



МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет)»
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

 А. Н. Шевчик

« 29 »

2022 г.



Программа кандидатского экзамена

2.6.8 «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов»

Санкт-Петербург
2022

Введение

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 2.6.8 «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов». Экзаменуемый должен показать высокий уровень теоретической и профессиональной подготовки, знание общих концепций и методологических вопросов научной специальности, истории ее формирования и развития, глубокое понимание основных разделов теории и практики изученного материала, а также умение применять свои знания для решения исследовательских и прикладных задач.

Настоящая программа составлена на кафедрах технологии редких, рассеянных и радиоактивных элементов и инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уровню владения теоретическим материалом, терминологической подготовленности и степени освоения дисциплины «Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов».

1. Порядок проведения кандидатского экзамена

Проведение кандидатского экзамена осуществляется в форме открытого заседания экзаменационной комиссии. Кандидатский экзамен проводится в устной форме.

Аспиранты с ограниченными возможностями здоровья могут сдавать данный экзамен, как в устной форме, так и в письменной форме.

Экзаменационные билеты должны включать два вопроса из программы кандидатского экзамена по специальности и один вопрос из дополнительной программы, которая составляется аспирантом (соискателем) совместно с научным руководителем в соответствии с темой диссертационной работы соискателя и рассматривается на заседании кафедры.

Для подготовки к ответу аспиранту отводится не более 60 минут, а на ответ – не более 30 минут. При ответе на вопросы экзаменационного билета члены экзаменационной комиссии могут задавать дополнительные вопросы аспиранту только в рамках содержания вопросов экзаменационного билета.

Во время заседания экзаменационной комиссии ведётся протокол в соответствии с установленным образцом.

Решение экзаменационной комиссии принимается на закрытом заседании простым большинством голосов членов комиссии. Уровень знаний оценивается на "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Результаты экзамена оформляются протоколом и объявляются всем аспирантам группы в тот же день после завершения сдачи кандидатского экзамена.

Все прочие необходимые условия приема кандидатского экзамена изложены в нормативных документах (локальных актах) СПбГТИ(ТУ).

2. Основное содержание программы кандидатского экзамена Технология редких, рассеянных и радиоактивных элементов

2.1 Общие сведения

Понятие редкие элементы. Классификация редких элементов (легкие, рассеянные, тугоплавкие, редкоземельные, радиоактивные, благородные). Роль редких элементов в развитии важнейших направлений научно-технического прогресса. Области применения в современной науке и технике. Редкометальное сырье. Распространенность элементов в земной коре. Минералы и руды редких элементов. Рудные месторождения. Особенность нахождения в земной коре рассеянных редких элементов. Природные запасы и перспективы их увеличения. Вторичное и техногенное сырье и его роль в сырьевой базе редких элементов. Задачи комплексной переработки сырья.

2.2 Химия редких элементов

Положение редких и радиоактивных элементов в периодической системе Д.И. Менделеева и их электронное строение.

Редкоземельные элементы, лантаноиды и актиноиды. Явление лантаноидного сжатия. Вторичная периодичность в группе лантаноидов.

Радиоактивные семейства.

Простые вещества. Физические и химические свойства редких элементов.

Соединения. Строение и свойства важнейших бинарных соединений редких элементов – оксидов, фторидов, хлоридов, гидридов, сульфидов, карбидов, сульфатов, нитратов, фосфатов и др., а также комплексных соединений.

Растворы соединений редких элементов. Состояние в растворах. Гидратация ионов и энергия гидратации. Комплексообразование в растворах. Внутрисферные и внешнесферные комплексы. Ступенчатое комплексообразование. Устойчивость комплексных соединений в растворах, константы устойчивости комплексных ионов. Гидролиз и полимеризация. Окислительно-восстановительные реакции в растворах.

2.3 Технология редких элементов

Специфика технологии редких и радиоактивных элементов. Пирометаллургические и гидрометаллургические процессы и их сочетание. Принципы построения технологических схем. Требования к чистоте редкометалльной продукции. Химическая, физическая, изотопная и радиохимическая чистота. Методы повышения извлечения, снижения расхода сырья, энергии и воды при получении редкометалльной продукции. Пути интенсификации производств. Обеспечение радиационной безопасности. Отходы и методы их обезвреживания.

