

# Магистры программы Физика и техника низких температур

## Аннотация дисциплины

### КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ – Б1.Б.3

**Цель дисциплины:** изучение проблем автоматизации физического эксперимента и использования техники микропроцессорных систем в АСНИ низкотемпературной техники для последующего использования: при конструировании автоматизированных низкотемпературных систем, эксплуатации низкотемпературных систем и проведения экспериментальных исследований; изучение использования информационных технологий при проектировании новых низкотемпературных систем и установок.

**Место дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина относится к базовой части основной образовательной программы подготовки магистров, обучающихся по программе "Физика и техника низких температур" направления 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачетных единиц – 7.

#### Содержание разделов:

Предмет курса. Автоматизированный физический эксперимент. Типовая схема автоматизации. Технические средства автоматизации эксперимента. Режимы работы автоматизированных систем.

Компьютеры и микропроцессоры в системах реального времени. Структура и основные физические параметры компьютеров, работающих в системах реального времени.

Организация системы прерываний. Периферийные устройства.

Базовые электронные схемы и элементная база автоматизации. Схемы для аналоговой обработки сигналов на основе операционных усилителей с линейными и нелинейными элементами в цепи обратной связи. Основные характеристики операционных усилителей.

Базовые электронные схемы для обработки цифровых сигналов на основе операционных усилителей. Дискриминаторы и формирователи логических сигналов.

Устройство выборки и хранения. Генераторы и стабилизаторы.

Базовые электронные схемы для обработки цифровых сигналов на основе логических элементов. Типы логических элементов. Схемотехническая реализация различной логики.

Блоки для автоматизации экспериментов. Электрические стандарты для устройств цифровой обработки сигналов. Технические характеристики и принцип действия аналого-цифровых преобразователей. Регистры и счётчики. Коммутаторы и мультиплексоры.

Блоки управления.

Измерительные преобразователи физических величин. Внешний и внутренний фотоэффект. Фотоприёмники и фотоумножители их характеристики и особенности их применения. Фоторезисторы, их устройство и основные характеристики.

Полупроводниковые датчики температуры. Терморезисторы, их устройство и основные характеристики. Термопары их характеристики и особенности применения. Способы стабилизации температуры холодного спая. Интегральные датчики температуры.

Механические преобразователи перемещений. Полупроводниковые преобразователи перемещений. Тензорезисторы, их устройство и основные характеристики. Электрические преобразователи. Магнитные преобразователи. Датчик Холла и линейный дифференциальный трансформатор. Пьезоэлектрические преобразователи.

Датчики прямого и косвенного преобразования. Особенности преобразователей расхода. Методы измерения объемного и массового расхода. Механические преобразователи расхода.

Тепловые преобразователи, их характеристики и особенности применения. Магнитные преобразователи. Измерение характеристик потока с помощью ультразвукового и лазерного зондирования.

Интерфейсы для связи с экспериментом. Приборный интерфейс. Интерфейсно - модульная система КАМАК. Механический и электрический стандарты. Логическая организация системы КАМАК. Структура команд. Временные характеристики цикла КАМАК.

Протокол обмена между функциональными модулями и контроллером. Развитие электронно-модульных систем для автоматизации научных исследований.

Классификация основных изделий криогенной техники. Основные понятия и принципы процесса проектирования. Их связь с разработкой программного обеспечения САПР. Уровни проектирования. Обобщенная схема проектирования на К-уровне. Информационное обеспечение для реализации этого алгоритма. Обобщенная схема информационного и программного обеспечения САПР. Основные характеристики элементов схемы.

Подготовка проектной технической документации САПР с использованием средств вычислительной техники. Возможности текстовых редакторов. Характеристики и практическая работа с текстовым редактором в САПР. Тенденции развития текстовых редакторов. Основные принципы организации вычислительных операций при работе с электронными таблицами в САПР. Возможности их использования. Решение с их помощью различных вычислительных и оптимизационных задач в САПР.

Использование баз данных при проектировании изделий низкотемпературной техники. Основные понятия структурной организации баз данных. Требования предъявляемые к СУБД «гибких» баз данных. Изучение характеристик и практическая работа с базой данных.

Основные понятия инженерной графики и их связь с машинной графикой. Возможности машинной графики. Характеристики и практическая работа со средствами машинной графики. Возможности 3d проектирования.

Алгоритм проектирования конкретного изделия. Создание управляющей программы процесса проектирования. Алгоритмические языки позволяющие осуществить реализацию управляющей программы. Связь различных средств вычислительной техники САПР и управляющей программы между собой. Практическая работа по созданию элементов САПР.

Технологический комплекс САПР. Автоматизация производства. Использование станков с числовым программным управлением и достижений робототехники. Подключение комплекса в общую структуру САПР.

Основные элементы низкотемпературного оборудования. Возможности создания САПР этих элементов. Примеры создания САПР отдельных элементов и низкотемпературных систем.

**Аннотация дисциплины**  
**Физические основы новых технологий – Б1.В.ДВ.5**

**Цель дисциплины:** изучение основных методов проведения численного эксперимента с целью определения характеристик процессов, сопровождающихся течениями в различных средах и различными осложняющими факторами: фазовыми переходами, химическими реакциями и т.д.

