



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

УТВЕРЖДАЮ
Ректор
 А.Н. Шерчик
« 29 »  2022 г.

Программа кандидатского экзамена

2.6.7 «Технология неорганических веществ»

Санкт-Петербург
2022

Введение

Настоящая программа кандидатского экзамена разработана для научной специальности 2.6.7 Технология неорганических веществ.

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 кафедре Общей химической технологии и катализа Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к уровню владения теоретическим материалом, терминологической подготовленности и степени освоения дисциплины «Технология неорганических веществ».

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

2.1 Теоретические основы технологии неорганических веществ

Основы классической теории химического строения вещества

Кристаллическое состояние вещества, точечные и линейные дефекты кристаллических структур (типы, термическое поведение дефектов в металлах и оксидах).

Стереология и теплофизические характеристики дисперсных материалов. Жидкость в дисперсных системах. Закон Кавальери-Глаголева. Факторы формы. Принципы расчёта физических характеристик поликристаллических и порошкообразных материалов с использованием стереологических параметров.

Основные представления о свойствах реальных газов и паров. Фугитивность. Конгруэнтное и инконгруэнтное испарение. Массоперенос через газовую фазу. Газотранспортные реакции.

Термодинамика

Термодинамические свойства неорганических веществ — энергия Гиббса, энтропия и энтальпия образования. Учение о фазовом равновесии. Правило фаз. Тепловой эффект химической реакции. Химический потенциал и фазовые равновесия в однокомпонентных и многокомпонентных системах. Константа равновесия гомогенных и гетерогенных реакций. Принципы адсорбционного, химического и фазового равновесия. Термодинамика концентрированных растворов и расплавов. Термодинамическое моделирование систем (модель идеального, регулярного, атермического и ассоциированного растворов). Теоретические основы фазового изменения газожидкостных систем. Механизмы фазовых превращений. Элементы термодинамики необратимых процессов. Законы диффузии. Эффекты Френкеля и Киркендала. Понятие о химическом коэффициенте диффузии. Плазмохимические процессы и реакторы. Элементарные физические процессы в плазме.

Кинетика химических реакций

Феноменологическая кинетика гомогенных реакций (реакции 1, 2, 3 порядков, роль температуры). Простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции. Основной постулат химической кинетики. Способы определения скорости реакции. Кинетические кривые. Кинетические уравнения. Константа скорости и порядок реакции. Реакции дробного порядка.

Кинетика гетерогенных процессов, способы ускорения химических превращений. Кинетика твердофазных реакций. Движущие силы, механизмы реакций и их классификация в твёрдых веществах и их смесях. Механизмы диффузии в твёрдых телах. Процессы, лимитируемые скоростью химического взаимодействия, или образования зародышей, диффузии. Механизмы реакций на границе раздела фаз. Кинетика реакций катализа.

Фазовые диаграммы многокомпонентных систем. Использование фазовых диаграмм для выбора и расчета рациональных способов переработки неорганических продуктов. Основы теории поглощения газов жидкостями. Туманообразование. Теория кислот и оснований. Технологические аспекты растворимости.

2.2 Основные процессы в технологии неорганических веществ

Термохимические процессы

Высокотемпературные гетерогенные процессы разложения и синтеза, окислительно-восстановительные процессы. Роль электротермических процессов в создании интенсивных технологий и ускорении развития производства. Классификация электротермических процессов.

Плазмохимические процессы. Технологические критерии промышленных процессов. Диффузионная кинетика. Внешне-, внутридиффузионная и кинетическая стадии процесса. Уравнения скорости и их анализ. Примеры промышленных химического, дугового и плазменного гетерогенных процессов. Технологические схемы, рекомендуемые реакторы и гидродинамика. Принципы работы и элементы конструкции руднотермических и дуговых печей. Печи сопротивления. Работа руднотермической печи как химического реактора. Условия подобия электротермических процессов. Физика индукционного и высокочастотного нагрева. Электрические печи сопротивления.

