

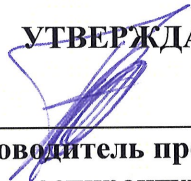
ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

УТВЕРЖДАЮ


Руководитель программы
аспирантуры
профессор В.Ю. Бажин

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ
ЗАНЯТИЙ**

**РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦВЕТНЫХ РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ И ИННОВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

Подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Область науки:	2. Технические науки
Группа научных специальностей:	2.6. Химические технологии, науки и материалах, металлургия
Научная специальность:	2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов
Отрасли науки:	Технические
Форма освоения программы аспирантуры:	Очная
Срок освоения программы аспирантуры:	4 года
Составитель:	д.т.н., проф. В.Ю.Бажин

Санкт-Петербург

Введение

Настоящие методические рекомендации разработаны на основе рабочей программы дисциплины «Разработка и оптимизация технических решений для производства цветных редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе» и предназначены для подготовки практических занятий с обучающимися. Подготовка к отдельному учебному занятию, а также к учебному курсу в целом – очень сложная работа, для которой недостаточно знаний по специальности, необходимы также знания по психологии, логике, риторике.

Для того чтобы подготовить хорошее занятие и грамотно оценить его место в системе учебного курса необходимы теоретические знания и опыт. Необходимо знать критерии оценки результатов учебного курса в целом и каждого занятия в отдельности (в том числе и то, как то и другое оценивают слушатели – аспиранты), правила подготовки грамотного преподнесения учебной информации слушателям. Важно и умение оценить свой опыт, понять, что нужно для того, чтобы обеспечить педагогическое саморазвитие.

Изучение аспирантами дисциплины «Разработка и оптимизация технических решений для производства цветных редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе» включает

- изучение физико-химических основ и технологических принципов разработки и оптимизации технических решений производства цветных, редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе;
- освоение методов разработки и оптимизации технических решений для производства цветных редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе;
- обучение практическим навыкам выполнения физико-химических и технологических расчётов, экспериментального исследования технологических процессов и систем для обоснования и оптимизации технических решений для производства цветных, редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе;
- приобретение навыков разработки новых технических решений и оформления связанной с этим документации на результаты интеллектуальной деятельности.

Практические занятия направлены на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях, а также выработку навыков практического решения задач, приобретение новых, дополнительных знаний, подготовку к предстоящим учебным занятиям и промежуточному контролю.

Практические занятия – обязательная и неотъемлемая часть учебной работы аспиранта, направленная на:

- систематизацию, закрепление, углубление и расширение полученных теоретических знаний и практических умений;
- формирование умений использовать различные информационные источники: нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей, творческой инициативы, ответственности и организованности;
- развитие исследовательских умений;
- приобретение навыков в преподавательской деятельности

В результате изучения дисциплины обучающийся должен демонстрировать способность и готовность:

1. практически использовать полученные знания в сфере физико-химических основ и технологических принципов разработки и оптимизации технических решений производства цветных, редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе;
2. использовать в профессиональной деятельности методы разработки и оптимизации технических решений для производства цветных редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе;

3. выполнения физико-химических и технологических расчётов, экспериментального исследования технологических процессов и систем для обоснования и оптимизации технических решений для производства цветных, редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе;

4. разрабатывать новые технические решения и оформлять связанные с этим документы на результаты интеллектуальной деятельности.

1. Методические рекомендации по организации практических занятий

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Практическим занятиям, как правило, предшествуют лекции. На лекции даются указания по организации и проведению практических занятий, порядке проведения промежуточной аттестации.

Для организации и контроля учебной работы студентов используется метод ежемесячной аттестации обучающегося по итогам выполнения текущих аудиторных, включая практические занятия и самостоятельных (внеаудиторных) работ. Форма промежуточной аттестации: зачёт/дифференцированный зачет.

1.1. Организация практических занятий аспирантов

Практические занятия аспирантов - обязательная и неотъемлемая часть учебной работы по данной дисциплине. Общие планируемые затраты времени на выполнение всех видов аудиторных и внеаудиторных заданий соответствуют бюджету времени работы аспиранта, предусмотренному учебным планом по дисциплине в текущем семестре.

Изучение дисциплины производится в тематической последовательности. Практическому занятию, лабораторной работе и самостоятельному изучению материала, как правило, предшествует лекция. На лекции даются указания по организации самостоятельной работы и срокам сдачи заданий или прохождения тестирования.