**Место дисциплины в структуре ООП:** дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы подготовки магистров, обучающихся по программе "Физика и техника низких температур" направления 14.04.01 «Ядерная энергетика и теплофизика». Количество зачётных единиц 4.

**Содержание разделов:** Общие понятия об управлении численным экспериментом. Понятие базовой программы, последовательности выполнения и управляющем алгоритме. Типы управляющих алгоритмов: задачи поиска нуля целевой функции; задачи одномерной и многомерной оптимизации; задачи, связанные с выявлением связи с результатами физического эксперимента и выявление параметров математических моделей. Понятие о многоуровневом моделировании (моделировании на разных масштабах). Основы Phoenix Input Language (PIL): введение параметров в виде типизованных переменных; возможности программирования и разработки управляющей последовательности. Основы InForm: задание формул для вычисления в файле исходных данных; расчет переменных свойств; расчет переменных источников тепла; использование формул при постановке граничных условий; использование возможности нестандартной обработки информации и вывода данных в отдельный файл. Возможности программы PQ1Editor для работы с файлами исходных данных. Понятие управляющей программы. Понятие параметризованного файла исходных данных для проведения численного моделирования. Возможности проведения мульти-вариантных расчетов. Анализ результатов, полученных при проведении мульти-вариантных расчетов. Возможности управления мульти-вариантными расчетами, которые появляются при обеспечении взаимодействия между расчетными подсистемами. Понятие об алгоритме управления численным экспериментом. Алгоритмы управления в задачах оптимизации. Алгоритмы управления для получения результатов численных экспериментов с заданной точностью. Алгоритмы управления для геометрически сложных задач при много-уровневом моделировании.

## Аннотация дисциплины

### «ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В КРИОГЕННЫХ СИСТЕМАХ» Б1.В.ОД.5

**Цель дисциплины:** теоретическое изучение элементарных процессов, протекающих в двухфазных системах, позволяющее рассчитывать характеристики реальных систем.

#### Место дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной части основной образовательной программы подготовки магистров, обучающихся по программе "Физика и техника низких температур" направления 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачетных единиц - 4

#### Содержание разделов:

##### 1. Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах

Предмет и задачи курса. Физико-математические модели нестационарных процессов, основные уравнения движения однофазного и двухфазного потоков в одномерной постановке, переходные процессы в обогреваемом канале при течении однофазной жидкости при бесконечно большом и конечном значениях коэффициента теплоотдачи и при течении двухфазной жидкости.

##### 2. Теплогидравлическая неустойчивость при течении двухфазного потока в обогреваемом канале

Устойчивость «в малом» и «в большом». Понятие о статической и динамической теплогидравлической неустойчивости. Решение Петрова для определения границы статической устойчивости. Модель первого приближения для описания динамической неустойчивости. Критерий Лединега.

##### 3. Гидравлический удар при течении однофазной жидкости

Физико-математическая модель гидравлического удара. Решение Жуковского. Методы снижения гидравлического удара.

##### 4. Теплоперенос в изоляционных системах криогенных систем

Теплоперенос в низкотемпературной изоляции. Теплоперенос излучением, экранирование излучения, теплоперенос по остаточному газу. Типы тепловых изоляций, технология изолирования, эксплуатационные характеристики изоляций. Теплоперенос по конструктивным элементам. Использование холода паров.

##### 5. Ведение в термодинамику открытых систем

Уравнения первого начала термодинамики для однофазных и двухфазных открытых систем.. Процесс заполнения и опорожнения баллона. Максимальное повышение температуры при заправке.

##### 6. Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах

Течение криогенной жидкости в неадиабатном трубопроводе. Обеспечение однофазности потока. Оптимальная скорость потока. Захолаживание и заполнение трубопроводов криогенной жидкостью. Модель температурного скачка. Влияние теплоемкости стенки на длительность заполнения канала при постоянном перепаде давлений. Заполнение короткого канала. Гидродинамика процесса заполнения. Первичный и вторичный гидроудары, гидроудар при открытии клапана, меры снижения гидроударов.

### 7. Теплофизические процессы в криогенных резервуарах

Процессы хранения криогенной жидкости в сосуде с открытым и закрытым дренажем. верхняя и нижняя заправка криогенных резервуаров, бездренажная заправка. Процесс выдачи жидкости из резервуара. Вскипание жидкости при снижении давления.

### 8. Технологические процессы с криогенными жидкостями

Процессы охлаждения криогенных жидкостей (сторонний криоагент, барботаж, вакуумирование). Газификация криогенных жидкостей в атмосферных испарителях. Процессы кристаллизации диоксида углерода при хранении и газификации криогенных жидкостей

## 1. Основы теории нагнетательных и расширительных машин

Основы теории нагнетательных и расширительных машин. Характеристика процессов сжатия и расширения. Классификация, принцип действия и области конкретного применения машин в холодильных и криогенных установках и системах. Взаимосвязь параметров, показатели, современное состояние и перспективы развития нагнетательных и расширительных машин. Общие и отличительные признаки и особенности машин криогенной техники и энергетических машин.

### 2. Прикладные вопросы теории

Анализ процессов сжатия и расширения с помощью основных законов и понятий термодинамики и газодинамики. Оценка работы, мощность и КПД процессов и машин. Использование диаграммы состояния, понятий и соотношений реального, идеального и идеализированного рабочего тела для расчета процессов в проточной части машин.

