

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



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

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

на направление подготовки магистратуры

22.04.02 Metallургия

по образовательным программам

«Metallургия цветных металлов»

«Теплотехника metallургических процессов»

Санкт-Петербург
2023

Основные положения программы

Программа вступительного испытания утверждена на заседании кафедры металлургии (протокол № 18 от 26.05.2023).

I. Содержание, структура и форма проведения вступительного испытания

Вступительное испытание при приеме на обучение по направлению подготовки магистратуры 22.04.02 Металлургия проводится с применением дистанционных технологий и включает в себя 100 (сто) тестовых вопросов, требующих выбора правильного ответа (1 правильный ответ – 1 балл, максимальное количество баллов – 100). Распределение экзаменационных вопросов, входящих в экзаменационный билет, осуществляется случайным образом в соответствии с разделами, указанными в Программе. Продолжительность вступительного испытания 1 час 15 минут (75 минут).

Вступительные испытания в Горный университет проводятся в строгом соответствии с Регламентом проведения вступительных испытаний с применением дистанционных технологий, расписанием консультаций и вступительных испытаний, Порядком подачи и рассмотрения апелляций. Ведомости с результатами вступительных испытаний публикуются на официальном сайте Университета.

II. Разделы дисциплины и темы рассматриваемые в ходе вступительного испытания

Раздел 1. Металлургия тяжёлых и благородных металлов

Характеристика медных руд как комплексного сырья. Принципиальные технологические схемы комплексного использования медных руд. Штейновые плавки медных руд и концентратов. Сущность и общая характеристика конвертирования медных штейнов в горизонтальных конвертерах. Теория и практика огневого рафинирования конвертерной меди. Теория и технология электролитического рафинирования меди. Техничко-

экономические показатели процесса. Факторы, определяющие режим и технологические показатели основных приемов гидрометаллургической технологии переработки медного сырья.

Главные свойства никеля, его соединений и минералов. Методы подготовки никелевых руд и концентратов к металлургической переработке. Восстановительно-сульфидирующая плавка окисленных никелевых руд. Восстановительная плавка окисленных никелевых руд на ферроникель. Комбинированные пиро-, гидрометаллургические способы переработки окисленных никелевых руд. Электроплавка сульфидных медно-никелевых руд и концентратов на штейн. Автогенные технологии переработки медно-никелевых руд и концентратов. Конвертирование никелевых и медно-никелевых штейнов. Промышленные способы разделения медно-никелевых фанштейнов. Окислительный обжиг никелевого концентрата от флотационного разделения фанштейна. Восстановительный обжиг технической закиси никеля и восстановительная электроплавка на черновой никель. Электрохимическое рафинирование черного никеля.

Физико-химические свойства цинка и его соединений. Применение, масштабы производства и потребления цинка. Цинковые минералы, руды и концентраты. Вторичное цинкосодержащее сырье. Краткая характеристика методов переработки цинкосодержащего сырья. Обжиг цинковых концентратов. Общая характеристика пирометаллургического (дистилляционного) метода получения цинка. Теоретические основы и практика рафинирования цинка ликвацией и ректификацией. Общая характеристика гидро-электрометаллургического метода получения цинка. Технологические схемы получения цинка гидрометаллургическим методом.

Физико-химические свойства свинца и его соединений. Применение, масштабы производства и потребления свинца. Свинцовые минералы, руды и концентраты. Краткая характеристика промышленных методов переработки свинцового сырья. Двухступенчатый (универсальный) метод переработки свинцовых концентратов. Реакционная плавка: теория, практика и технико-

экономические показатели получения свинца реакционным способом в горнах, барабанных и электрических печах. Автогенные процессы переработки свинцовых концентратов. Общая технологическая схема рафинирования свинца огневым способом. Переработка полупродуктов и отходов свинцового производства. Основы гидрометаллургии свинца.