1.2. Работа с книгой

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также принципы составления уравнений реакций. Рекомендуется вникать в сущность того или иного вопроса, но не пытаться запомнить отдельные факты и явления. Изучение любого вопроса на уровне сущности, а не на уровне отдельных явлений способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы и уравнения реакций, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к дифференцированному зачету.

Изучение курса должно обязательно сопровождаться выполнением упражнений и решением задач. Решение задач - один из лучших методов прочного усвоения, проверки и закрепления теоретического материала.

1.3. Консультации

Изучение дисциплины проходит под руководством преподавателя на базе делового сотрудничества. В случае затруднений, возникающих при изучении учебной дисциплины, аспирантам следует обращаться за консультацией к преподавателю, реализуя различные коммуникационные возможности: очные консультации (непосредственно в университете в часы приема преподавателя), заочные консультации (посредством электронной почты).

Практические занятия по дисциплине «Разработка и оптимизация технических решений для производства цветных редких и благородных металлов и инновационных материалов на их основе» включает подготовку по результатам лекционных занятий и изучения дополнительных материалов. В методических указаниях описываются действия, которые необходимо выполнить в рамках практических занятий.

2. Тематика практических занятий

№ п/п	Раздел	Тематика практических занятий
1.	Раздел 1. Физико-химические основы ресурсосберегающих процессов извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения	Термодинамические расчёты предельного выхода продуктов химических и электрохимических взаимодействий в технологических системах для производства чёрных, цветных и редких металлов. Кинетический анализ технологических процессов в металлургических системах для производства цветных, редких и благородных металлов.
2.	Раздел 2. Технологические принципы и технологии ресурсосбережения при извлечении цветных, редких и благородных металлов из сырья природного и техногенного происхождения	Проведение технологических, теплотехнических, электротехнологических и технико-экономических расчётов для оптимизации режимов и показателей процессов переработки сырья цветных, редких и благородных металлов
3.	Раздел 3. Методология и методы оптимизации технических решений для достижения ресурсосберегающего эффекта	Разработка математических планов для проведения экспериментального исследования ресурсосберегающих процессов и их оптимизации. Выполнение расчётов для математического описания и поиска области оптимума для реализации ресурсосберегающих процессов в производстве чёрных, цветных и редких металлов.
4.	Раздел 4. Разработка ресурсосберегающих решений и оформление связанной с этим документации на результаты интеллектуальной деятельности	Интерпретация результатов расчётов и экспериментального исследования объектов металлургии. Формы представления результатов теоретических и экспериментальных исследований для ознакомления с ними научного сообщества. Разработка документов на регистрацию результатов интеллектуальной собственности.

Изучать курс рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе. При первом чтении следует стремиться к

получению общего представления об излагаемых вопросах, а также отмечать трудные или неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения и подходы к решению практических задач.

Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее основные понятия, новые незнакомые термины и названия, математические зависимости и их выводы и т.п. Весьма целесообразно пытаться систематизировать учебный материал, проводить обобщение разнообразных фактов, сводить их в таблицы. Такая методика облегчает запоминание и уменьшает объем конспектируемого материала.

Изучая курс, полезно обращаться и к предметному указателю в конце книги и к глоссарию (словарю терминов). Пока тот или иной раздел не усвоен, переходить к изучению новых разделов не следует. Краткий конспект курса будет полезен при повторении материала в период подготовки к промежуточной аттестации.

