

## ПРОГРАММА

вступительного экзамена в магистратуру по направлению 16.04.03 -  
Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения

### 1. Термодинамические основы техники низких температур

Общие принципы получения низких температур, превращение энергии в процессах достижения низких температур.

Законы термодинамики и их применение к низкотемпературным системам:

- первый закон - принцип сохранения и превращения энергии, баланс энергии;
- второй закон - принцип возрастания энтропии, необратимость процессов и увеличение затраты работы в циклах;
- третий закон - поведение системы вблизи абсолютного нуля, следствия этого закона;
- обобщенный цикл Карно и его характеристики.

Идеальный и реальный газы. Виды уравнений состояния. Термодинамические и теплофизические свойства газов и их смесей.

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

Свойства влажного воздуха. Влагосодержание, относительная и абсолютная влажность.

Процессы получения низких температур в термомеханических системах: дросселирование, изоэнтропное расширение, выхлоп, расширение газа в вихревой трубе.

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

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

Кинетические коэффициенты - теплопроводность, вязкость, диффузия. Методы определения этих величин, характер изменения их при низких температурах.

## 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.

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).

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.

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.

Схемы, устройство и принцип работы ректификационных колонн. Колонны с регулярными насадками. Расчет процесса разделения бинарной смеси.. 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.

### 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, 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. «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 парожетторных. 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 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 объемных компрессоров.

Центробежные 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.

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

#### Основная литература

1. Криогенные системы. Т. 1: Учебник / А.М. Архаров, И.В. Марфенина, Е.И. Микулин и др. М.: Машиностроение, 1996. Криогенные системы. Т. 2.- М.: Машиностроение, 1999.
2. Холодильные машины: Учебник /Под ред. Л.С. Тимофеевского- СПб.: Изд-во «Политехника», 2006.
3. Новотельнов В.Н., Суслов А.Д., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы: Учебник.- СПб.: Изд-во «Политехника», 2002.
4. Быков А.В., Калнинь И.М., Крузе А.С. Холодильные машины и тепловые насосы.- М.: Агропромиздат, 1988.
5. Френкель М.И. Поршневые компрессоры. -М.: Машиностроение, 1970.

6. Пластинин П.И. Поршневые компрессорыю Т.1.Учебное пособие. - М.: Колос, 2000.
7. Ужанский В.С. Автоматизация холодильных машин и установок. Учебное пособие. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 2003.

#### Дополнительная литература

8. Справочник по физико-техническим основам криогеники /Под ред. М.П. Малкова М.: Энергоатомиздат, 1985.
9. Елифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашинны радиального типа: Учебник. М.: Изд-во МГТУ, 1988.
10. Холодильные машины.: Учебник. Под ред. И.Н. Сакуна - СПб.: Изд-во «Политехника», 1997.
11. Курылев Е.С., Герасимов Н.А. Холодильные установки. -Л.: «Машиностроение», 2005.
12. Нестеренко А.В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха. - Л.: «Машиностроение», 2004.