Каталитические процессы

Значение и области применения катализа. Классификация промышленных каталитических процессов и реакторов. Виды катализа, стадии протекания и пути интенсификации процессов катализа. Примеры каталитических окислительно-восстановительных и кислотно-основных процессов. Поверхностные соединения в катализе. Состав катализаторов. Методы выбора катализаторов. Контактные яды. Механизмы отравления. Основные требования к катализаторам. Технология катализаторов. Типовая аппаратура

катализаторных производств. Физико-химические методы исследования свойств катализаторов. Основные закономерности каталитических процессов во внешнедиффузионной, внутридиффузионной и кинетической областях. Особенности процессов в неподвижном и взвешенном слоях катализатора. Методы расчета каталитических реакторов.

Методы разделения многокомпонентных смесей

Кристаллизация из растворов, расплавов и газовой фазы, фракционная конденсация, ректификация, абсорбция, адсорбция, ионный обмен, экстракция, электрохимические методы. Особенности процессов разделения и технические способы их реализации. Гомогенные процессы. Роль температуры, давления соотношения компонентов на выход целевого продукта. Методы интенсификации гомогенных процессов.

Подготовка сырья

Сырьевые ресурсы и основные направления их переработки. Способы подготовки сырья: дробление, грохочение, флотация, обжиг, растворение, сепарация, сортировка, брикетирование и гранулирование, прессование, пневмотранспорт.

2.3 Технология важнейших неорганических веществ

Промышленные газы.

Свойства, применение и способы получения инертных газов, азота, кислорода, водорода, синтез-газа.

Связанный азот.

Технология аммиака и азотной кислоты. Их свойства и применение.

Серная и другие минеральные кислоты.

Свойства и применение серной, фосфорной, соляной и фтористоводородной кислот. Способы их производства из различного сырья.

Минеральные удобрения.

Азот-, фосфор- и калийсодержащие удобрения, комплексные удобрения, микроудобрения. Свойства и применение. Способы получения.

Сода и щелочные продукты.

Сода, поташ, гидроксиды натрия и калия. Свойства и применение. Способы получения.

Сорбенты и катализаторы.

Основные требования, активность и селективность. Роль и свойства носителей. Пористая структура. Отравление и регенерация. Способы получения: осаждение, сухое и мокрое смешение, механохимическая активация, пропитка пористого носителя. Металлические и оксидные катализаторы. Оксиды алюминия, силикагели, алюмосиликаты, цеолиты, активные угли. Промоторы и активаторы.

Продукты высокотемпературного синтеза.

Основные способы получения, свойства и применение карбида кальция, термического фосфора, термической фосфорной кислоты, продуктов плазмохимической технологии.

Соли и неорганические реактивы.

Классификация, свойства и применение. Основные способы получения солей и реактивов минеральных и органических кислот.

Особо чистые вещества.

Классификация, природа примесей. Методы анализа и глубокой очистки веществ. Требования к конструкционным материалам и чистоте технологической среды. Синтез сверхтвердых материалов.

Изотопы.

Свойства и применение. Основные способы получения: ректификация, изотопный обмен. Получение изотопов водорода, углерода, азота, кислорода и других легких элементов.

2.4 Защита окружающей среды при производстве неорганических веществ

Источники загрязнения: газообразные, жидкие и твердые отходы, тепловые выбросы, их свойства и характеристики. Способы уменьшения, обезвреживания и очистки отходов от примесей соединений серы, азота, углерода, галогенов, кислот и растворителей. Утилизация отходов.

2.5 Экспериментальные методы в технологии неорганических веществ

Приборы и методики исследования жидких фаз: рН-метры, фотоэлектроколориметры, фотометры, вискозиметры, ионометры, спектрофотометры, расходомеры, рефрактометры, нефелометры, кондуктометры, полярографы, жидкостные хроматографы.

Приборы и методики исследования газовых фаз: хроматографы, реометры, дифференциальные манометры, проточные и проточно-циркуляционные установки для определения скорости химических реакций.

Приборы и методики исследования твердых фаз: спектрографы, пламенные фотометры, дифрактометры, ИК-спектрометры, дериватографы, порометры, экстензометры, лабораторные печи различного назначения.

Математическая обработка результатов эксперимента, обработка экспериментальных данных с целью получения кинетического уравнения.