3. Подготовка к практическим занятиям

Основная цель практических занятий – закрепить в практической форме научные знания по дисциплине, акцентировать внимание на прикладных аспектах её изучения, стимулировать активную познавательную деятельность обучающихся, способствовать формированию их творческого мышления в соответствии с основным содержанием изучаемой дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий
	Введение	Значение передовых и инновационных технических решений, применяемых на современном этапе развития производственного комплекса по переработке сырья цветных, редких и благородных металлов природного и техногенного происхождения. Связь инновационных технических решений с приоритетными направлениями развития науки, технологий и техники в РФ, и стратегией научно-технологического развития РФ.
1.	Физико-химические основы ресурсосберегающих процессов извлечения цветных, редких и благородных металлов при переработке сырья природного и техногенного происхождения.	Термодинамические расчёты предельного выхода продуктов химических и электрохимических взаимодействий в технологических системах для производства цветных редких и благородных металлов. Обоснование выбора термодинамически предпочтительных систем и технологических приёмов направленного смещения равновесий для достижения ресурсосберегающего эффекта. Кинетика гетерогенных процессов и её значение для интенсификации технологических процессов переработки сырья цветных редких и благородных металлов. Физико-химические основы увеличения качества продукции и получения инновационных материалов функционального и конструкционного назначения.
2.	Технологические принципы и технологии ресурсосбережения при извлечении цветных, редких и благородных металлов из сырья природного и	Сырьевая база цветной металлургии и ведущие тенденции её изменения применительно к основным группам цветных и редких металлов. Вовлечение в сферу производства забалансового и нетрадиционного сырья, вторичного сырья и сырья техногенного происхождения. Особенности минерально-сырьевой базы энергетического и вспомогательного сырья и актуальные проблемы её развития. Разработка высокоэффективных технологий переработки, традиционных видов сырья, так и вновь выявленных,

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание лекционных занятий
	техногенного происхождения.	отличающихся сложными горно-геологическими условиями для добычи и неблагоприятным сочетанием химико-минералогического состава для его переработки. Основные направления совершенствования существующих и создания новых технологий, учитывающие использование энергосберегающих решений и ресурсосберегающих процессов. Комплексная переработка исходного сырья, интенсификация технологических процессов, увеличения выхода целевых продуктов и использование экологически безопасных технических решений. Повышение качества производимой продукции и расширение её ассортимента, в том числе, на основе повышения комплексности переработки исходного сырья и производства хозяйственно значимой продукции, обладающей высокими потребительскими свойствами. Создание экологически безопасных производств, отличающихся высокой глубиной переработки сырья на основе комплексного использования всех его компонентов, исключаящих накопление отходов. переработка техногенных отходов и образований; Разработка и внедрение ресурсосберегающих технологических процессов и производств, обеспечивающих комплексное решение технико-экономических и экологических вопросов при добыче и переработке сырья природного и техногенного происхождения. Создание высокопроизводительных, экономичных в эксплуатации и технологичных в изготовлении конструкций машин и механизмов, механизированных и автоматизированных комплексов, аппаратуры для осуществления химико-металлургических процессов, а также вспомогательного оборудования различного назначения.
3.	Методология и методы оптимизации технических решений для достижения ресурсосберегающего эффекта.	Физическое, аналоговое и математическое моделирование технологических процессов и систем. Формулирование задачи оптимизации и выбор критерия оптимальности. Математические модели как основа оптимизации технологических процессов. Оптимизация методом дифференциального исчисления. Поиск оптимума численными методами. Экспериментальный поиск оптимума.
4.	Разработка ресурсосберегающих решений и оформление связанной с этим документации на результаты интеллектуальной деятельности.	ГОСТы и другие нормативные документы, определяющие порядок выполнения, оформления и представления результатов исследований. Роль патентного, метрологического и научно-технического анализа при исследовании объектов металлургической технологии. Интерпретация результатов расчётов и экспериментального исследования объектов металлургии. Формы представления результатов теоретических и экспериментальных исследований для ознакомления с ними научного сообщества. Основные пути и методы использования научных результатов. Оформление документов на результаты интеллектуальной деятельности при разработке новых и инновационных технологических решений.

Аспиранты должны приходить на практические занятия заранее подготовленными.

4. Контрольные вопросы для самопроверки

1. Приведите примеры и проанализируйте инновационные технические решения, используемые в настоящее время при плавке сульфидных руд и концентратов с получением штейна.

2. Дайте характеристику технологических принципов используемых для повышения комплексности использования сырья на примере переработки сульфидных медно-никелевых концентратов.

3. Дайте характеристику технологии автоклавного окислительного выщелачивания сульфидных руд и концентратов и объясните её значение для повышения эффективности переработки сырья природного и техногенного происхождения.

4. На примере переработки цинковых концентратов поясните пределы применения обжиговой технологии и необходимость использования альтернативных технических решений.

5. Дайте характеристику существенных различий в технологии электролитического рафинирования чернового никеля и черновой меди и проанализируйте причины этих различий.

6. Проанализируйте технологические решения, используемые для переработки медных шламов, получаемых при электролитическом рафинировании черновой меди, с позиций их эффективности.