### 3. Основные характеристики расширительных машин

Расширительные машины. Сравнительная характеристика расширительных машин кинетического и объемного действия, примеры использования различных машин в криогенных установках. Турбодетандеры, характерные конструктивные схемы и решения. Геометрические характеристики ступени турбины. Влияние масштабного фактора и числа Рейнольдса на показатели машин, основы моделирования.

### 4. Расчет проточной части турбодетандера. Конструкции основных элементов

Направляющие аппараты современных турбин, экспериментальные и расчетные данные для дозвуковых и сверхзвуковых течений и решеток. Типы рабочих колес, экспериментальные и расчетные характеристики. Основы конструирования и изготовления рабочих колес. Методика выбора параметров и расчета проточной части турбодетандеров, алгоритмизация расчета с помощью ЭВМ. Характеристика турбодетандера, работа на нерасчетных режимах, особенности эксплуатации в двухфазной области.

### 5. Поршневые детандеры

Поршневые детандеры. Идеальный и действительный детандер, анализ потерь в поршневом детандере. Основные конструктивные элементы, определение расходов

поршневого детандера. Детанлеры на двухфазном потоке. Совершенствование схем и конструкций поршневых детандеров.

#### 6. Турбокомпрессоры, основные показатели, характеристика, эксплуатация

Турбокомпрессоры. Основные свойства и показатели турбокомпрессоров, вентиляторов и насосов. Характеристики нагнетателей, зависимость показателей от природы газа, начальных условий, частоты вращения, геометрических размеров. Пересчет характеристик машин на новые условия. Конструкции основных элементов нагнетателей, взаимосвязь конструктивных и режимных параметров. Способы регулирования показателей нагнетателей. Компрессорная установка. Основные сведения по эксплуатации машин. Особенности нагнетателей для кислорода, водорода, гелия, фреона. Перспективы развития нагнетателей.

#### 7. Компрессоры объемного действия

Нагнетательные машины объемного действия. Компрессоры объемного действия. Классификация, области применения и показатели различных типов компрессоров. Поршневые компрессоры. Основные сведения о процессах в компрессоре. Многоступенчатое сжатие. Сравнение объемных компрессоров с турбодетандерами. Регулирование поршневых компрессоров, определение основных размеров.

#### 8. Насосы для перекачки криогенных жидкостей

Насосы для перекачки криогенных жидкостей, специфика работы при перекачке веществ при низких температурах (перекачка насыщенных жидкостей и двухфазных потоков, изоляция рабочих зон).

## Аннотация дисциплины

### «ПРОЕКТИРОВАНИЕ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ СИСТЕМ»

#### Б1.В.ОД.2

**Цель дисциплины:** теоретическое изучение схем построения низкотемпературных установок различного назначения, оборудования этих установок, процессов происходящих в элементах установок и вопросов эксплуатации данных установок

#### **Место дисциплины в структуре ООП:**

Дисциплина относится к дисциплинам к вариативной части основной образовательной программы подготовки магистров, обучающихся по программе "Физика и техника низких температур" направления 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачетных единиц - 4

#### **Содержание разделов:**

##### 1. Проектирование низкотемпературных систем транспортирования криогенных продуктов

Факторы, определяющие специфические особенности схемно-технологических и конструкторских решений криогенных систем: воздействие низких, циклических температур, узкий диапазон систем жидкость-пар, потери продукта за счет теплопритока из окружающей среды и практически всех технологических операций (захолаживания, хранения, вытеснения, охлаждения и др.).

##### 2. Проектирование низкотемпературных систем накопления в резервуарах, хранения, переохлаждения криогенных продуктов

Особенности схемно-технологических решений при проектировании систем накопления, хранения, охлаждения, термостатирования и выдачи потребителю криогенных продуктов. Вытеснительный и насосный способ выдачи кипящего и охлажденного продукта, преимущества и недостатки каждого из этих способов; термостатирование в резервуарах потребителей по схемам с замкнутым контуром циркуляции, с разомкнутым контуром циркуляции, с полузамкнутым контуром; схемы циркуляционных систем криостатируемых объектов с использованием насоса, компрессора или с контуром естественной циркуляции; двухконтурные сателлитные системы. Проектирование системы накопления, хранения, переохлаждения центрального блока РН «Энергия» жидким водородом и его термостатирования.

##### 3. Проектирование низкотемпературных систем термостатирования и выдачи криогенных продуктов потребителям в жидком или газообразном состоянии

Проектирование системы хранения, заправки, глубокого охлаждения и термостатирования жидкого кислорода в баке космического корабля «Буран».

Проектирование систем хранения, охлаждения, заправки, термостатирования жидкого кислорода, заправляемого в баки РН.

##### 4. Схемно-технологические и конструкторские решения криогенных резервуаров, запорно-регулирующей и предохранительной арматуры, трубопроводов.

Разработка конструкции резервуаров и решение вопросов: выбора формы резервуара, системы опор или подвесок, обеспечения тепловой изоляции, способа

поддержания вакуума в изоляционных полостях, выбора конструкционных материалов и другие вопросы. Анализируются конструкции подвесок и опор, поскольку они являются важнейшими элементами тепловой защиты. Способы конструктивного выполнения узлов вывода труб для заполнения и опорожнения резервуаров и других трубопроводов. Требования к конструкциям трубопроводов.