Плавильные печи их классификация и назначение. Принцип генерации тепла и его влияние на конструкции металлургических печей. Основы тепломассообменных процессов в металлургических печах. Структура и методы расчёта материального и теплового балансов металлургических печей. Автогенные процессы в металлургии цветных металлов и конструкции агрегатов для их осуществления. Принципы моделирования гидродинамических, массообменных и тепловых процессов в металлургических печах. Схемы очистки запылённых газов, оборудование для очистки газов и газоходные системы. Принципы организации экологически безопасных условий работы металлургических печей.

Раздел 2. Теория металлургических процессов

Физико-химические свойства металлов и их соединений. Структура потребления металлов и их сплавов. Природные минералы, руды и концентраты для производства металлов. Основные составляющие шихт и их назначение. Дробление, измельчение, грохочение, сушка, смешивание, окатывание, брикетирование. Основы обогащения, переработки и кондиционирования руд. Принципы разработки операционных технологических схем и аппаратурно-технологических решений производства цветных металлов. Классификация технологических процессов. Понятие ресурсосбережения и комплексного подхода к переработке полезных ископаемых, обеспечение экологической безопасности и основы утилизации отходов металлургического производства.

Сплавы и основы технологии их получения. Лигатуры и технологические основы легирования металлов. Химически разнородные материалы и основные группы композиционных материалов. Дисперсно-

упрочненные материалы и сплавы. Основы приготовления и обработки порошковой смеси. Системы «металл – металл», как основа для производства металлургических сплавов: чугуны и стали, сплавы цветных металлов.

Значение высокотемпературной термодинамики физико-химических систем и кинетики химических взаимодействий для анализа пирометаллургических процессов. Термодинамика взаимодействия газовых реагентов с кислородом. Оценка состояния равновесия. Кинетика и механизм реакций горения водорода и окиси углерода. Термодинамический анализ горения углерода. Кинетика и механизм горения твердого углерода. Диссоциация соединений переменного состава при постоянной температуре. Диссоциация соединений с образованием конденсированных фаз постоянного состава. Механизм и кинетика диссоциации соединений. Газовое восстановление оксидов нелетучих металлов. Восстановление хлоридов металлов. Восстановление оксидов из расплавов. Раскисление металлов. Алюмотермия и силикотермия. Восстановление в условиях плазменных температур. Роль вакуума при восстановлении летучих металлов. Условия образования и диссоциации сульфидов. Механизм и кинетика окисления сульфидов. Взаимодействие между оксидами и сульфидами одного металла. Основы теории плавки сульфидов. Сходство и различие вещества в твердом и жидком состоянии. Современные теории строения жидкостей и расплавов. Микронеоднородность шлаковых систем. Диаграммы состояния основных шлаковых систем цветной металлургии. Физико-химические свойства и строение расплавленных сульфидов. Активность компонентов в оксидных и сульфидных системах. Скорость осаждения и всплывания дисперсной фазы в жидкой среде. Механизм перехода ценных компонентов через границу раздела. Потери металлов при плавках. Зависимость потерь металлов от вязкости, удельного веса, температуры, состава шлаков. Ликвация и ликвационное рафинирование металлов. Направленная кристаллизация. Равновесный и эффективный коэффициенты распределения примесей при кристаллизации. Зонная плавка.

Выращивание монокристаллов. Термодинамика испарения простых веществ и растворов. Механизм и кинетика процесса испарения. Факторы, влияющие на скорость процесса испарения. Зародышеобразование новой фазы. Кипение расплавов. Молекулярный режим испарения. Потери металлов в виде паров при восстановительном процессе. Отгонка металла из шлака при фьюминговании. Теория процессов конденсации чистых паров и смеси паров с неконденсируемыми газами.