Измельчение и обогащение руд. Принципы организации дробления и измельчения. Дробилки. Мельницы и диспергаторы. Гравитационное, флотационное, магнитное, электростатическое и радиометрическое обогащение. Аппаратура для обогащения. Химическое обогащение руд.

Выщелачивание и растворение. Реагенты, используемые при выщелачивании. Разновидности выщелачивания. Кинетика выщелачивания. Способы осуществления выщелачивания. Каскады выщелачивания. Механическая переработка пульп после выщелачивания - сгущение, отстаивание, декантация, гидроциклонирование.

Процессы кристаллизации, осаждения и соосаждения с коллекторами. Поведение примесей при кристаллизации основного вещества. Явление сокристаллизация (изоморфизма) и соосаждения. Выделение редких и примесных компонентов в виде малорастворимых соединений.

Ионообменная сорбция. Физико-химические основы процессов ионообменной сорбции. Классификация и строение ионитов, основы синтеза. Равновесие ионного обмена, природа селективности ионитов к тем или иным ионам. Кинетика ионообменной сорбции. Сорбция из осветленных растворов и из пульп, сорбционное выщелачивание. Динамика сорбции-десорбции. Фронтальная и элюэнтная хроматография. Оборудование для реализации ионообменных процессов. Примеры применения процессов ионообменной сорбции в технологии редких элементов, включая рассеянные и радиоактивные элементы. Их возможности для решения проблем защиты окружающей среды и переработки бедного сырья.

Жидкостная экстракция. Физико-химические основы экстракционных процессов. Классификация и строение экстрагентов. Равновесие в экстракционных системах, влияние разбавителей на равновесие. Высаливание. Синергетный эффект. Кинетика экстракционных процессов. Оборудование для реализации экстракционных процессов. Принципы расчета и построения экстракционных каскадов. Примеры применения

экстракционных процессов в технологии редких и радиоактивных элементов.. Характеристики процесса с экологических позиций.

Электрохимические процессы. Электроэкстракция, выделение примесей на катоде, анодное рафинирование. Кинетика процессов. Явление поляризации. Поляризационные кривые. Твердые и жидкие электроды. Цементация из растворов как электрохимический процесс. Электродиализ.

Получение оксидов и галогенидов. Термическое разложение гидроксидов и солей. Принципы газовой металлургии. Реагенты для хлорирования и фторирования. Основные аппараты для высокотемпературных процессов – трубчатые и шахтные печи, реакторы кипящего слоя. Процессы в солевых расплавах. Процессы пылеулавливание и газоочистки. Возможности применения плазмотронов. Примеры технологических схем производства оксидов, фторидов и хлоридов редких металлов. Улавливание галогенов и галогенидов из отходящих газов.

Получение и рафинирование металлов. Общая характеристика методов получения редких металлов. Металлотермия, силикотермия и карботермия, восстановление водородом. Порошковая металлургия как метод получения компактных тугоплавких металлов. Вакуумная плавка (дуговая и электроннолучевая) и плазменная плава. Рафинирование металлов. Кристаллизация из расплавов – направленная кристаллизация, зонная плавка, метод Вернейля, восстановление из газовой фазы. Химические транспортные реакции.

Экологические аспекты редкометального производства. Законодательные акты в области охраны природы. Поведение сопутствующих токсичных и радиоактивных элементов при переработке рудных концентратов и их выделение. Виды отходов, методы утилизации ценных компонентов и обезвреживания токсичных компонентов. Пути снижения расхода воды в гидрометаллургических производствах. Понятие о малоотходном производстве и принципах его организации. Воздействие предприятий ядерного топливного цикла на окружающую среду. Способы его снижения.

Технология функциональных и конструкционных материалов на основе редких металлов. Наноматериалы.

2.4 Редкие элементы в ядерной энергетике

Ядерный топливный цикл. Ядерное топливо на основе обогащенного урана и смеси оксидов урана и плутония (МОХ-топливо). Реакторные материалы. Материалы, используемые для изготовления ТВЭЛов. Конструкционные материалы активной зоны реактора и контурного оборудования АЭС. Теплоносители ядерных энергетических установок. Переработка отработавшего ядерного топлива. Пурекс процесс и основные направления его совершенствования.

Технология дезактивации. Радиоактивное загрязнение контуров ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Основные принципы и технология дезактивации контуров ЯЭУ, составы рецептур, режимы обработки, технические средства.