3. Примерный перечень экзаменационных вопросов

Теоретические основы технологии неорганических веществ

1 Фазовое состояние вещества. Уравнения состояния идеального и реального газа. Фугитивность, коэффициент фугитивности.

2 Фазовые равновесия в системах неорганических веществ. Правило фаз Гиббса. Химический потенциал фазы. Термодинамические свойства неорганических веществ. Энтальпия, энтропия, энергия Гиббса, методы их расчета.

3 Химическое равновесие. Термодинамические параметры реакции, тепловой эффект и константа равновесия химической реакции.

4 Термодинамика растворов и расплавов. Идеальные, регулярные, атермальные, ассоциированные растворы. Активность, коэффициент активности, методы их расчета.

5 Плазменное состояние вещества. Процессы в низкотемпературной плазме.

6 Формальная химическая кинетика. Скорость реакции. Простые и сложные реакции. Закон действующих масс, молекулярность.

7 Влияние температуры на скорость реакции. Уравнение Аррениуса, его теоретические обоснования. Взаимосвязь кинетических параметров обратимой реакции с термодинамическими.

8 Отклонения от формально-кинетического описания скорости реакции. Порядок реакции, реакции дробного порядка, причины отклонений.

9 Кинетика гетерогенно-каталитических процессов. Адсорбционные равновесия на поверхности катализатора. Закон действующих поверхностей.

10 Механизмы гетерогенно-каталитических процессов. Механизмы Лэнгмюра – Хиншельвуда, Или – Ридила, Марса – ван Кревелена. Адсорбция и кинетика на однородной и неоднородной поверхности.

11 Механизмы катализа. Кислотно-основный катализ. Окислительно-восстановительный катализ. Катализ на металлах и на оксидах.

12 Электронные представления в гетерогенном катализе. Электронная теория и каталитические свойства переходных металлов.

13 Некаталитические гетерогенные процессы: растворение, кристаллизация, процессы «твердое тело – газ». Кинетика, влияние процессов массопереноса.

14 Топохимические реакции и процессы. Уравнение Колмогорова – Ерофеева. Влияние процессов массопереноса.

Основные процессы в технологии неорганических веществ

15 Высокотемпературные процессы (классификация, предназначение).

16 Электротермические процессы. Особенности электрического нагрева. Силовое оборудование. Классификация печей технологии электротермических производств.

17 Процессы в реакционном пространстве руднотермической печи. Взаимосвязь технологических и геометрических параметров руднотермической печи.

18 Технология фосфора (основные реакции, описание технологического процесса и оборудования).

19 Технология карбида кремния и карбида бора (основные реакции, описание технологического процесса и оборудования).

20 Технология электрокорундов и монокорунда (основные реакции, описание технологического процесса и оборудования).

21 Плазмохимические процессы. Кинетика плазмохимических процессов. Технологические схемы и реакторы в плазмохимической технологии.

22 Ключевые промышленные плазмохимические процессы (основные реакции, описание технологического процесса и оборудования).

23 Каталитические процессы в технологии неорганических веществ. Классификация важнейших каталитических процессов ТНВ и их катализаторов.

24 Особенности каталитического процесса. Стадии протекания и режимы каталитического процесса. Кинетическая, внутри- и внешнедиффузионная области.

25 Технология катализаторов. Основные требования к катализаторам. Подбор оптимального состава катализатора. Типовая аппаратура катализаторных производств.

26 Отравление катализаторов. Контактные яды, механизмы отравления катализаторов.

27 Катализ во взвешенном слое. Преимущества и недостатки ведения процессов во взвешенном слое.

28 Ключевые каталитические процессы технологии связанного азота: паровая конверсия природного газа, конверсия оксида углерода (II), метанирование, синтез аммиака, синтез метанола, окисление аммиака. Технологическое оборудование и катализаторы.

29 Каталитические процессы окисления: окисление диоксида серы, окисление водорода, окисление оксида углерода (II), глубокое окисление органических веществ. Технологическое оборудование и катализаторы.

30 Методы разделения многокомпонентных смесей. Особенности процессов разделения и способы реализации. Влияние управляющих параметров, способы интенсификации.