Основные процессы гидрометаллургии и их место в технологии производства цветных металлов. Химизм процессов выщелачивания. Технологические аспекты выщелачивания. Подготовка сырья к процессам выщелачивания. Методы выщелачивания. Прямоточный и противоточный процессы. Термодинамика простого растворения. Характеристика воды как растворителя. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающегося обменными химическими реакциями. Методы расчета констант равновесия. Влияние температуры и давления на равновесный состав систем. Понятие о термодинамике дефектных кристаллов. Термодинамика процессов выщелачивания, сопровождающихся окислительно-восстановительными реакциями. Окислительно-восстановительное равновесие воды и водных растворов. Диаграммы Eh–pH (Пурбе), их построение и анализ. Общая характеристика выщелачивания как гетерогенного процесса, протекающего с участием двух и более фаз. Общее уравнение кинетики процесса выщелачивания и его анализ. Особенности процесса выщелачивания при участии газовой фазы. Закономерности внешней и внутренней диффузии. Правило Пиллинга-Бедвордса. Закономерности протекания процесса в области химической кинетики. Определение природы лимитирующей стадии. Общие сведения о сорбентах и ионообменных материалах. Неорганические ионообменники, активированные угли, синтетические смолы и их характеристика. Равновесие ионного обмена. Селективность ионного обмена. Изотермы сорбции. Влияние состава и pH раствора на коэффициенты распределения и

разделения. Кинетика ионного обмена. Ионный обмен в колонках. Сорбционное извлечение металлов из пульп. Общие сведения о методах жидкостной экстракции. Типы экстрагентов и их характеристика. Растворители и их влияние на процесс экстракции. Особенности равновесия реакций в процессах экстракции нейтральными, катионообменными и анионообменными экстрагентами. Кинетика процессов экстракции и разделения органической и водной фаз. Принципы аппаратного осуществления процессов экстракции. Экстракторы типа смеситель–отстойник, колонные и центробежные экстракторы. Примеры использования процессов экстракции в цветной металлургии. Цементация металлов как процесс внутреннего электролиза. Теоретический и реальный пределы цементации. Механизм и кинетика процесса. Побочные процессы и их подавление. Принципы аппаратного оформления процесса цементации и формы цементирующего металла. Кристаллизация солей. Истинное и метастабильное равновесие в водных растворах. Методы кристаллизации солей. Изотермическая и изогидрическая кристаллизация. Механизм и кинетика процессов кристаллизации солей. Понятие о гомогенном и гетерогенном зародышеобразовании. Роль затравки в процессе кристаллизации и перекристаллизация осадков. Общие закономерности осаждения труднорастворимых соединений. Растворимость и произведение растворимости труднорастворимых соединений. Влияние температуры, избытка одноименных ионов, ионной силы раствора, процессов комплексообразования и рН раствора на растворимость малорастворимых соединений. Закономерности гидратообразования: рН начала осаждения как функция ПР и активности ионов в растворе. Влияние степени окисления иона на эту функцию. Разделение металлов методом гидролиза.

Электрохимические процессы. Основные электрохимические и электрометаллургические производства. Скачок потенциала на границе электрод – электролит. Ток обмена. Двойной электрический слой (Д.Э.С.). Равновесные электродные потенциалы. Стандартный потенциал. Формула

Нернста. Использование стандартных потенциалов для описания химического равновесия в растворе. Классификация электродов. Электроды первого и второго рода. Электроды сравнения и измерение рН. Гальванический элемент и его электродвижущая сила. Методы и аппаратура для измерения электродвижущих сил. Прохождение электрического тока через электрохимическую систему. Катодные и анодные процессы, активные и пассивные электроды. Законы электролиза. Электрохимический эквивалент. Выход по току. Понятие о гальваностегии и гальванопластике. Электроанализ и кулонометрия. Напряжение разложения и обратная электродвижущая сила. Удельный расход энергии при электролизе, выход по энергии. Понятие об электродной поляризации. Влияние плотности тока на поляризацию электрода. Предельная плотность тока и уравнение концентрационной поляризации. Электрохимическая поляризация (перенапряжение) и уравнение Тафеля. Закономерности электрокристаллизации осадков. Факторы, влияющие на структуру осадка. Условия и особенности образования компактных и порошкообразных катодных осадков. Анодные процессы. Анодное растворение металлов с образованием хорошо растворимых соединений. Анодная пассивация и нерастворимые аноды. Электродное равновесие в расплавах. Определение электродных потенциалов и электродвижущих сил в расплавленных солях. Напряжение разложения расплавленных солей. Особенности поляризации в расплавах. Взаимодействие электродных продуктов между собой и с расплавом электролита. Влияние свойств электролита (плотности, вязкости, поверхностного натяжения, давления пара и др.) на показатели процесса.