Обращение с радиоактивными отходами. Основные источники радиоактивных отходов. Классификация радиоактивных отходов: низко-, средне- и высокоактивные отходы. Сбор, хранение и переработка жидких отходов различного уровня активности. Обращение с твердыми и газообразными радиоактивными отходами. Хранение и окончательное захоронение радиоактивных отходов.

Химико-технологическое обеспечение энергетических установок. Содержание понятия «химико-технологическое обеспечение энергетических установок». Водно-химический режим (ВХР) энергетических установок. Характеристика существующих и перспективных ВХР. Нормирование качества и технология теплоносителя одноконтурных ЯЭУ с реакторами кипящего типа и технология теплоносителя двухконтурных ЯЭУ с реакторами с водой под давлением. Основные методы очистки

водного теплоносителя ЯЭУ различного типа. Коррозия конструкционных материалов энергетических установок. Характеристика продуктов коррозии. Методы подавления и предотвращения коррозии. Физико-химические процессы, протекающие в контурах ЯЭУ с водным теплоносителем: массоперенос продуктов коррозии, радиолит, распределение вещества между водой и паром и т.д. Технология неводных теплоносителей ЯЭУ.

3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

1. Задачи высокотемпературной обработки руд и концентратов. Окислительный обжиг. Влияние режима обжига на выщелачиваемость огарка.
2. Сульфатизация, хлорирование, спекание с добавками солей. Физико-химические основы процессов.
3. Сущность гидрометаллургического способа переработки руд. Выбор реагентов для гидрометаллургических процессов. Способы осуществления выщелачивания (агитационное, перколяционное, кучное, подземное). Автоклавное выщелачивание. Бактериальное выщелачивание.
4. Кинетика процессов выщелачивания и влияние на скорость и степень выщелачивания различных факторов: вещественного состава руды, тонины помола, продолжительности процесса, температуры, интенсивности перемешивания, остаточной концентрации выщелачивающего реагента, отношения Т:Ж.
5. Общие основы применения метода осаждения ценных компонентов в виде малорастворимых соединений (на примере урана). Дробное осаждение гидроксидов и полиуранатов. Сравнительная характеристика осадителей. Известкование. Осаждение фосфатов и пиррофосфатов. Поведение примесей при выделении концентратов.
6. Применения ионообменных процессов в технологии урана, основные закономерности. Требования, предъявляемые к ионитам, выбор оптимальных технологических параметров. Преимущества ионообменного метода извлечения урана перед осадительным.
7. Механизм сорбции ионов катионитами и анионитами. Десорбция. Основные показатели, характеризующие ионообменный процесс. Емкость ионитов и методы ее определения. Ионообменные равновесия. Изотермы сорбции. Выходные кривые и кривые элюирования. Набухаемость ионитов. Сорбция в статических и динамических условиях.
8. Извлечение урана ионообменными смолами из осветленных растворов с использованием анионитов. Основные закономерности. Поведение примесей. Сорбционное выделение урана из сульфатных и карбонатных растворов.
9. Извлечение урана ионообменными смолами из разбавленных и плотных пульп. Аппаратурное оформление процесса: пачуки, колонны с неподвижным и движущимся слоем ионита, пульсационные колонны. Бесфильтрационное выделение урана из плотных пульп.
10. Особенности экстракционных процессов при извлечении ценных компонентов из разбавленных растворов. Преимущества экстракционного метода перед сорбционным. Недостатки метода.
11. Экстракционные равновесия и закономерности экстракции. Изотермы экстракции. Классификация экстрагентов и механизмов экстракции урана.
12. Терминология экстракционных процессов. Показатели экстракции. Общие требования, предъявляемые к экстрагентам. Разбавители и их роль в экстракционных процессах. Обоснование выбора экстрагента.
13. Методы разделения циркония и гафния, основные области применения циркония и гафния.