7. Опишите технологические принципы, используемые для создания системы водооборота на металлургических предприятиях.

8. Дайте характеристику технологических решений, используемых в металлургических процессах для уменьшения газовых выбросов и связанных с ними загрязняющих веществ в воздушный бассейн.

9. Объясните технологические принципы безаппаратного выщелачивания руд, приведите примеры её использования и значение для повышения эффективности переработки металлургического сырья.

10. Приведите принципиальную технологическую схему переработки апатит-нефелиновых руд, проанализируйте значение этой технологии для народного хозяйства и перспективы дальнейшего развития.

11. Дайте характеристику технологии комплексной переработки нефелиновых руд и концентратов, оцените степень её инновационности и значение для народного хозяйства.

12. Опишите основные технологические принципы и технические решения для утилизации отвальных продуктов в производстве глинозёма из бокситов.

13. Дайте характеристику энергосберегающих и интенсифицирующих технических решений применительно к автоклавным технологиям глинозёмного производства.

14. Приведите физико-химическое обоснование инновационных технических решений, применяемых в технологии глубокой очистки алюминатных растворов от примеси кремния.

15. Объясните технологические принципы, на которых основаны кислотные технологии переработки высококремнистого алюминиевого сырья, и их значение для развития существующего минерально-сырьевого комплекса.

16. Объясните физико-химические основы и технологические принципы получения крупнозернистого глинозёма, и значение его производства для совершенствования технологии электролитического производства алюминия.

17. Проанализируйте этапы развития конструкций электролизёров и наблюдаемые тренды совершенствования технологии электролитического получения алюминия.

18. Дайте характеристику цикла Байера глинозёмного производства и технологических принципов повышения его эффективности в рамках существующего технологического процесса переработки бокситового сырья.

19. Опишите равновесие в системе $\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{H}_2\text{O}$ и объясните, какие технологические решения необходимы для достижения максимальных показателей по извлечению алюминия в раствор и его осаждению из раствора.

20. Дайте характеристику технологических принципов интенсификации металлургических процессов на основе кинетики гетерогенных процессов. Приведите примеры таких технологических решений.

21. Опишите физико-химическую природу процесса активации твёрдой фазы и её влияния на повышение эффективности технологического процесса. Приведите примеры использования активирующих воздействий в металлургии цветных металлов.

22. Дайте термодинамическую характеристику технологических принципов глубокого осаждения металлов из растворов и приведите примеры соответствующих технологических решений.

23. Объясните физико-химическую природу показателя «выход по току» и приведите известные технологические решения, применяемые в металлургии цветных металлов для его повышения.

24. Объясните термодинамическую роль углерода в процессах хлорирования оксидных соединений металлов, а техническую осуществимость такого подхода на примере технологии получения TiCl_4 .

25. Приведите принципиальную аппаратурно-технологическую схему отделения и противоточной промывки твёрдой фазы с обоснованием принципов ресурсосбережения, вытекающих из теории процесса разделения фаз.

26. Дайте характеристику метода линейного планирования эксперимента и его значение для математического описания объектов металлургии. Приведите пример использования данного метода применительно к изучению конкретного объекта.

27. Дайте характеристику метода покоординатной оптимизации и приведите пример использования данного подхода для определения оптимального режима технологического процесса.

28. Дайте характеристику метода крутого восхождения и приведите пример использования данного метода для определения оптимального режима технологического процесса.

29. Критерии, используемые для выбора оптимального технологического решения.

30. Опишите структурные элементы заявки на результаты интеллектуальной деятельности, а также содержание и назначение отдельных документов в составе заявки.

5. Рекомендуемая литература и источники в сети Интернет

5.1. Основная литература

1. Металлургия тяжелых цветных металлов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / Н. В. Марченко, Е. П. Вершинина, Э. М. Гильдебрандт. Красноярск : ИПК СФУ, 2009. http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/1821/u_manual.pdf.

2. Металлургия цветных металлов [Электронный ресурс] : учебник / В. М. Сизяков [и др.]. - СПб. : Горн. ун-т, 2015. - 392 с. : рис., табл. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). - Библиогр.: с. 390-391 (30 назв.). - ISBN 978-5-94211-746-7 : Б. ц. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108#.

3. Литвинова Т.Е. Металлургия иттрия и лантаноидов. РИЦ Горного университета. 2012. 272 с. <http://www.catalog.spmi.ru/marcweb2/ShowMarc.asp?docid=68633>.

