

Министерство науки и высшего образования РФ

ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»

Кафедра Теоретической и общей электротехники

УТВЕРЖДАЮ
Ректор ФГБОУ ВО «ДГТУ»,
к.э.н., доцент

Н.Л.Баламирзоев
20 26 г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена по научной специальности

2.4.8 «Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники»

Одобрена на заседании кафедры ТиОЭ
(протокол № 7 от 10.03.2026 г.)

Зав. кафедрой ТиОЭ

к.т.н., доцент

Хазамова М.А.

1. Общие положения

Настоящая программа кандидатского экзамена по научной специальности 2.4.8 «Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники» предназначена для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук в качестве руководящего учебно-методического документа для целенаправленной подготовки к сдаче кандидатского экзамена.

Кандидатский экзамен представляет собой форму оценки степени подготовленности соискателя ученой степени кандидата наук к проведению научных исследований по конкретной научной специальности и отрасли науки, по которой подготавливается или подготовлена диссертация. Сдача кандидатского экзамена по специальности обязательна для присуждения ученой степени кандидата наук.

Кандидатский экзамен сдаётся в соответствии с научной специальностью и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, утверждаемой Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (далее соответственно - научная специальность, номенклатура), по которым осуществляется подготовка (подготовлена) диссертации.

Для проведения экзамена приказом ректора (курирующего проректора) создается экзаменационная комиссия, которая формируется из высококвалифицированных научно-педагогических и научных кадров, осуществляющих научную деятельность в соответствии с паспортом научной специальности.

Программа рассмотрена на заседании кафедры Теоретической и общей электротехники, протокол № 7 от 10.03.2026г.

2. Содержание программы

Настоящая экзаменационная программа соответствует утвержденному паспорту научной специальности 2.4.8. «Машины и аппараты, процессы холодильной и криогенной техники». В основу программы положены следующие разделы:

Термодинамические основы техники низких температур и кондиционирования

Криология как наука о холоде, методах его получения и использования. Области практического использования низких температур. Основные процессы, используемые для получения низких температур. Кратковременное и непрерывное охлаждение. Пути уменьшения затрат при генерации холода.

Особенности применения принципов термодинамики и механики для анализа и расчета низкотемпературных систем. Температурные шкалы. Единицы измерения температуры. Единицы измерения производительности тепла и холода.

Основные задачи техники низких температур – поиск идеальных циклов и минимизации затрат для процессов охлаждения, криостатирования, конденсации в жидкое и твердое состояния, очистки и разделения газов, ожижения газов

«Производство» энтропии. Источники необратимости. Энтропийный и эксергетический методы анализа низкотемпературных процессов, циклов, установок. Распределение затрат энергии по элементам низкотемпературных установок и систем. Теорема Гюи-Стодолы. Степень термодинамического совершенства.

Идеальное и реальное газовое состояние. Виды уравнений состояния.

Методы определения термодинамических параметров. Термодинамические свойства смесей и методы их определения.

Тепловые диаграммы и таблицы термодинамических свойств. Анализ процессов с помощью тепловых диаграмм.

Равновесные состояния чистых веществ и смесей при фазовых переходах.

Анализ процессов с переменной массой.

Анализ процессов, сопровождающихся в адиабатных условиях уменьшением температуры: дросселирование, изоэнтропное расширение, выхлоп, расширение газа в вихревой трубе, откачка паров кипящих жидкостей, насыщение ненасыщенных паров при барботаже, растворение гелия-3 в гелии-4, охлаждение в пульсирующем потоке, процессы смешения, температурная стратификация в газодинамических системах.

Процессы получения низких температур с рабочими веществами в твердом состоянии: термоэлектрическое охлаждение, адиабатное размагничивание, электромагнитнотермический эффект охлаждения, десорбционное охлаждение.

Энергетические характеристики охлаждающих систем (удельная холодопроизводительность, коэффициент ожижения, удельная работа, холодильный коэффициент, коэффициент удельных затрат мощности). Степень термодинамического совершенства реальных систем.

Криогенная техника

Основные этапы развития мировой и отечественной криогенной техники. Рабочие тела криогенных систем и их свойства.

Классические и реальные циклы. Циклы Линде, Клода, Гейландта, Капицы, Клименко, Лондона, Брайтона, Стирлинга, Гиффорда-МакМагона) для охлаждения, термостатирования и ожижения газов.

Циклы с дросселированием. Детандерные циклы. Комбинированные циклы с дросселированием и расширением в детандере. Многоступенчатые циклы. Типовые ступени охлаждения. Холодопроизводящие процессы в циклах. Холодопроизводительность произвольного цикла. Виды потерь при определенной холодопроизводительности. Полезная холодопроизводительность. Методология расчета циклов.

