

**Министерство науки и высшего образования РФ  
ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет»**

**Кафедра Теоретической и общей электротехники**

**ПРОГРАММА**

**кандидатского экзамена  
по направлению 13.06.01 "Электро - и теплотехника"  
направленности 05.04.03 – Машины и аппараты, процессы холодильной и  
криогенной техники, систем кондиционирования и жизнеобеспечения**

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящая программа кандидатского экзамена по специальности 13.06.01 "Электро - и теплотехника" составлена с опорой на следующие дисциплины направлений «Техническая физика», «Энергомашиностроение», связанных с особенностями анализа тепло- и массопереноса, сжатия, расширения, фазовых превращений, охлаждения, криостатирования, сжижения, конденсации в жидкое и твердое состояния рабочих тел при ограничениях, связанных со средой эксплуатации и конструкцией машин и аппаратов холодильной и криогенной техники.

Программа рассмотрена на заседании кафедры Теоретической и общей электротехники, протокол № 1 от 12.05 2019г.

### **1. 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, тепловой эффект дегидрирования интерметаллидов.

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

## 2. 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 незабываемости регенераторов.

Конденсаторы-испарители, вымораживатели. Специфика фазовых переходов при криогенных температурах. Основы расчета аппаратов.

Схемы, устройство и принцип работы ректификационных колонн. Колонны с регулярными насадками. Расчет процесса разделения бинарной смеси. Определение ЧЭП и ВЭТТ. Пути совершенствования ректификационных колонн.

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.

### **3. Холодильная техника**

Основные этапы в истории развития мировой и отечественной холодильной техники.

Способы получения умеренно низких температур (до 120 К). Типы

холодильных установок (парокомпрессионные, парожеторные, 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. «Русский» (вакуумный) цикл – Мартыновского, Туманского, Дубинского. 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 парокомпрессионных 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.

#### 4. Машины и аппараты систем кондиционирования и жизнеобеспечения

Климатические зоны (в частности РФ). Выбор расчетных значений наружных параметров. Особенности космической и подводной среды.

Комфортное и технологическое кондиционирование. Основные требования, предъявляемые к системам кондиционирования и жизнеобеспечения, перспективы их развития.

Очистка микроатмосферы от  $\text{CO}_2$  и других примесей. Различные виды микроатмосферы ( $\text{N}_2\text{-O}_2$ ,  $\text{He-O}_2$ ). Пределы по альвеолярному воздуху. Проблемы безопасности.

Тепловой баланс организма человека. Влияние параметров окружающей среды на организм человека. Комфортные параметры для условий труда и отдыха.

Тепло- и массообмен между водой и воздухом. Температура "мокрого" термометра, точка росы. Диаграмма  $d-i$  для влажного воздуха. Принципы построения диаграммы и расчета рабочих процессов с помощью  $d-i$ -диаграммы.

Способы определения влажности воздуха. Типы приборов для измерения влажности воздуха, их устройство и принципы действия.

Тепловой и влажностный балансы помещения. Определение параметров кондиционируемого воздуха, подаваемого в помещение. Определение тепловой нагрузки на кондиционер. Расчет тепло- и влагопритоков. Пути совершенствования способов кондиционирования

Системы кондиционирования. Централизованная система кондиционирования. Структура и варианты схемных решений. Основы расчета. Локальная и централизованно-локальная система кондиционирования. Процессы термовлажностной обработки воздуха в системах. Основы расчета систем кондиционирования, рациональные области их применения, пути совершенствования.

Особенности построения схем и выбора оборудования для кондиционирования различных объектов (промышленных и общественных)

зданий, жилых помещений и транспортных средств).

Основные особенности авиационных систем кондиционирования, их схемы и особенности расчета.

Холодильные машины, применяемые при кондиционировании воздуха. Основные требования, предъявляемые к таким машинам. Характеристики машин.

«Сухие» воздухоохладители, их конструкции. Процессы, протекающие в сухом воздухоохладителе. Основы теплового и гидравлического расчета.

«Мокрые» воздухоохладители, принцип действия и устройство. Физическая картина протекающих в них процессов. Основы расчета.

Способы осушки и увлажнения воздуха. Расчеты холодильно-сушильных агрегатов (ХСА).

Типы вентиляторов, их характеристики и конструкции. Подбор вентиляторов.

Системы автоматического регулирования кондиционеров и параметров кондиционируемого воздуха. Принцип построения систем регулирования. Конструкция и принцип действия основных агрегатов системы регулирования.

Очистка воздуха от пыли и аэрозолей. Типы пылеотделителей, принцип действия и основные характеристики. Расчет фильтров. Экологическая и техническая безопасность.

Борьба с шумом. Основные понятия - сила шума, уровень шума. Мероприятия, снижающие уровень шума. Глушители шума, принцип действия, конструкции и основы расчета.

Техника жизнеобеспечения. Системы жизнеобеспечения. Системы регенерации среды обитания. Математическое моделирование элементов систем жизнеобеспечения. Расчет систем жизнеобеспечения, их техническая и экологическая безопасность.

### Основная литература

1. Архаров А.М., Марфенина И.В., Микулин Е.И. и др. Криогенные системы. Т. 1. Учебник. –М.: Машиностроение, 1996. Криогенные системы. Т. 2. Учебник. – М.: Машиностроение, 1999.
2. Холодильные машины. /Под ред. Л.С. Тимофеевского. Учебник. –СПб.: Изд-во «Политехника», 1997.
3. Бродянский В.М., Семенов А.М. Термодинамические основы криогенной техники. –М.: Энергия, 1980.
4. Воронин Г.И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах. Учебник. –М.: Машиностроение, 1973.
5. Малоземов В.В., Рожнов В.Ф., Правецкий В.Н. Системы жизнеобеспечения экипажей летательных аппаратов. Учебник. –М.: машиностроение, 1986.
6. Баркалов Б.В., Карпис Е.Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. –М.: Стройиздат, 1982.
7. Новотельнов В.Н., Суслов А.Д., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы. Учебник. –СПб.: Изд-во «Политехника», 1991.
8. Быков А.В., Калнинь И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы. –М.: Агропромиздат, 1988.
9. Кипение криогенных жидкостей. Аметистов Е.В., Клименко А.В., Павлов Ю.М. /Под ред. В.А. Григорьева. –М.: Энергоиздат, 1995.
10. Термодинамические свойства  $N_2$ , воздуха,  $O_2$ , He,  $CH_4$ , Ne, Ar, Kr, Xe,  $C_2H_6$ , фреонов. Серия монографий. /Под. Ред. В.В. Сычева. Гос. Служба стандартных справочных данных, 1977 – 1990 г.г.

### Дополнительная литература

1. Капица П.Л. Адиабатический метод ожижения гелия. Успехи физических наук. 1935 г., т.16, вып. 2
2. Аметистов Е.В., Григорьев В.А. Теплообмен с He-II. –М.: Энергоатомиздат, 1986.

3. Справочник по физико-техническим основам криогеники. /Под ред. М.П. Малкова М.П. –М.: Энергоиздат, 1985.
4. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашинны радиального типа. Учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1988.
- 5.Беляков В.П. Криогенная техника и технология. –М.: Энергоиздат, 1982.