - давлением $[SO]_2$ в газовой фазе.
9. От каких факторов зависит давление диссоциации карбонатов?
- количества карбонатов;
 - температуры;
 - давления $[CO]_2$ в газовой фазе.
10. Для оценки термодинамики каких процессов применяется принцип совмещенных равновесий?
- восстановление оксидом углерода;
 - металлотермия;
 - углестермическое восстановление.

Критерии оценивания.

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

6.1.3 семестр 1 | Реферат

Описание процедуры.

Данный вид самостоятельной работы предполагает индивидуальное самостоятельное выполнение письменной работы (реферата) по предложенной тематике с использованием перечня рекомендуемых литературы и информационных ресурсов. В начале семестра обучающийся выбирает одну из предложенных тем для написания реферата (согласно порядковому номеру в списке группы). После самостоятельного изучения рекомендуемой литературы на последней неделе семестра студент должен предоставить преподавателю отчетный документ по данному виду самостоятельной работы в виде реферата (текст реферата должен быть выполнен с помощью ПК, на листах белой бумаги формата А4). Примерная тематика рефератов:

1. Термодинамика и кинетика растворения золота в цианистых растворах.
2. Термодинамика и кинетика растворения серебра в цианистых растворах.
3. Термодинамика и кинетика тиосульфатного растворения золота.
4. Термодинамика и кинетика тиосульфатного растворения серебра.
5. Термодинамика и кинетика тиокарбамидного растворения серебра.
6. Кинетика растворения золота и серебра в аминокислотах.
7. Термодинамика и кинетика гидрохлорирования золота.
8. Термодинамика и кинетика растворения меди и сульфидов меди в цианистых растворах.
9. Кинетика растворения теллуридов золота и серебра в цианистых растворах.
10. Кинетика щелочного растворения молибденита.
11. Кинетика растворения минералов меди и цинка в растворах, содержащих гуминовые соединения и тионовые микроорганизмы.
12. Термодинамика и кинетика растворения золота в сульфит–тиосульфатных растворах.
13. Термодинамика и кинетика растворения серебра в сульфит–тиосульфатных растворах.
14. Кинетика растворения золота и меди в аммиачно-цианистых растворах
15. Особенности кинетики растворения благородных металлов. Растворение палладия.
16. Кинетика растворения триоксида молибдена.
17. Кинетика тиосульфатного растворения сульфидов меди и серебра.
18. Кинетика выщелачивания минералов бокситовых руд щелочными растворами гидроксида натрия.
19. Кинетика автоклавного выщелачивания вольфрама из шеелита.
20. Кинетика выщелачивания медьсодержащих минералов на примере атакалита.

Критерии оценивания.

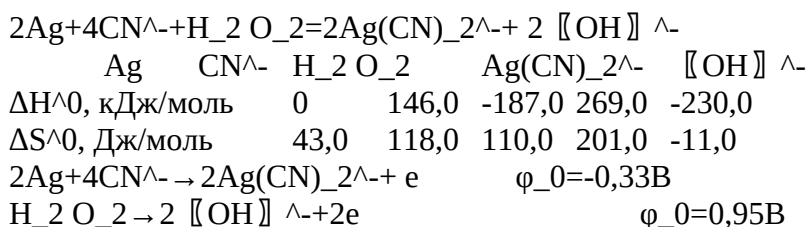
- Полнота раскрытия темы, предлагаемой для написания реферата;
- систематизация и обобщение изученного материала, выделение главного;
- логичность и последовательность изложения темы;
- перечень используемых источников и качество оформления.

6.1.4 семестр 1 | Решение задач

Описание процедуры.

Обучающимся выдается вариант индивидуального задания для самостоятельного решения, содержащий необходимые для расчетов исходные данные. При подготовке к выполнению расчетного задания необходимо проработать материал лекций и практических занятий по тематике работы. Результаты расчета представляются преподавателю в печатном виде (помощью ПК), допускается сдача в электронном виде. Пример варианта задания:

Оценить термодинамическую вероятность процесса цианирования серебра ($t^\circ=25^\circ\text{C}$).
Определить ТНК реагента 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
ОПК-1.1	Демонстрирует способность решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний о термодинамике и кинетике процессов, протекающих в конкретных металлургических системах	Устное собеседование по вопросам к зачету