Раздел 3. Основы анализа веществ и исследования физико-химических систем

Аналитическая химия и химический анализ. Основные понятия исследования химических систем: метод анализа вещества, методика анализа, качественный химический анализ, количественный химический и физико-химический анализ, молекулярный анализ, фазовый анализ.

Некоторые положения теории растворов электролитов. Сильные и слабые электролиты. Концентрации растворов. Характеристика рН водных растворов электролитов. Применение закона действующих масс в аналитической химии. Химическое равновесие. Константа химического равновесия. Гетерогенные равновесия в системе осадок – насыщенный раствор малорастворимого электролита и их роль в аналитической химии. Кислотно-основные равновесия и их роль в аналитической химии. Гидролиз. Буферные растворы. Окислительно-восстановительные равновесия и их роль в аналитической химии. Равновесия комплексообразования и их роль в аналитической химии. Применение органических реактивов в аналитической химии. Методы разделения и концентрирования веществ в аналитической химии. Осаждение и соосаждение. Экстракция. Стадии химического анализа. Постановка аналитической задачи. Выбор метода анализа. Выполнение анализа. Оценка качества анализа. Принятие решения по результатам анализа. Классификация методов анализа. Физические величины для выражения состава вещества. Международная система единиц. Величины, зависящие от вида химических частиц определяемого компонента. Величины, не зависящие от вида химических частиц определяемого компонента. Закон химических эквивалентов. Наименование и обозначение физических величин при применении закона химических эквивалентов. Оценочные и точные расчеты/ Основные понятия: процесс разделения, процесс концентрирования, компоненты системы, химическое разделение, маскирование, процессы распределение и перемещения. Относительное концентрирование. Индивидуальное концентрирование. Групповое концентрирование. Количественные характеристики разделения и концентрирования: степень извлечения, коэффициент концентрирования, коэффициент разделения. Классификация методов разделения и концентрирования/ Особенности и область применения физико-химических методов анализа. Предел обнаружения физико-химических методов анализа. Аналитический сигнал. Достоинства использования физико-химических

методов анализа. Дистанционный анализ. Недеструктивный анализ. Локальный анализ. Погрешность методов. Классификация физико-химических методов анализа. Оптические методы. Электрохимические методы. Хроматографические методы. Основные приемы, используемые в физикохимических методах анализа. Метод прямых измерений. Интенсивность аналитического сигнала. Градуировочная характеристика. Метод градуировочного графика. Метод молярного свойства. Метод добавок. Метод косвенных измерений. Кривые титрования

Раздел 4. Металлургия лёгких и редких металлов

Физико-химические свойства алюминия и его соединений. Применение, масштабы производства и потребления алюминия. Минералы, руды и концентраты алюминия. Краткая характеристика промышленных методов переработки алюминийсодержащего сырья. Технологии производства глинозема. Теория, технология и практика производства глинозёма: способ Байера; способ спекания; комбинированный способ Байер-спекание; способы комплексной переработки нефелинов и алунитов; гидрохимический способ Пономарева-Сажина.