14. Принципиальная схема переработки титанотанталониобатов сульфатизацией.
15. Разделение ниобия и тантала методом жидкостной экстракции из фторидных сред.
16. Получение металлических ванадия, ниобия и тантала, области их применения.
17. Методы разделения молибдена, вольфрама и рения с получением их высокочистых индивидуальных соединений металлов.
18. Основные принципы, лежащие в основе технологии рассеянных элементов (на примере рения, скандия и индия).
19. Основные методы выделения, разделения и концентрирования радионуклидов.
20. Использование радиоактивных индикаторов в физико-химических исследованиях.
21. Химия радиоактивных элементов. Особенности химических свойств легких актиноидов (от тория до америция). Основные радиохимические процессы ядерной энергетики.
22. Общая технологическая схема получения ядерного топлива на основе урана и его соединений.
23. Экстракционные процессы в технологии ядерного топлива.
24. Сорбционные процессы в технологии ядерного топлива.
25. Характеристика отработавшего ядерного топлива. Продукты деления ядерного топлива. Накопление трансурановых элементов. Пурекс – процесс.
26. Радиоактивное загрязнение контуров ядерных энергетических установок (ЯЭУ) с водным теплоносителем.
27. Классификация и краткая характеристика основных способов дезактивации.
28. Окислительно-восстановительный способ дезактивации оборудования ЯЭУ.
29. Дезактивация съемного контурного оборудования ЯЭУ: составы рецептур, режимы обработки, технические средства.
30. Основные принципы и технология дезактивации контуров ЯЭУ в сборе.
31. Классификация радиоактивных отходов. Основные источники радиоактивных отходов. Характеристика радиоактивных отходов предприятий ядерного топливного цикла.
32. Сбор, хранение и переработка жидких радиоактивных отходов низкого, среднего и высокого уровня активности.
33. Хранение и окончательное захоронение радиоактивных отходов.
34. Обращение с твердыми радиоактивными отходами.
35. Обращение с газообразными отходами.
36. Обращение с радиоактивными отходами атомных электростанций.
37. Источники радиоактивных загрязнений: предприятия военно-промышленного комплекса, ядерного топливного цикла, топливно-энергетического (неядерного) комплекса, добывающей промышленности (включая нефте- и газодобывающую), испытания ядерного оружия, «мирные» ядерные взрывы, радиационные аварии, медицинские и научно-исследовательские учреждения, использующие радиоактивные материалы; другие источники - строительные материалы, минеральные удобрения, промышленные устройства.
38. Общие и специфические характеристики радиоактивных веществ как загрязнителей биосферы.
39. Поведение (состояние, миграция, переход в пищевые цепочки и т.п.) радиоактивных загрязнителей в атмосфере, гидросфере и литосфере. Рассеяние радиоактивных выбросов в атмосфере и водоемах.
40. Технологии и технические средства очистки выбросов в атмосферу, на работающих предприятиях радиационного профиля.
41. Технологии и технические средства очистки жидких сбросов от радиоактивных загрязнений и системы обращения с твердыми отходами на предприятиях радиационного профиля.

42. Нормирование качества и технология теплоносителя на одноконтурных ЯЭУ с реакторами кипящего типа и на двухконтурных ЯЭУ с реакторами с водой под давлением
43. Коррозия конструкционных материалов энергетических установок. Характеристика продуктов коррозии. массоперенос продуктов коррозии Методы подавления и предотвращения коррозии.
44. Радиоэкологические проблемы развития атомной энергетики и атомной промышленности.
45. Технология восстановления качества радиоактивно загрязненных территорий.
46. Планирование и организация радиоэкологической реабилитации загрязненных территорий и объектов.
47. Радиоэкологические проблемы вывода из эксплуатации объектов атомной энергетики.
48. Радиоэкологические проблемы вывода из эксплуатации объектов атомной промышленности.
49. Радиоэкологические проблемы утилизации объектов атомного флота.

4. Рекомендуемая литература

а) Печатные издания

1. Поляков, Е.Г. Металлургия редкоземельных металлов // Е.Г. Поляков, А.В. Нечаев, А.В. Смирнов. Москва: Metallurgizdat, 2018. - 732 с. - ISBN 978-5-902194-97-2.
2. Копырин, А.А. Технология производства и радиохимической переработки ядерного топлива /А.А. Копырин, А.И. Карелин, В.А. Карелин.- Москва: Атомэнергоиздат, 2006.- 576 с. - ISBN 5-98532-004-9.
3. Вольдман, Г.М. Теория гидрометаллургических процессов/ Г.М. Вольдман, А.Н. Зеликман. – Москва: Интернет Инжиниринг, 2003. - 464 с.- ISBN 5-89594-088-9.
4. Жидкостная экстракция редкоземельных элементов: учебное пособие/ А.А. Копырин, М.А. Афонин, А.А. Фомичев, М. С. Бахарев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных элементов. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2007. - 86 с.
5. Блохин, А.А. Технология молибдена и вольфрама: текст лекций /А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. – 93 с.
6. Блохин, А.А. Гидрометаллургия вольфрама: учебное пособие /А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А. Копырин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2009. - 91 с.
7. Российское редкоземельное сырьё и основные способы его переработки: учебное пособие /В.А. Кескинов, А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.В. Нечаев, М.А. Афонин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический

университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 68 с.