Криогенные рефрижераторы. Особенности работы и основы теплового расчета в режимах криостатирования. Пути совершенствования.

Ожижители. Особенности организации циклов и основы расчета.

Ожижители гелия и водорода, их устройство и особенности расчета. Пути совершенствования. Ортопароконверсия водорода.

Установки для разделения воздуха и других газовых смесей. Типы и схемы установок, особенности их расчета. Пути совершенствования. Очистка газов, получение редких газов (Kr, Xe, Ne, He).

Использование газовых смесей в качестве рабочих тел криогенных установок. Однопоточный многокаскадный цикл.

Поршневые детандеры, принцип действия, идеальная и действительная индикаторные диаграммы, расчетная модель действительного цикла. Основные виды потерь холодопроизводительности. Конструкции поршневых детандеров, пути их совершенствования.

Принципы действия турбодетандеров. Основные понятия, схемы и типы турбодетандеров. Основные энергетические соотношения для турбодетандера и его элементов. Область применения турбодетандеров, перспективные направления в их развитии и совершенствовании.

Влажно-паровые и жидкостные детандеры, особенности их работы, методы расчета.

Криогенные газовые машины (Гиффорда-МакМагона, Стирлинга, Вюлемье-Такониса и др.). Основные особенности рабочего процесса машин со встроенными теплообменными аппаратами. Методика расчета.

Особенности процессов теплопередачи при низких температурах. Расчетные зависимости для определения коэффициентов теплоотдачи при теплопередаче конвекцией, при кипении и конденсации.

Рекуперативные теплообменники. Классификация и конструктивные схемы (трубчатые, пластинчато-ребристые, матричные). Сравнительные характеристики теплообменников. Методы теплового и гидравлического расчета теплообменников, пути их совершенствования.

Регенераторы. Виды насадок и особенности рабочего процесса. Основы расчета. Условия незабиваемости регенераторов.

Конденсаторы-испарители, вымораживатели. Специфика фазовых

переходов при криогенных температурах. Основы расчета аппаратов.

Физические основы процессов сорбции. Адсорбенты, их виды и свойства. Сорбционные методы очистки и разделения газовых смесей, методы расчета.

Виды тепловой изоляции. Физическая картина переноса тепла в изоляции. Основные характеристики и области применения различных видов тепловой изоляции. Удельные потоки теплоты через изоляцию.

Емкости для хранения криогенных жидкостей, процессы в емкостях. Криостаты. Расчет теплопритоков через изоляцию и по элементам конструкций.

Пусковые режимы криогенных установок. Факторы, влияющие на длительность пускового периода. Автоматизация режимов работы криогенных установок, методы обеспечения их технической и экологической безопасности.

Холодильная техника

Основные этапы в истории развития мировой и отечественной холодильной техники.

Способы получения умеренно низких температур (до 120 К). Типы холодильных установок (парокомпрессионные, парожетторные, газовые, абсорбционные, термоэлектрические и др.), принципы их действия.

Теоретический цикл парокомпрессионной холодильной машины. Сравнение парокомпрессионного цикла с обратным циклом Карно. Действительный цикл парокомпрессионной холодильной машины. Производство энтропии и степень термодинамического совершенства действительного цикла. Удельные величины холодопроизводительности и работы

Циклы многоступенчатых и каскадных холодильных установок. Причины применения сложных циклов. Варианты многоступенчатых циклов и их сравнительные характеристики.

Теоретические и действительные циклы воздушных холодильных машин. Основы расчета циклов воздушных холодильных машин, области применения машин и пути их совершенствования.

Схемы и циклы теплоиспользующих холодильных установок: абсорбционных и парожеторных. Отображение рабочих процессов в тепловых диаграммах.

Циклы тепловых насосов, оценка их эффективности. Источники теплоты низкого потенциала. Области применения тепловых насосов. Термотрансформаторы.

Рабочие вещества пароконпрессионных холодильных машин, их классификация. Теплофизические свойства и эксплуатационные характеристики однокомпонентных рабочих веществ. Показатели «озонной» и «парниковой» опасности (ODP и GWP). Смазка холодильных компрессоров. Типы масел.

Азеотропные и неазеотропные смеси. Их свойства и области применения. Основные преимущества и недостатки холодильных установок, использующих неазеотропные смеси.

Объемные холодильные компрессоры: поршневые, винтовые, спиральные и ротационные. Принцип действия, основные характеристики, области применения и пути совершенствования.