Технология важнейших неорганических веществ

31 Технология получения синтез-газа и водорода. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процесса, условия проведения.

32 Технология получения аммиака и азотной кислоты. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процесса, условия проведения.

33 Технология получения метанола и формальдегида. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процесса, условия проведения.

34 Технология получения серной кислоты. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процесса, условия проведения.

35 Технология получения фосфорной кислоты. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процесса, условия проведения.

36 Технология получения хлора и соляной кислоты. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процесса, условия проведения.

37 Технология получения кислорода и инертных газов. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процесса, условия проведения.

38 Технологии высокотемпературных процессов. Получение фосфора, карбидов кальция и бора, цианмида кальция, электрокорундов. Сырьевая база, применение продукта. Технологическое оборудование процессов, условия проведения.

39 Технология минеральных удобрений: азотные, фосфорные, калийные, комплексные удобрения. Сырьевая база, применение. Технологическое оборудование процессов, условия проведения.

40 Технология минеральных солей: соды, поташа, гидроксидов натрия и калия, йодо-бромных солей и т.п. Сырьевая база, применение. Технологическое оборудование процессов, условия проведения.

41 Технология неорганических реактивов и особо чистых веществ. Способы получения, сырьевая база. Методы глубокой очистки веществ, классификация и природа примесей.

42 Технология сорбентов и катализаторов. Сырьевая база, применение. Основные требования к сорбентам, катализаторам и носителям катализаторов.

43 Классификация сорбентов и катализаторов. Силикагели, оксиды и гидроксиды алюминия и др. металлов, цеолиты и другие алюмосиликаты, активные угли.

44 Способы получения сорбентов и катализаторов: осаждение, смешение, пропитка, термохимическая и механохимическая активация. Технологическое оборудование процессов, условия проведения.

45 Технология изотопов. Сырьевая база, применение. Технологическое оборудование процессов, условия проведения.

Защита окружающей среды при производстве неорганических веществ

46 Источники загрязнения: выбросы газов, сточные воды, твердые отходы. Свойства и характеристики.

47 Физические и химические способы уменьшения выбросов и очистки отходов.

48 Тепловое загрязнение. Способы уменьшения теплового загрязнения.

49 Технологическое оборудование в защите окружающей среды: пылеулавливатели, газоочистители.

50 Катализ в защите окружающей среды. Каталитические процессы, связанные с защитой окружающей среды: окисление оксида углерода (II), разложение оксидов азота, глубокое окисление органических соединений и т.п.

Экспериментальные методы в технологии неорганических веществ

51 Приборы и методики получения и исследования жидких фаз.

52 Приборы и методики получения и исследования газовых фаз.

53 Приборы и методики получения и исследования твердых фаз.

54 Математическая обработка результатов экспериментов.

55 Методы кинетического анализа в технологии неорганических веществ.

4. Рекомендуемая литература

а) печатные издания:

1 Общая химическая технология: учебник для химико-технологических специальностей вузов: В 2-х частях. Часть 1. Теоретические основы химической технологии / Под редакцией И.П. Мухленова. – 5-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2009. – 256 с. – ISBN 978-5-903034-78-9

2 Общая химическая технология: учебник для химико-технологических специальностей вузов: В 2-х частях. Часть 2. Важнейшие химические производства / Под