8. Химия и технология скандия: учебное пособие /А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, В.А. Кескинов, М.А. Афонин, А.В. Нечаев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. - 52 с.

9. Мурашкин, Ю.В. Расчет материальных балансов и основных параметров ионообменной установки по извлечению редких элементов из водных растворов. Аппаратурное оформление: учебное пособие/ Ю.В. Мурашкин, А.А. Блохин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2014. – 68 с.

10. Мурашкин, Ю.В. Расчет материальных балансов и оборудования для выщелачивания руд и концентратов: учебное пособие/ Ю.В. Мурашкин, А.А. Блохин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2013. – 51 с.

11. Блохин, А.А. Ионообменный метод извлечения ванадия(V) из сульфатных растворов: практикум / А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2017. – 30 с.

12. Экстракционные и сорбционные процессы радиохимической технологии: учебное пособие / В. А. Винницкий, А.Ф. Нечаев, В.В. Прояев [и др.]; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра инженерной радиоэкологии и радиохимической технологии. – Санкт Петербург: СПбГИТИ(ТУ), 2015.- 69 с.

13. Технологии обеспечения радиационной безопасности на объектах с ЯЭУ/В. А. Василенко [и др.]; под общ. ред. В. А. Василенко; Гос. корпорация по атом. энергии "Росатом", ФГУП "НИТИ им. А. П. Александрова". - СПб.: Моринтех, 2010. – 576 с. - ISBN 978-5-93887-055-0.:

14. Пяртман, А.К. Функциональные и многофункциональные наноматериалы и нанокompозиты на основе редких элементов: учебное пособие / А.К. Пяртман, А. А. Копырин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. - 162 с.

15. Блохин, А.А. Кристаллизация из растворов как метод очистки неорганических веществ: учебное пособие / А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А.

Копырин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных элементов. - Санкт-Петербург: 2009. - 26 с.

16. Блохин, А.А. Кинетика ионного обмена: методические указания /А.А. Блохин, Ю.В. Мурашкин, А.А. Копырин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных элементов. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2009. - 22 с.

17. Ежовский, Ю.К. Чистые и особо чистые вещества: Учебное пособие /Ю. К. Ежовский; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра химической нанотехнологии и материалов электронной техники. - Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2010. - 91 с.

18. Прояев, В.В. Технологии реабилитации загрязненных территорий и промышленных площадок: учебное пособие /В.В. Прояев; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной радиозоологии и радиохимической технологии. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010. – 164 с.

19. Коряковский Ю.С. Дезактивация: обеспечение радиационной безопасности на предприятиях ядерной отрасли: учебное пособие /Ю.С.Коряковский, В.А.Доильницын, А.А.Акатов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра инженерной радиозоологии и радиохимической технологии. – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010. –151 с.

20. Блохин, А.А. Определение физико-химических характеристик ионитов: метод. указания. А. А. Блохин, Ю. В. Мурашкин, А. А. Копырин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких и рассеянных элементов. - Санкт-Петербург: 2003. - 28 с.

б) электронные издания

1. Мурашкин, Ю.В. Экстракционные процессы переработки отработавшего ядерного топлива: практикум / Ю.В. Мурашкин, В.А. Кескинов, А.А. Блохин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии редких элементов и наноматериалов на их основе. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2021. – 69 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека.-URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 10.01.2022) – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета - <http://bibl.lti-gti.ru>
2. Российская государственная библиотека - www.rsl.ru
3. Российская национальная библиотека - www.nlr.ru
4. Библиотека Академии наук - www.rasl.ru
5. Библиотека по естественным наукам РАН - www.benran.ru
6. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) - www.viniti.ru
7. Государственная публичная научно-техническая библиотека - www.gpntb.ru
8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - elibrary.ru
9. Реферативная база данных научных публикаций Web of Science - webofknowledge.com
10. Электронно-библиотечная система "Лань" <http://e.lanbook.com>
11. Программа для расчета термодинамических параметров химических реакций IVTANTHERMO