Идеальная и действительная индикаторные диаграммы поршневого компрессора. Коэффициент подачи. Математические модели действительных процессов и оценка эффективности объемных компрессоров. Характеристики холодильных, объемных компрессоров.

Центробежные и струйные компрессоры, их принцип действия, основные характеристики, области применения и пути совершенствования.

Процессы в элементах центробежного компрессора. Уравнения удельной работы и степени повышения давления в ступени, производство энтропии в ступени. Основы расчета.

Вихревые трубы, их устройство и принцип действия. Взаимосвязь параметров охлажденного и нагретого потоков. Оценка эффективности. Области применения. Процессы теплоотдачи при кипении жидкостей в свободном объеме и внутри труб. Влияние примесей масла на теплоотдачу при кипении. Процессы теплоотдачи при конденсации на свободной поверхности, внутри труб. Влияние

неконденсирующихся примесей на интенсивность теплоотдачи.

Типы испарителей - кожухотрубные, затопленные и с кипением внутри труб, панельные, оросительные. Физическая картина процессов в испарительных аппаратах разных типов. Основы расчета испарителей, пути их совершенствования.

Типы конденсаторов - кожухотрубные, оросительные и испарительные, с воздушным охлаждением. Особенности теплофизических процессов в конденсаторах. Теплоотдача к окружающей среде - воде или воздуху. Проблема сокращения расхода охлаждающей воды.

Автоматизация работы холодильных машин и установок. Приборы и системы автоматики для регулирования и защиты холодильных машин и установок. Применение микропроцессорной техники для программного регулирования. Экологическая и эксплуатационная безопасность.

9. Бараненко, А.В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Теплофизические основы / А. В. Бараненко, В. Е. Куцакова, Е. И. Борзенко, С. В. Фролов. – Санкт-Петербург : ГИОРД, 2012. – 272 с.
10. Рогов, И.А. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы) / И.А. Рогов, В.Е. Куцакова, В.И. Филиппов, С.В. Фролов. – Москва: Колос, 1999. -176 с.
11. Калнинь И. М. Термодинамические циклы холодильных машин и тепловых насосов: расчет, оценка эффективности: учебное пособие / И. М. Калнинь, К. Н. Фадеков; И. М. Калнинь, К. Н. Фадеков; Федеральное агентство по образованию, Московский гос. ун-т инженерной экологии, Фак. техники и физики низких температур, Каф. «Холодильная и криогенная техника». – Москва: МГУИЭ, 2006. – 91 с. – ISBN 5-9513-0109-2.
12. Короткий, И. А. Теория и расчет криогенных систем : учебное пособие / И. А. Короткий. — Кемерово : КемГУ, 2022. — 166 с. — ISBN 978-5-8353-2918-2. — Текст :электронный //Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/290588>
13. Криогенная испарительная система охлаждения: учебное пособие / Д. В. Сармин, В. М. Боровик, А. Б. Шиманова [и др.]. - Самара: Самарский университет, 2023. — 100 с. — ISBN 978-5-7883-1984-1. - Текст : электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/406760>
14. Трухачев, В. И. Эксплуатация и обслуживание холодильного оборудования на предприятиях АПК / В. И. Трухачев, И. В. Атанов, И. В., Капустин, Д. И. Грицай. – 3-е, стер. – Санкт-Петербург: Издательство "Лань", 2023. – 192 с.
15. Усов, А. В. Актуальные проблемы и перспективы развития низкотемпературной техники: учебное пособие /А. В. Усов. — Кемерово: КемГУ, 2020. — 136 с. — ISBN 978-5-8353-2675-4. — Текст: электронный// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/162592>.

16. Холодильные машины, установки и криогенная техника: учебник / К. А. Ржесик, Д. К. Кулешов, М. А. Пундик, Ю. В. Пьянкова. — Донецк: ДонНУЭТ имени Туган-Барановского, 2021. — 305 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/508826>.

Дополнительная литература

1. Бараненко, А.В. Примеры и задачи по холодильной технологии пищевых продуктов. Теплофизические основы / А. В. Бараненко, В. Е. Куцакова, Е. И. Борзенко, С. В. Фролов. — Санкт-Петербург : ГИОРД, 2012. — 272 с.
2. Буянов, О. Н. Холодильное технологическое оборудование. Учебное пособие / О. Н. Буянов, Н. Н. Воробьева, А. В. Усов. — Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2009. — 200 с. — ISBN 978-5-89289-542-2. — EDN RBBXEN.
3. Бабакин, Б.С. Теплонасосные установки в отраслях агропромышленного комплекса: учебник / Б.С. Бабакин, А.Э. Суслов, Ю.А. Фатыхов, В.Н. Эрлихман. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 336 с.