Основные принципы выбора и конструирования гидromеталлургической аппаратуры. Проточное (перколяционное) и агитационное выщелачивание. Основные аппараты и аппаратурно-технологические схемы процесса выщелачивания. Принцип расчета и выбора аппаратов различного типа. Принцип организации процесса выщелачивания в реакторах различного типа. Типы механических мешалок, их конструкционные особенности и области применения (лопастные мешалки, пропеллерные, турбинные, цепные, специальные). Моделирование и принцип расчёта механических мешалок. Критерии гидродинамического подобия для процесса перемешивания. Мешалки с пневматическим перемешиванием. Расчет потребного количества и давления воздуха (газа), необходимого для пневматического перемешивания. Автоклавы и их расчет. Способы разделения пульп и суспензий. Разделение пульп гравитационным способом,

путем фильтрации и за счет центробежных сил. Отстойники, их расчет и принцип выбора конструкции и типоразмера. Схемы непрерывной противоточной промывки. Классификация фильтрующих перегородок и факторы, влияющие на выбор фильтров. Фильтры периодического и непрерывного действия. Центрифугирование. Классификация центрифуг по фактору разделения. Устройство центрифуг. Теплообменная аппаратура. Способы нагрева и охлаждения. Выбор теплоносителя или охлаждающего агента. Типовые группы теплообменных устройств: нагрев паром, жидкостями, газами и электрическим током. Охлаждающие агенты. Принцип расчета поверхностных теплообменников. Выпаривание. Аппаратура для выпаривания. Выпаривание при различных давлениях. Факторы, влияющие на производительность и интенсивность работы выпарных аппаратов. Устройство выпарных аппаратов. Аппаратура для кристаллизации. Типы и основы конструкций кристаллизаторов. Принцип выбора аппаратов для кристаллизации. Уравнение для определения количества образовавшихся кристаллов. Аппаратура для процессов сорбции, экстракции и ректификации. Основные виды аппаратов, их устройство, конструктивные особенности и принцип работы. Основы технологического расчета и выбор аппаратов для процессов массопередачи.

Электролиз расплавленных солей. Получение первичного алюминия: производство фтористых солей; производство углеродистых изделий; теория, технология и практика электролиза криолит-глиноземных расплавов; рафинирование алюминия; металлургия вторичного алюминия; проблемы защиты окружающей среды. Конструкции электролизеров. Литейное производство легких сплавов

Металлургия магния: сырьё и его подготовка к переработке; электролитическое получение магния; получение магния металлургическим способом; технология совместной переработки титанового и магниевого сырья.

Металлургия титана: сырьё и его подготовка к переработке; получение

магния; получение титановой губки; технология совместной переработки титанового сырья.

Характеристики редких металлов и редкоземельных металлов. Источники сырья. Способы извлечения, термодинамика процессов. Экстракция легких и тяжелых РЗМ. Каскадное извлечение. Электрохимическое извлечение.

III. Методические указания по подготовке и выполнению вступительного испытания

Основной целью вступительного испытания при поступлении в магистратуру является выявление следующих компетенций:

- знание профессиональной терминологии, принципов организации металлургического производства, структуры металлургической отрасли и её значения для народного хозяйства;

- знание теоретических основ пиро-, гидро- и электрометаллургических процессов и методических основ проведения теоретических расчётов;

- знание принципов аппаратного оформления основных типов металлургических процессов, методов расчёта и выбора металлургического оборудования;

- знание теоретических и технологических основ переработки рудного сырья природного и техногенного происхождения с получением основных групп цветных металлов;

- знание методологических основ выполнения технологических и технико-экономических расчётов, организации и выполнения экспериментальных исследований применительно к процессам и системам металлургического производства.