Тепловая защита продукта от теплопритока из окружающей среды - комплексы мероприятий: применение эффективной тепловой изоляции поверхности внутреннего сосуда, рациональная конструкция крепления сосуда относительно кожуха и схема обвязки внутреннего сосуда технологическими трубопроводами. Показатель эффективности тепловой защиты криогенных резервуаров - относительная скорость испарения жидкости в единицу времени (испаряемость жидкости). Основные типы тепловой изоляции криогенного оборудования, изоляционные материалы и способы поддержания требуемого вакуума. Принципиальные схемы криосорбционных устройств для поддержания вакуума в изоляционных полостях.

#### 5. Проектирование криогенных трубопроводов.

Требования к криогенным трубопроводам - сохранение работоспособности во всем диапазоне рабочих температур от + 50<sup>0</sup>С до температур термостатируемых криопродуктов, обеспечение достаточно малых теплопритоков из окружающей среды, надежность и др. Выполнение требований за счет выбора материалов, конструкторскими решениями по компенсации напряжений, эффективной тепловой изоляцией, конструктивные схемы опор внутреннего трубопровода относительно кожуха.

Замыкание вакуумных полостей отдельных участков трубопроводов с помощью тепловых мостов, которые осуществляют жесткую связь между внутренней трубой и кожухом. Принципы построения фланцевых разборных соединений, участков и секций криогенных трубопроводов с автономными изоляционными полостями. Анализ многосекционной конструкции криогенных трубопроводов из гладких труб со сварной секцией и вакуумированием изоляционных полостей на месте монтажа. Унифицированные, самые распространенные элементы криогенных трубопроводов: прямые секции, колена, тройники, гибкие металлорукава, адсорбционные секции и др. Анализ основных характеристик криогенных трубопроводов.

#### 6. Проектирование арматуры.

Требования при проектировании запорно-регулирующей арматуры: сохранение работоспособности в широком диапазоне температур, минимальной теплоприток, достаточная герметичность затвора, отсутствие утечек продукта в окружающую среду, малое время срабатывания, небольшое гидравлическое сопротивление, высокая надежность и большой ресурс работы.

Рассматриваются основные показатели криогенной арматуры: теплоприток из окружающей среды и количество теплоты, передаваемой криогенной среде при охлаждении устройства. В зависимости от способа тепловой защиты рассматриваются основные типы схемно-конструктивных исполнений криогенной арматуры. Требование к герметичности затворов криогенной арматуры и анализ опытных данных по результатам промышленной эксплуатации арматуры.

Схема действия основных сил на тарелку клапана при различных действиях давления на клапан. Методика расчета величины удельного давления на уплотнитель в зависимости от направления действия давления рабочей среды.

Анализ основных характеристик криогенной пневмоарматуры.

#### 7. Технология эксплуатации систем.

Обеспечение чистоты криогенных продуктов (водорода). Требования к эксплуатации систем транспортирования и хранения жидкого водорода. Порядок проведения технологических операций, подготовка резервуаров и цистерн к наполнению жидким водородом, наполнение их жидким водородом, транспортирование к потребителю, приемка цистерн и слив жидкого у потребителя, возврат цистерн, периодический отогрев.

Методики расчета содержания примесей в жидком водороде. Аналитический метод определения содержания примесей в жидком водороде.

Методика расчета накопления массы кислорода в резервуарах с жидким водородом.

Требования к эксплуатации систем хранения.

Порядок проведения технологических операций: хранение, периодический отогрев, технологический газосброс.

Требование безопасности: аварийные ситуации и меры их ликвидации.

#### 8. Термодинамические основы проектирования низкотемпературных установок.

Основные положения «Теоретических основ криогенной техники». Обратный цикл Карно, идеальный цикл, минимальная работа ожижения, необратимость и затраты работы, основные процессы для получения низких температур, классификация криогенных циклов, виды потерь и эффективность реальных циклов, метод энергетического баланса, целесообразное число ступеней предварительного охлаждения, температурные уровни, термодинамический анализ циклов.

#### 9. Проектирование криогенных установок ожижения водорода с использованием метода дросселирования с получением нормального и пароводорода промышленного масштаба.

Схемно-технологические решения водородных ожижителей высокого давления с 5-ю ступенями предварительного охлаждения.

Схемно-технологические решения водородных ожижителей среднего давления с тремя детандерными ступенями предварительного ожижения и одной ступенью жидкого атмосферного азота.

Схемно-технологические решения криогенных установок ожижения водорода с внешним гелиевым холодильным циклом.

Схемно-технологические решения установок получения дейтерия методом ректификации жидкого водорода.

#### 10. Проектирование низкотемпературных установок ожижения природного газа.

Теплофизические свойства и технологические особенности СПГ, пожаровзрывоопасность и экологические проблемы.

Термодинамическая эффективность ожижителей природного газа с различными холодильными циклами с азотным детандерным циклом и ХМ; с азотным детандерным циклом без ХМ; с циклом на СХА с дроссельными ступенями.

Базовые крупнотоннажные заводы и способы ожижения природного газа. Анализ тенденции развития газовой промышленности в мировой практике.

Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по каскадному классическому циклу.

Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по циклу «Прико».