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 1, Типовые оценочные средства для проведения зачета по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Зачет проводится в период экзаменационной сессии, предусмотренной учебным планом. Зачет проводится в форме устного собеседования по вопросам, предназначенным к зачету, с учетом результатов текущего контроля (тестирования, качества выполнения реферата) при формулировании критерия оценивания. Критерии оценки ответов обучающегося и форма проведения доводятся преподавателем до сведения обучающихся до начала зачета. Результат объявляется непосредственно после сдачи, выставляется в экзаменационную ведомость и зачетную книжку обучающегося

Пример задания:

Перечень вопросов к зачету:

1. Методология исследования теоретических основ металлургических процессов.
2. Возможности и перспективы физико-химического моделирования на основе термодинамических данных.
3. Принципы термодинамического анализа пирометаллургических систем.

4. Экспериментальные методы исследования равновесий с участием газовой фазы.
5. Расчетные и экспериментальные методы определения констант равновесия реакций различных типов.
6. Понятие термодинамически необходимого количества реагента. Связь с константой равновесия.
7. Современные представления и особенности кинетики процессов, протекающих в гетерогенных металлургических системах.
8. Критерии определения режима протекания гидрометаллургических процессов.
9. Определение количественных параметров кинетики. Экспериментальные методы исследования кинетики растворения.
10. Связь лимитирующей стадии процесса и выбора направлений его интенсификации.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Зачтено	Не зачтено
Демонстрирует способность решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний о термодинамике и кинетике процессов, протекающих в конкретных металлургических системах	Не демонстрирует способность решать производственные и (или) исследовательские задачи на основе фундаментальных знаний о термодинамике и кинетике процессов, протекающих в конкретных металлургических системах

7 Основная учебная литература

1. 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.
2. 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.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Вольский Антон Николаевич. Теория металлургических процессов. Пирометаллургические процессы : учебное пособие для студентов вузов по специальности "Металлургия цветных металлов" / А. Н. Вольский, Е. М. Сергиевская, 1968. - 344.
2. Ванюков Андрей Владимирович. Теория пирометаллургических процессов : учеб. для вузов по спец. "Металлургия цв. металлов" / Андрей Владимирович Ванюков, Владимир Яковлевич Зайцев, 1993. - 384.
3. Вольдман Григорий Маркович. Теория гидрометаллургических процессов : учеб. для вузов по спец. "Физ.-хим. исслед. металлург. процессов" / Г. М. Вольдман, А. Н. Зеликман, 1993. - 399.

4. 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.
5. Оспанов Х. К. Термодинамика и кинетика гетерогенных процессов : учеб. пособие / Х. К. Оспанов, 1990. - 155.
6. Каковский Игорь Антонович. Термодинамика и кинетика гидрометаллургических процессов / Игорь Антонович Каковский; АН КазССР, Хим.-металлург. ин-т, 1986. - 267.
7. Минеев Г. Г. Биометаллургия золота / Г. Г. Минеев, 1989. - 159.
8. Минеев Г. Г. Растворители золота и серебра в гидрометаллургии / Геннадий Григорьевич Минеев, Адольф Федорович Панченко, 1994. - 241.
9. Жучков И. А. Серосодержащие растворители благородных металлов в геохимических и металлургических процессах : монография / И. А. Жучков, Г. Г. Минеев, А. В. Аксенов, 2010. - 388.
10. Черняк А. С. Процессы растворения: выщелачивание, экстракция / А. С. Черняк, 1998. - 406.
11. Каковский Игорь Антонович. Кинетика процессов растворения / И. А. Каковский, Ю. М. Поташников, 1975. - 222.
12. Морачевский А. Г. Физическая химия. Гетерогенные системы : учебное пособие для вузов по направлению подготовки магистров "Техническая физика" / А. Г. Морачевский, Е. Г. Фирсова, 2015. - 184.
13. Физико-химические методы исследования металлургических процессов : учебник для металлург. спец. вузов / П. П. Арсентьев, В. В. Яковлев, М. Г. Крашенинников и др., 1988. - 509.
14. Прикладная термодинамика и кинетика [Электронный ресурс] : методические указания для самостоятельной работы магистров по направлению 22.04.02 "Металлургия" очной формы обучения / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 14.
15. Прикладная термодинамика и кинетика [Электронный ресурс] : методические указания по практическим занятиям для магистров по направлению подготовки 22.04.02 "Металлургия" / Иркут. нац. исслед. техн. ун-т, 2018. - 59.

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

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Проектор "Epson EB-S18"
2. Экран Projecta SlimScreen настенный