IV. Рекомендованный библиографический список

Основная литература

1. Атлас минерального сырья, технологических промышленных продуктов и товарной продукции ЗФ ОАО ГМК «Норильский Никель». Л.Ш. Цемехман [и др.]. М.: ИД «Руда и металлы», 2010. 336 с.
2. Дубовиков О.А. Эффективные технологии переработки низкокачественных бокситов / О.А. Дубовиков, В.М. Сизяков // Горный университет. СПб, 2012. 113 с.
3. Литвинова Т.Е. Металлургия иттрия и лантаноидов / Т.Е. Литвинова. Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2012. 272 с.
4. Логинова, И.В. Технология производства глинозема : учебное пособие / И. В. Логинова, А. В. Кырчиков, Н. П. Пенюгалова; под общ. ред. проф. И. В. Логиновой. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 336 с.
5. Львов В.В., Николаева Н.В. Теплотехника: Учебное пособие / В.В. Львов, Н.В. Николаева: СПб, 2016. 198 с.
6. Марченко, Н. В. Metallургия тяжелых цветных металлов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Н. В. Марченко, Е. П. Вершинина, Э. М. Гильдебрандт. – Электрон. дан. (6 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. 394 с.
7. Мастюгин С.А., Набойченко С.С., Волкова Н.А. Типовое оборудование для гидрометаллургических процессов. Екатеринбург 2010. 229 с.
8. Мастюгин С.А., Волкова, Н.А., Набойченко С.С., Ласточкина М.А. Шламы электролитического рафинирования меди и никеля. Екатеринбург: УрФУ, 2013.-258 с.
9. Набойченко С.С., Шнеерсон Я.М., Калашникова М.И., Чугаев Л.В. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов. Екатеринбург. ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2008 г. т. 2. 612 с.
10. Романтеев Ю.П., Быстров В.П. Metallургия тяжелых цветных металлов. Свинец. Цинк. Кадмий. М.: Издательский дом МИСиС, 2010. – 575 с.
11. Сизяков В.М. Технологические и методологические основы получения алюминия на мощных алюминиевых электролизёрах / В.М. Сизяков, В.Ю. Бажин. Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2011. 130 с
12. Сизяков В.М. Получение порошков алюминия, магния и титана с

использованием методов нанометаллургии / В.М. Сизяков, В.Г. Гопиенко, С.В. Александровский. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2008. 95 с.

13. Технологические расчеты и задачи по металлургии тяжелых цветных металлов. Учеб. пособие / А.К.Орлов, Г.В.Коновалов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2009. 105 с.

14. Черемисина О.В. Теория и практика извлечения цветных, чёрных и редкоземельных металлов из промышленных растворов, стоков, природных вод и грунтов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2008.148 с.

Дополнительная литература

1. Абрамов В.Я. Физико-химические основы комплексной переработки алюминиевого сырья (щелочные способы) / В.Я.Абрамов, Г.Д. Стельмакова, И.В. Николаев. М.: Металлургия, 1985. 288 с.

2. Анодная и катодная медь / Вольхин А.И., Елисеев Е.И., Жуков В.П. и др. Челябинск: Производственное объединение «Книга», 2001. 433 с.

3. Беляев А.И. Металлургия легких металлов. М.: Металлургия, 1970. 367 с.

4. Борисоглебский Ю.В. и др. Теория и технология электрометаллургических процессов. Лабораторный практикум. М., Металлургия, 1994. 237 с.

5. Бричкин В.Н. Металлургия лёгких металлов. Производство алюминия и магния: Лабораторный практикум / В.Н. Бричкин, В.М. Сизяков. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2005. 88 с.

6. Бричкин В.Н. Процессы массовой кристаллизации из растворов в производстве глинозёма / В.Н. Бричкин, В.М. Сизяков. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2005. 134 с.

7. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1993. 384с.

8. Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья: Учебник для вузов. Челябинск: Металлургия, 1988. 432 с.

9. Ветюков М.М. Электрометаллургия алюминия и магния / М.М. Ветюков, А.М. Цыплаков, С.Н. Школьников. М.: Металлургия, 1987. 320 с.

10. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения

- технологических задач. М.: Издательский дом "Руда и металлы", 1999. 147 с.
11. Дэвенпорт У.Г.; Джоунс Д.М.; Кинг М.Дж.. Взвешенная плавка: контроль, анализ и оптимизация. Под редакцией Старых Р.В. - Москва, МИСиС.- 2006.- 399с.
 12. Зеликман А.Н. и др. Теория гидрометаллургических процессов. М, Metallurgia. 1985. 504 с.
 13. Еремин Н.И. Процессы и аппараты глиноземного производства / Н.И.Еремин, А.Н.Наумчик, В.Г.Казаков. М.: Metallurgia, 1980. 360 с
 14. Зайцев В.Я., Маргулис Е.В. Metallurgia свинца и цинка. М.: Metallurgia, 1985. 261 с.
 15. Коротич В.И. Начала металлургии: учебник / В.И. Коротич, С.С. Набойченко, А.И.Сотников и др.–Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000.– 392 с.
 16. Левин А.И. Электрохимия цветных металлов. М.: Metallurgia, 1982, 255с.
 17. Кобахидзе В.В. Тепловая работа и конструкции печей цветной металлургии. – М.: МИСИС, 1994. – 356 с.
 18. Лайнер А.И. Производство глинозема / А.И.Лайнер, Н.И.Еремин, Ю.А.Лайнер, И.З. Певзнер. М.: Metallurgia, 1978. 344 с.
 19. Набойченко С.С. Процессы и аппараты цветной металлургии / Набойченко С.С., Агеев Н.Г., Дорошкевич А.П., Жуков В.П. и др. – Екатеринбург, 2005. – 699с.
 20. Набойченко С.С., Юнь А.А. Расчеты гидрометаллургических процессов. М.: МИСИС, 1995, 428 с.
 21. Орлов А.К., Коновалов Г.В. Основы производства и обработки металлов. СПб. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2006. 115 с.
 22. Погодаев А.М. Основы теории пирометаллургических процессов: Учебное пособие / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск: ГУЦМиЗ, 2004. – 136 с.
 23. Погодаев, А.М. Применение диаграмм плавкости оксидных систем для технологических процессов плавки металлургического сырья / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск: ГАЦМиЗ, 1989. - 36 с.
 24. Погодаев А.М. Теория пирометаллургических процессов: сборник задач / А.М. Погодаев, И.А. Погодаева. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т; Ин-т цв. металлов и золота, 2007. – 68 с.
 25. Позин М.Е. Физико-химические основы неорганической технологии: Учеб. пособие для вузов / М.Е. Позин, Р.Ю. Зинюк. СПб.: Химия, 1993. 440 с.

26. Сизяков В.М. Современное состояние и проблемы развития алюминиевой промышленности России. СПб., Записки Горного института. Т.165. 2005. С. 163-169.

27. Сизяков В.М. Металлургия лёгких металлов. Производство глинозёма. Лабораторный практикум / В.М. Сизяков, В.Н. Бричкин. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб., 2004. 90 с.

28. Теория металлургических процессов: учебное пособие для вузов / Д.И. Рыжонков, П.П. Арсентьев, В.В. Яковлев и др. – М.: Металлургия, 1989. – 392 с.

29. Уткин Н.И. Цветная металлургия. Технология отрасли. М., Металлургия, 1990. с.448.

30. Худяков И.Ф., Кляйн С.Э., Агеев Н.Г. Металлургия меди, никеля, сопутствующих элементов и проектирование цехов: Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1993. 432 с.

Базы данных, информационно - справочные системы

- | | | |
|----|---|---|
| 1. | Российская государственная библиотека | www.rsl.ru |
| 2. | Российская национальная библиотека | www.nlr.ru |
| 3. | Библиотека Академии наук | www.rasl.ru |
| 4. | Библиотека по естественным наукам
РАН | www.benran.ru |
| 5. | Всероссийский институт научной и
технической информации (ВИНИТИ) | www.viniti.ru |
| 6. | Государственная публичная научно-
техническая библиотека | www.gpntb.ru |
| 7. | Научная библиотека Санкт-
Петербургского государственного университета | www.geology.pu.ru/library/
elibrary.ru |
| 8. | Научная электронная библиотека
eLIBRARY.RU | |
| 9. | Поисковые системы Yandex, Google,
Rambler, Yahoo и др. | |