4. Дубовиков О.А. Эффективные технологии переработки низкокачественных бокситов / О.А. Дубовиков, В.М. Сизяков. Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». СПб, 2012. 195 с.

5. Сизяков В.М. Технологические и методологические основы получения алюминия на мощных электролизёрах / В.М. Сизяков, В.Ю. Бажин. Санкт-Петербургский государственный горный университет. СПб, 2011. 130 с.

6. Черемисина О.В. Теория и практика извлечения цветных, чёрных и редкоземельных металлов из промышленных растворов, стоков, природных вод и грунтов / О.В. Черемисина. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2008. 148 с.

7. Бажин В.Ю. Организация и планирование эксперимента: учебное пособие. – СПб.: ЛЕМА, 2015. 130 с.

8. Сырков А.Г. Нанотехнологии и наноматериалы для минерально-сырьевого комплекса: Учебное пособие / А.Г. Сырков. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. 130 с. <http://www.catalog.spmi.ru/marcweb2/ShowMarc.asp?docid=70415>

9. Шариков Ю.В. Моделирование систем. Часть 1: Синтез моделей и уравнений химической кинетики / Ю.В. Шариков, И.И. Белоглазов. Санкт-Петербургский государственный горный институт. СПб, 2011. 108 с.

10. Болобов В.И. Безопасность применения титана в автоклавных процессах цветной металлургии с применением газообразного кислорода: Монография. СПб.: Издательство «Лань», 2015. 144 с.

11. Сизяков В.М. Получение порошков алюминия, титана и магния с использованием методов нанометаллургии: Учебное пособие / В.М. Сизяков, В.Г. Гопиенко, С.В. Александровский. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2008. 95 с.

12. Интеллектуальная собственность : законодательство и практика его применения: учеб. пособие / В.В. Белов, Г.В. Виталиев, Г.М. Денисов. М.: Юристъ. 1999. 288 с. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=31.2я2%2FA 500-953117<>

13. Закон РФ «Об авторском праве и смежных правах» от 9 июля 1993 г. № 5351-I с изм. от 19 июля 1995 г. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=31.2я2%2FA 500-953117<>

14. Интеллектуальная собственность: научное издание / П.Б. Мэггс, А.П. Сергеев. М.: Юристъ. 2000. 400 с. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=108&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<>I=31.2я2%2FA 500-953117<>

5.2. Дополнительная литература

1. Вольдман Г.М., Зеликман А.Н. Теория гидрометаллургических процессов. Учебное пособие для вузов. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Интермет Инжиниринг, 2003. — 464 с. <https://www.twirpx.com/file/264217/>

2. Расчеты в металлургии свинца, цинка и кадмия. Ю.П. Романтеев, А.А. Комков, А.Н. Федоров и др. — Под ред. В.П. Быстрова. Учебное пособие. — М.: МИСиС, 2006. — 231 с. <https://www.twirpx.com/file/2029246/>

3. Процессы и аппараты цветной металлургии. С.С. Набойченко, Н.Г. Агеев, А.П. Дорошкевич, В.П. Жуков, Е.И. Елисеев, С.В. Карелов, А.Б. Лебедь, С.В. Мамяченков. Учебник для вузов. — Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ—УПИ, 2005. — 700 с. <https://www.twirpx.com/file/1526848/>

4. Бурухин А.Н. и др. Общие основы получения цветных металлов. Учебное пособие. — 2-е изд., доп. — Москва: Норильский никель, 2005. — 170 с. <https://www.twirpx.com/file/1990214/>

5. Уткин Н.И. Производство цветных металлов. М.: Интермет Инжиниринг, 2000. — 442 с. <https://www.twirpx.com/file/484531/>

6. Автоклавная гидрометаллургия цветных металлов / С.С. Набойченко, П.П. Ни, Я.М. Шнеерсон, Л.В. Чугаев. Научное издание/ — Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, — 2002, — 940 с. <https://www.twirpx.com/file/1601739/>

7. Бричкин В.Н., Сизяков В.М. Металлургия легких металлов. Производство алюминия и магния. Лабораторный практикум. — СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2005. — 88 с.
<https://www.twirpx.com/file/135699/>

8. Сизяков В.М., Бричкин В.Н. Металлургия легких металлов. Производство глинозема. Лабораторный практикум. — СПб: Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2004. — 90 с.
<https://www.twirpx.com/file/1511850/>

9. Грейвер Т.Н. Основы методов постановки и решения технологических задач цветной металлургии. М., ГУП ИД «Руда и металлы». 1999. 147 с.