Крупнотоннажные ожижители ПГ, построенные по циклу ОКЦ с предварительным пропановым охлаждением.

Установки ожижения природного газа на базе АГНКС.

Установки ожижения природного газа на базе детандерных азотных циклов.

### 11. Оборудование установок ожижения природного газа.

Два типа компрессорных машин: центробежные и осевые.

Теплообменное оборудование установок сжиженного природного газа - витые теплообменные аппараты. Эффективность витых теплообменников. Пластинчатые теплообменники – их преимущества.

Насосы для перекачки сжиженных газов. Схемно-конструкторские решения и характеристики, используемых в промышленности насосов разного типа (центробежные, поршневые, одноступенчатые и многоступенчатые, погруженные горизонтальные и вертикальные). Анализ расчетных характеристик насосов. Перспективы создания насосов с более высокими характеристиками.

## **Аннотация дисциплины**

### **«ПРОЦЕССЫ ПЕРЕНОСА В СУЩЕСТВЕННО НЕРАВНОВЕСНЫХ СИСТЕМАХ»**

#### **Б1.В.ОД.4**

**Цель дисциплины:** систематизация полученных при изучении базовых дисциплин специальности знаний о неравновесных процессах переноса, характеризующихся значительной неравновесностью, ознакомление с современным состоянием исследований в соответствующих областях, приобретение навыков выполнения на этой основе инженерных расчетов для решения конкретных прикладных задач .

#### **Место дисциплины в структуре ООП:**

Дисциплина относится к вариативной части основной образовательной программы подготовки магистров, обучающихся по программе " Физика и техника низких температур " направления 14.04.01 «Ядерная энергетика и теплофизика». Количество зачетных единиц - 4

#### **Содержание разделов:**

1. Постановка задач расчета испарения и конденсации однокомпонентной среды и парогазовых смесей

Термические сопротивления: внешнее (газодинамическое), межфазное, пленки конденсата. Роль каждого в зависимости от интенсивности процесса.

2. Методы расчета термических сопротивлений, определенных в п.1

А. Решение уравнения Больцмана во всей области, занятой газовой фазой. Б. Уравнения Навье-Стокса в газодинамической подобласти и уравнения Больцмана в слое Кнудсена. В. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии для конденсата.

3. Обзор методов решения кинетического уравнения Больцмана применительно к задачам испарения-конденсации

Линейная теория. Моментный метод решения одномерных задач. Прямое численное решение кинетического уравнения Больцмана (для разных чисел Кнудсена, многомерные задачи). Прямое статистическое моделирование. Модельные уравнения.

4. Результаты исследования задач испарения-конденсации

Параметричность испарения, дозвуковой и сверхзвуковой конденсации. Предельные потоки испарения-конденсации. Инженерные соотношения для расчета испарения и конденсации в дозвуковом режиме. Диаграмма предельных потоков в сверхзвуковой области. Конденсация в присутствии неконденсируемых газов. Кривые

$q=f(\Delta T)$  для конденсации-испарения во всем диапазоне изменения интенсивностей. Рекомендации по уменьшению  $\Delta T$ . Определение итогового перепада температур от газа через межфазную поверхность, пленку конденсата, стенку теплообменника (конденсатора) охлаждающему теплоносителю. Влияние неполной конденсации на границе раздела фаз на характеристики процесса. Модели описания: коэффициенты испарения-конденсации, система кинетических уравнений для молекул газа и фоонов конденсата; расчет взаимодействий молекул газа и конденсата методами молекулярной динамики; предельные скорости и предельные потоки массы.

## 5. Решение прикладных задач

### 1. Кипение сверхтекучего гелия

Кривая кипения сверхтекучего гелия. Пиковая и "восстановительная" тепловая нагрузка. Расчет "восстановительной" тепловой нагрузки по линейной теории и в общем случае. Перенос тепла через паровую пленку для нелинейных задач в одномерной и двумерной постановке. Перенос массы и энергии в ограниченной паровой области . при наличии градиента температур на межфазной поверхности. Расчет эволюции паровой пленки при больших тепловых нагрузках для плоского, цилиндрического и сферического нагревателей. Особенности теплообмена в HeII при пониженной гравитации. Задачи теплопереноса в капиллярно-пористом теле, заполненном HeII. Расчет процессов переноса в единичном капилляре при наличии продольного теплового потока.

### 2. Процессы криовакуумирования

Роль направленности потоков при криоконденсации (десублимации). Расчет теплопереноса в области неприменимости законов градиентного типа. Примеры расчета течений, характеризуемых малыми числами Кнудсена, с учетом сильной неравновесности на межфазной границе.

### 3. Конденсация паров металлов

Роль процессов переноса на межфазной поверхности при определении общего термического сопротивления в системе: пар – пленка конденсата – стенка конденсатора – охлаждающий теплоноситель. Влияние неконденсируемых газов. Сопоставление результатов расчета с экспериментальными данными.

### 4 Сонолюминесценция

Сущность явления. Математическое описание: уравнения сохранения для жидкости и парогазовой смеси; универсальные и специальные условия совместности. Влияние испарения-конденсации на межфазной поверхности на характеристики процесса.



## Аннотация дисциплины

### КРИОВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА – Б1.В.ОД.3

**Целью дисциплины** является освоение методов и подходов к созданию и использованию вакуумных систем в различных установках.