- редакцией И.П. Мухленова. – 5-е изд., стер. – Москва: Альянс, 2009. – 263 с. – ISBN 978-5-903034-79-6
- 3 Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт; перевод с английского В.И. Ролдугина. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 501 с. – ISBN 978-5-91559-044-0
- 4 Лавров, Б.А. Физическая химия расплавов: Учебное пособие / Б.А. Лавров, Ю.П. Удалов. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2013. – 176 с. – ISBN 978-5-903090-91-44
- 5 Технология минеральных удобрений: учебное пособие для вузов по направлению подготовки «Химическая технология» / Под редакцией И.А. Петропавловского. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2018. – 312 с. – ISBN 978-5-906109-63-7
- 6 Электротермические процессы и реакторы: Учебное пособие для вузов по специальности «Химическая технология неорганических веществ» / С.П. Богданов, К.Б. Козлов, Б.А. Лавров, Э.Я. Соловейчик. – Санкт-Петербург: Проспект науки, 2009. – 423 с. – ISBN 978-5-903090-32-7
- 7 Пахомов, Н.А. Научные основы приготовления катализаторов. Введение в теорию и практику / Н.А. Пахомов; отв. ред. В.А. Садыков; Российская академия наук. Сибирское отделение. Институт катализа имени Г.К. Борескова. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2011. – 2011. – 262 с. – ISBN 978-5-7692-1185-0
- 8 Ивахнюк, Г.К. Активный оксид алюминия: учебное пособие / Г.К. Ивахнюк, Н.Ф. Федоров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра инженерной защиты окружающей среды. – Санкт-Петербург: Менделеев, 2014. – 75 с. – ISBN 978-5-94922-038-2
- 9 Логинов, С.В. Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие / С.В. Логинов, Н.Н. Правдин, Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2019. – 141 с.
- 10 Лавров, Б.А. Теоретические основы химической технологии: учебное пособие / Б.А. Лавров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 136 с.
- 11 Лавров, Б.А. Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие / Б.А. Лавров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 127 с.
- 12 Пахомов, Н.А. Курс лекций по кинетике процессов технологии неорганических веществ: учебное пособие / Н.А. Пахомов, А.С. Григорьев, И.И. Торлопов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2020. – 93 с.
- 13 Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: учебное пособие / Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 106 с.
- 14 Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: практикум / Ю.П. Удалов, Б.А. Лавров, Н.В. Мураховская; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический

институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа.
– Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. – 76 с.

б) электронные учебные издания:

1 Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие: в 2 частях. Кн. 1 / Под редакцией Т.Г. Ахметова. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 688 с. – ISBN 978-5-8114-2332-3 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: по подписке.

2 Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие: в 2 частях. Кн. 2 / Под редакцией Т.Г. Ахметова. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 536 с. – ISBN 978-5-8114-2333-0 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: по подписке.

3 Общая химическая технология. Основные концепции проектирования химико-технологических систем: учебник для вузов по химико-технологическим направлениям подготовки и специальностям / И.М. Кузнецова [и др.]; под редакцией Х.Э. Харлампиди. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 384 с. – ISBN 978-5-8114-1479-6 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: по подписке.

4 Общая химическая технология. Методология проектирования химико-технологических процессов: учебник для вузов по химико-технологическим направлениям подготовки и специальностям / И.М. Кузнецова [и др.]; под редакцией Х.Э. Харлампиди. – 2-е изд., перераб. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 448 с. – ISBN 978-5-8114-1478-9 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: по подписке.

5 Логинов, С.В. Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие / С.В. Логинов, Н.Н. Правдин, Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2019. – 141 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

6 Лавров, Б.А. Теоретические основы химической технологии: учебное пособие / Б.А. Лавров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 136 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

7 Лавров, Б.А. Химическая технология неорганических веществ: учебное пособие / Б.А. Лавров; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 127 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

8 Пахомов, Н.А. Курс лекций по кинетике процессов технологии неорганических веществ: учебное пособие / Н.А. Пахомов, А.С. Григорьев, И.И. Торлопов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2020. – 93 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 05.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

9 Удалов, Ю.П. Диаграммы состояния многокомпонентных систем и их применение в технологических расчетах: учебное пособие / Ю.П. Удалов; Министерство образования

и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. – 124 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 05.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

10 Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: учебное пособие / Ю.П. Удалов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2015. – 106 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 05.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

11 Удалов, Ю.П. Технология монокристаллов и особо чистых веществ: практикум / Ю.П. Удалов, Б.А. Лавров, Н.В. Мураховская; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2016. – 76 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 05.04.2021). Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- 1 Библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического 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 ВИНТИ – www.viniti.ru
- 7 Государственная публичная научно-техническая библиотека – www.gpntb.ru
- 8 Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – www.elibrary.ru
- 9 Реферативная база данных научных публикаций Web of Science – webofknowledge.com
- 10 Электронно-библиотечная система «Лань» – <http://e.lanbook.com>