10. Петров Г.В. Концентрирование платиновых металлов при переработке традиционного и нетрадиционного платинометалльного сырья. СПб. Санкт-Петербургский горный ин-т. 2001, 106 с.

11. Бричкин В.Н. Процессы массовой кристаллизации из растворов в производстве глинозёма / В.Н.Бричкин, В.М. Сизяков. СПГГИ (ТУ). СПб., 2005. 134 с.

12. Теляков Н.М. Теория и практика извлечения благородных металлов при комплексной переработке руд с применением сегрегационного и сульфатизирующего обжигов / Н.М. Теляков. Санкт-петербургский горный институт. СПб, 2000. 60 с.

13. Власов К.П. Методы научных исследований и организации эксперимента. СПб., СПГГИ. 2000. 116 с.

14. Шариков Ю.В. Моделирование процессов и объектов в металлургии / Ю.В. Шариков, И.Н. Белоглазов, А.Ю. Фирсов. СПГГИ (ТУ). СПб., 2006. 83 с.

15. Протосеня А.Г. выбор оптимального варианта технологии металлургического процесса. Учебное пособие. Л., изд. ЛГИ, 1985. 71 с.

16. Грейвер Т.Н. Методы постановки и решения технологических задач. Учебное пособие / Т.Н. Грейвер, И.Г. Зайцева. Л., изд. ЛГИ, 1980. 74 с.

17. Доброхотов Г.Н. Гидрометаллургические расчеты: Учебное пособие. Л.: ЛГИ, 1980. 102 с.

18. Шалыгин Л.М. Расчёты пирометаллургических процессов на основе простых математических моделей/ Л.М. Шалыгин, Т.Р. Косовцева, С.Н.Салтыкова. СПГГИ (ТУ). СПб., 1996. 65 с.

19. Тихонов О.Н. Простые математические модели металлургических процессов. ЛГИ. Л., 1978. 109 с.

20. Арене В.Ж. Творчество в науке: учебное пособие. - Изд-во Моск. гос. горного ун-та, 2007. 326 с. <http://www.knigafund.ru/books/176177>

21. Левахин, В.И. Методика научных исследований: учебное пособие / В.И. Левахин, С.И. Николаев, А.В. Харламов, Г.И. Левахин. Волгоград: Волгоградский ГАУ. 2015. 88 с.
<https://e.lanbook.com/book/76660>.

5.3. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспиранта

Коган В.Е. Методические указания для самостоятельной работы аспирантов
<http://ior.spmi.ru>.

5.4. Базы данных, электронно-библиотечные системы, информационно-справочные и поисковые системы

1. Основные информационно-справочные и поисковые системы патентных ведомств различных стран, базы данных российских и иностранных изобретений находятся в постоянном доступе на сайте патентного ведомства РФ (РОСПАТЕНТ, ФИПС)
<http://www.fips.ru>

2. Информационно-поисковая система - поиск российского патентного документа РФ <http://www.fips.ru>

3. Открытые ресурсы - открытый реестр изобретений РФ - полезных моделей РФ - промышленных образцов РФ и другое -поиск патентного документа РФ по номеру (полное описание, формула) <http://www.fips.ru>
4. Электронно-библиотечная система издательства «Лань» <https://e.lanbook.com/>
5. Электронно-библиотечная система издательства «Юрайт» <https://biblio-online.ru/>
6. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>
7. Электронно-библиотечная система «ZNANIUM.COM» <https://znanium.com>
8. Электронно-библиотечная система «IPRbooks» <https://iprbookshop.ru>
9. Электронно-библиотечная система «Elibrary» <https://elibrary.ru>
10. Автоматизированная информационно-библиотечная система «Mark -SQL» <https://informsystema.ru>
11. Система автоматизации библиотек «ИРБИС 64» <https://elnit.org>
12. Электронная база данных Scopus <https://scopus.com>
13. Справочно-правовая информационная система Консультант Плюс <http://www.consultant.ru/>.
14. Электронно-периодический справочник «Система Гарант» <http://www.garant.ru/>.