**Место дисциплины в структуре ООП:** вариативная дисциплина основной образовательной программы по подготовке магистратуры 14.04.01. «Ядерная энергетика и теплофизика». Количество зачетных единиц – 4.

**Содержание разделов:** История развития вакуумной техники. Области применения вакуумной техники. Основные понятия вакуумной техники. Понятие вакуума. Единицы измерения давления в вакуумной технике. Состав сухого атмосферного воздуха. Скорость движения молекул газа. Число молекул газа, ударяющихся о единичную поверхность стенки сосуда в единицу времени. Средняя длина пробега. Основные характеристики вакуумных насосов. Основное уравнение вакуумной техники. Режимы течения газа. Расчет проводимости в молекулярном и вязкостном режимах. Техника получения вакуума традиционными методами. Механические насосы: поршневые, ротационные, двухроторные. Газоперемещающие насосы. Молекулярные насосы. Преимущества и недостатки. Основные характеристики. Принцип работы. Распыляемые геттеры. Механизм откачки. Испарительные насосы. Электродуговые геттерные насосы. Ионно-геттерные насосы. Магнитные электроразрядные насосы. Преимущества и недостатки. Основные характеристики. Принцип работы. Нераспыляемые геттеры. Низкотемпературные геттеры. Температура активации. Конструктивные исполнения. Преимущества и недостатки. Области применения. Адсорбционные насосы. Принцип действия. Сорбент. Скорость адсорбции и десорбции. Адсорбционная емкость. Полное число молекул, которые могут быть поглощены поверхностью единичной площади. Изотерма сорбции. Определение теплоты адсорбции. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Удельная поверхность. Емкость монослоя. Традиционные адсорбенты. Активные угли. Цеолиты. Силикагели. Их основные характеристики. Конструктивное исполнение адсорбционных насосов. Преимущества и недостатки. Криовакуумная техника. Крионасос. Классификация крионасосов. Принцип работы. Требования, предъявляемые к идеальному насосу. Коэффициенты массообмена (коэффициент прилипания и конденсации). Форвакуумные крионасосы. Методика расчета, принципиальные схемы и особенности конструкции. Определение времени откачки до заданного давления. Зависимость быстроты действия от давления. Газодинамические установки. Общие принципы устройства. Особенности расчета криовакуумной системы. Конструктивное исполнение. Криосорбционные средства вакуумной откачки. Газовые криосорбенты. Их преимущества перед традиционными сорбентами. Зависимость сорбционной емкости от условий формирования криослоя (род газа, толщина слоя, температура слоя, температура откачиваемого газа. Криозахват. Конструктивное исполнение. Средства измерения вакуума и течеискатели. Специфика измерения вакуума при низких температурах. Эффект Кнудсена. Манометр чашечный ртутный. Трубка Бурдона. Термопарный преобразователь давления. Ионизационный преобразователь давления. Преобразователь Байярда-Альперта. Течеискатели. Использование элементов криовакуумной техники. Вакуумно-технологические проблемы установок термоядерного синтеза. Условия осуществления термоядерной реакции. Магнитные ловушки. Лазерный термоядерный синтез. Система откачки продуктов реакции термоядерного синтеза. Требования к вакуумным насосам. Криооткачка газодинамических установок. Криотермовакуумные установки и криовакуумное оборудование. Вакуумное обеспечение ускорительно-накопительных комплексов.

## Аннотация дисциплины

### Численное моделирование задач низкотемпературной техники – Б1.В.ДВ.1

**Цель дисциплины:** изучение основных методов проведения численного эксперимента с целью определения характеристик процессов, сопровождающихся течениями в различных средах и различными осложняющими факторами: фазовыми переходами, химическими реакциями и т.д.

**Место дисциплины в структуре ООП:** вариативная дисциплина относится к дисциплинам по выбору основной образовательной программы по подготовке магистратуры 14.04.01. Количество зачётных единиц 4.

**Содержание разделов:** Предмет курса. Основные подходы к численному моделированию задач механики сплошной среды. Метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод контрольного объема. Основные сведения об аппроксимации уравнений динамики сплошной среды. Обобщенное уравнение и его конечно-разностная аппроксимация. Понятие о невязке. Явные и неявные разностные схемы. Порядок аппроксимации. Сдвинутые и совмещенные сетки при аппроксимации уравнений гидродинамики. Структура программного комплекса для проведения моделирования. Сетки. Основные понятия. Структурные и неструктурные сетки и методы их построения. Сетки, связанные с геометрией объектов, находящихся в расчетной области. Критерии, определяющие качество расчетной сетки. Дробные контрольные объемы. Использование метода контрольного объема для построения конечно-разностной аппроксимации обобщенного уравнения. Аппроксимация диффузионного слагаемого, методы аппроксимации конвективного слагаемого. Разностная схема вверх по потоку, гибридная разностная схема. Свойства разностных схем, разностные схемы высших порядков аппроксимации. Метод аппроксимации источников, линеаризация источников. Аппроксимация граничных условий. Особенности моделирования гидродинамических течений. Понятие об итерационных процедурах решения конечно-разностных уравнений гидродинамики. Критерии сходимости итераций. Итерационные процессы метода SIMPLE. Модификации метода SIMPLE: методы SIMPLER и SIMPLEST. Метод PISO. Модификации методов при использовании различных вариантов сеток. Использование интерполяции Rhie-Chow для совмещенных сеток. Методы обеспечения сходимости итераций: использование уравнений для поправок, использование различных видов релаксации. Особенности аппроксимации уравнений на неструктурных сетках с произвольной геометрией контрольных объемов. Методы решения систем линейных уравнений, возникающих при аппроксимации уравнений динамики сплошной среды. Прямые и итерационные методы решения линейных систем уравнений. Метод прогонки, обобщение метода прогонки: метод переменных направлений, сильно-неявный метод (метод Стоуна). Глобальные методы решения линейных систем уравнений: метод сопряженных градиентов и его модификации, метод GMRES и другие. Методы моделирования физических процессов. Особенности моделирования, вызванные учетом зависимостей свойств веществ от температуры при сопряженном теплообмене. Моделирование гидродинамических течений с учетом фазовых переходов. Метод

распределенной теплоемкости, метод Пракаша. Моделирование турбулентных гидродинамических течений. Алгебраические модели турбулентности. Модель Прандтля. LVEL модель турбулентности Сполдинга. К-ε модель турбулентности. Модификации К-ε модель турбулентности, модели турбулентности при малых числах Рейнольдса. Пристенные функции. Модели RANS, URANS, LES и DES. Многожидкостные модели турбулентности. Прямое численное моделирования турбулентных течений. Моделирование гидродинамических течений со свободной поверхностью. Методы трекинга поверхности и методы расчета без выделения свободной поверхности с использованием доли жидкой фазы. Методы VOF, SEM и их модификации. Метод маркеров и ячеек.

## Аннотация дисциплины

### Воздухоразделительные установки

#### Б1.В.ОД.6

**Цель дисциплины:** формирование необходимых базовых теоретических знаний и приобретение практических навыков, необходимых для проектирования, эксплуатации воздухоразделительных установок и систем разделения газовых смесей.

**Место дисциплины в структуре ООП:** вариативная дисциплина основной образовательной программы по подготовке магистратуры 14.04.01. Количество зачётных единиц – 6.

#### Содержание разделов:

Физические принципы разделения газовых смесей. Термодинамические и теплофизические свойства инертных газов, азота, кислорода. Основные фазовые диаграммы. Фазовое равновесие жидкость-пар, жидкость- твердое тело, газ- твердое тело. Основные принципы разделения газовых смесей. Области применения и эффективность разделения смесей. Минимальная работа разделения. Основы конденсационно-испарительного метода. Принцип конденсационно-испарительного метода. Тепловой и энергетический баланс. Непрерывное испарение и непрерывная конденсация. Прямоток и противоток паровой и жидкой фаз. Процесс ректификации. Конденсатор и испаритель ректификационной колонны. Определение полюса ректификационной колонны и рабочей линии (конноды). Ректификационная тарелка. Эффективность ректификационной тарелки. Расчет числа теоретических тарелок. Расчет процесса ректификации методом Понсона и методом Мак-Кабе и Тиле. Сравнение методов. Современное криогенное обеспечение процесса ректификации. Разделение воздуха методом низкотемпературной ректификации. Криогенные системы обеспечения ректификации. Сравнение различных криогенных систем. Колонны однократной и двукратной ректификации и системы очистки и осушки. Азотная и кислородная ректификационная колонна. Особенности работы таких колонн. Системы очистки и осушки. Регенераторы воздухоразделительных установок. Адсорбционная осушка и очистка. Получение чистых кислорода, азота и аргона. Схемы получения чистого газообразного и жидкого азота и кислорода. Ректификация трехкомпонентной смеси: азот, кислород и аргон. Получение чистого аргона. Получение неона, гелия и водорода. Особенности получения неона, криптона и ксенона. Получение чистого газообразного гелия. Получение чистого газообразного водорода. Разделение газов методом короткоциклового адсорбции. Физические принципы короткоциклового адсорбции. Типы адсорбентов и их характеристики. Принципиальные схемы разделения. Характеристики современных установок короткоциклового адсорбции и области их применения. Установки мембранного разделения. Физические принципы мембранного разделения. Типы мембран и их конструкция. Принципиальные схемы разделения. Характеристики современных установок мембранного разделения. Области применения таких установок. Установки для разделения природного газа. Состав природного газа. Установки ожижения природного газа. Получение особо чистых газов. Особенности получения особо чистых газов и области применения таких газов. Схемные решения. Современные методы анализа состава газовой смеси.

## Аннотация дисциплины

### ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ - Б1.В.ДВ.2

**Цель дисциплины:** знакомство с развитием технологий в научных исследованиях и технических системах при переходе к наномасштабам и новейшими исследованиями в области нанотехнологий, в частности, применительно к физике и технике низких температур

**Место дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина относится к дисциплинам по выбору вариативной части основной образовательной программы подготовки магистров, обучающихся по программе «Физика и техника низких температур» направления 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика. Количество зачетных единиц - 3

**Содержание разделов:** Понятие нанотехнологии. Краткая история нанотехнологии. Понимание нанотехнологии по Э.Дрекслеру. Примеры применения нанотехнологии. Физические основы нанотехнологии. Наноструктурированные материалы. Нанотрубки. Фуллерены. Фуллериды. Графен. Наноккомпозиты. Области применения. Тонкие пленки, гетероструктуры, низкоразмерные структуры. Изучение наночастиц и материалов. Зондовая микроскопия. Сканирующий зондовый микроскоп. Атомно-силовой микроскоп. Основные понятия зондовой микроскопии. Артефакты. Области применения зондовой микроскопии. Спектроскопия. Электронная микроскопия. Механические, тепловые и электрофизические свойства наноматериалов. Применение нанотехнологий. Наномедицина. Современное состояние наномедицины. Поверхности с наноструктурой. Мембраны с нанопорами. Микро- и нанокапсулы. Наночастицы. Наносенсоры и анализаторы. Наноманипуляторы. Респироциты. Нанобиология. Крионика. Нанобиотехнологии. Интеллектуальные наносистемы и нанороботы. Наноэнергетика. Нанотермоэлектричество. Суперконденсаторы. Солнечная наноэнергетика. Области применения. Наноэлектроника. Нанотранзисторы. Полупроводниковые нанолазеры. Электронная нанопамять. Области применения. Наномашины и наноприборы. Военные нанотехнологии. Влияние нанотехнологий на развитие науки и техники. Финансирование нанотехнологии в мире. Социально-экономические последствия нанотехнологии. Нанообразование и нанонаука. Наноиндустрия в России и в мире.

## Аннотация дисциплины

### Экономика научных исследований – Б1.Б.4

**Цель дисциплины:** систематизация полученных при изучении базовых дисциплин специальности знаний о направлениях фундаментальных и прикладных научных исследований, опытно-конструкторских разработок и выполняемых научно-технических проектах по профилю подготовки, об оценках эффективности научных исследований, инновационных проектов и научно-технических программ, ознакомление с современными условиями для функционирования и поддержки научно-исследовательской деятельности в соответствующих областях, приобретение навыков выполнения на этой основе научных проектов, оформления технических заданий на выполнение научных исследований по конкретному направлению, и представления результатов интеллектуальной деятельности.

**Место дисциплины в структуре ООП:** Дисциплина относится к базовой части образовательной программы магистров по профилю «Нанотехнологии и наноматериалы в энергетике», «Физика и техника низких температур», «Теплофизика и молекулярная физика» направления 14.04.01 «Ядерная энергетика и теплофизика». Количество зачётных единиц – 2.

**Содержание разделов:** Экономические основы научных исследований. Главные особенности научно-технического развития. Наука – важнейший интеллектуальный ресурс общества, определяющий специфику современной техногенной цивилизации. Закономерности научно-технического прогресса. Исторические рамки и роль научно-технического прогресса. Примеры научно-технологического прогресса в различных странах и в различные периоды. Тенденции научно-технического развития. Управление инновациями. Развитие науки, продуктов и технологий. Технические и технологические циклы. Их фазы, структура технологических фаз. Закономерности развития науки и технологий. Экономика знаний как этап развития постиндустриального общества. Технологические уклады в общественном производстве. Классы важнейших технологий XXI века. Этапы жизненного цикла продукта (технологии). Уровень технологий. Инновационный процесс. Классификация инноваций. Проблемы стимулирования научных исследований и инновационной деятельности. Проблемы формирования научной политики, взаимодействие науки и государства. Экономическая ситуация в научной области. Специфика науки как отрасли рыночной экономики. Государственное управление наукой. Приоритетные направления развития науки и техники. Модели экономического роста. Федеральные целевые научно-технические и образовательные программы. Финансирование научных исследований. Продукт научного исследования и рынок: их взаимодействие и противоречия. Организационные основы научной деятельности. Классификация научных организаций. Организация науки в высшей школе. Разработка и оформление технических заданий на проведение исследований. Особенности научного труда и продукта научного труда. Интеллектуальный потенциал сотрудника/организации. Параметры качества продукта исследований. Научно-техническая эффективность исследований. Зависимости «фондовооруженность – качество продукта исследований». Экономическая эффективность научных исследований. Правовая охрана и коммерциализация результатов интеллектуальной деятельности. Понятие и виды результатов интеллектуальной деятельности. Интеллектуальная собственность. Структура ИС. Научные открытия. Объекты авторского права в научно-техни-

ческой сфере. Защита результатов научных исследований и опытно-конструкторских разработок. Правовая охрана интеллектуальной собственности. Объекты промышленной собственности. Коммерциализация интеллектуальной собственности. Рынок научно-технической продукции. Научно-техническая продукция и ее виды. Оценка ИС. Особенности рынка изобретений. Передача технологий (патентно-лицензионная торговля). Виды и содержание лицензионных договоров. Особенности ценообразования на научно-техническую продукцию. Формы лицензионных платежей. Возможности и направления интенсификации научной и инновационной деятельности. Модель взаимодействия науки и экономики. Понятие научного потенциала. Наука в системе отношений хозяйственных субъектов. Схемы взаимосвязей науки с субъектами экономической системы. Проблемы стимулирования научных исследований и инновационной деятельности. Определение перспективных направлений исследований и разработок. Проведение маркетинга исследований и разработок. Заключение контрактов на научные и технологические разработки. Управление инновационными проектами. Отбор проектов. Анализ рисков. Формы финансирования проектов. Особенности управления проектами с технологической доминантой. Финансовая и отчетная документация

