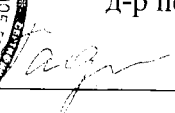


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебной работе,  
д-р пед. наук, профессор

  
Н.В. Гафурова

**ПРОГРАММА**

**кандидатского экзамена  
по специальности 05.14.04 – Промышленная теплоэнергетика**

**ПРОГРАММА**  
**кандидатского экзамена**  
**по специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика»**

**Введение**

Программа разработана кафедрой теплотехники и гидрогазодинамики Политехнического института Сибирского федерального университета на основе дисциплин направления «Теплоэнергетика» с учетом действующего государственного стандарта высшего профессионального образования и соответствует структуре программы-минимума кандидатского экзамена, рекомендованной экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и образования Российской Федерации по энергетике, электрификации и энергетическому машиностроению при участии Московского энергетического института (технического университета).

**1. Фундаментальные основы промышленной теплоэнергетики**

**1.1. Основы технической термодинамики**

Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Изопроцессы. Применение первого закона термодинамики к расчетам изопроцессов. Второй закон термодинамики. Энтропия. Термодинамические потенциалы и их применение в термодинамических расчетах. Водяной пар.  $P$ - $V$ ,  $T$ - $S$ ,  $H$ - $S$  диаграммы и таблицы. Их применение в термодинамических расчетах. Влажный воздух.  $H$ - $D$  диаграммы.

Циклы Карно, Ренкина. Циклы двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин. Термодинамика потока. Скорость звука. Сопло Лаваля. Истечение водяного пара. Дросселирование.

**1.2. Механика жидкости и газа**

Основные понятия механики и кинематики жидкостей и газов. Уравнение неразрывности. Динамика идеальной жидкости. Уравнения движения идеальной жидкости (уравнения Эйлера). Уравнение Бернулли для тока идеальной жидкости. Статика жидкостей и газов. Уравнение Эйлера для статики. Распределение давления в неподвижных жидкостях и газах. Динамика реальной жидкости. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Виды потерь давления. Принципы гидравлического расчета трубопроводов. Истечение газов из отверстий и сопел. Уравнения движения реальной жидкости (уравнения Навье–Стокса). Элементы теории гидродинамического пограничного слоя.

Виды пограничных слоев. Дифференциальные уравнения для ламинарного и турбулентного пограничных слоев (уравнения Л. Прандтля). Полуэмпирическая теория турбулентности Л. Прандтля. Методы расчета пограничных слоев (интегральные методы, автомодельные решения уравнений ламинарного слоя).

Основы теории подобия и моделирование. Основные понятия теории подобия. Критерии гидродинамического подобия. Основная теорема подобия. Автомодельность. Моделирование движения газов в печах и топках.

**1.3. Тепло- и массообмен**

Основные понятия теории теплообмена. Виды процессов тепло- и массообмена. Поля температур и концентраций. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Тройная аналогия (законы Ньютона, Фурье и Фика).

Конвективный тепло- и массоперенос. Особенности расчета тепло- и массообмена при турбулентном течении жидкости. Влияние на тепло- и массообмен вдува и отсоса вещества. Решения для ламинарного и турбулентного слоев. Трение и теплообмен при массообмене на поверхности тел. Внутренние задачи тепло- и массопереноса. Трение и теплообмен при ламинарном и турбулентном течениях в трубах.

Тепло- и массообмен при фазовых превращениях. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Критический радиус пузырька. Кривая кипения для неограниченного объема. Кипение внутри труб. Особенности двухфазного потока и теплообмена. Влияние давления на процесс кипения. Конденсация пленочная и капельная. Конденсация паров из смеси с инертными газами. Тепло- и массообмен при испарении жидкости в парогазовую среду.

Тепло- и массообмен в процессах сублимации: с открытой поверхности, из пористой металлокерамики. Диффузия жидкости в газовые среды и перенос массы в капиллярно-пористых телах. Дифференциальные уравнения диффузии. Сорбционные процессы. Уравнения сорбции.

Кондуктивный теплообмен. Постановка задачи теории теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Теплопроводность при стационарном режиме. Теплопроводность при нестационарном режиме.

Радиационный теплообмен. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана–Больцмана. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах. Собственное интегральное излучение твердых тел. Спектр излучения твердых тел. Поглощательная и излучательная способности тела. Тепловое излучение в процессах интенсивного теплообмена, сушки и других технологических процессах.

#### 1.4. Основы теории горения

Процессы воспламенения и распространения пламени. Самовоспламенение и зажигание горючих смесей. Тепловая и цепная теория самовоспламенения. Концентрационные границы самовоспламенения и зажигания. Самовоспламенение твердого топлива. Нормальное горение. Турбулентное распространение пламени в газовых смесях.

Механизм и кинетика горения индивидуальных газов. Механизм термического разложения углеводородов. Диффузионный, кинетический и смешанный принципы сжигания. Устойчивость горения газового факела. Методы интенсификации сжигания газов. Основные реакции горения и газификации углерода. Термическое разложение натуральных топлив. Роль летучих и золы в процессах горения. Особенность горения угольной пыли. Горение и газификация угля в неподвижном слое. Пути интенсификации горения твердого топлива. Воспламенение и механизм горения жидкого топлива. Горение распыленного топлива в факеле. Интенсификация процессов горения.

## 2. Источники и системы теплоснабжения предприятий

Методы определения потребности промышленных потребителей в паре и горячей воде. Тепловые сети. Методы определения расчетного расхода воды и пара. Тепловой и прочностной расчеты элементов тепловых сетей.

Промышленные котельные. Тепловые схемы и их расчет. Методы распределения нагрузки котлами. Энергетические, экономические и экологические характеристики котельных.

Теплоэлектроцентрали промышленных предприятий. Методика определения энергетических показателей теплоэлектроцентралей.

Утилизационные котельные, теплонасосные установки и ТЭЦ, использующие вторичные энергетические ресурсы предприятий для генерации тепла и электроэнергии. Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями. Использование математического моделирования, пакетов прикладных программ, банков данных для расчета систем теплоснабжения.

### **3. Котельные установки и парогенераторы**

Источники теплоты промышленных котельных установок. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах. Определение основных характеристик работы котельного агрегата по результатам испытаний.

Расчет топочных устройств для сжигания газового, жидкого и твердого топлив, производственных отходов. Основы методики расчета простых и сложных контуров циркуляции.

Пароперегреватели котлов. Методы регулирования температуры пара. Экономайзеры и их включение в питательные магистрали. Конструктивные схемы воздушных подогревателей.

Конструкции котлов с естественной циркуляцией, прямоточных и с многократной принудительной циркуляцией. Водогрейные и паро-водогрейные котлы. Котлы высоко- и низконапорные, прямого действия и с неводяными теплоносителями. Котлы, использующие теплоту технологического продукта. Очистка продуктов сгорания от твердых и газообразных примесей.

### **4. Тепломассообменное оборудование предприятий**

Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадками, газожидкостные и жидкостно-жидкостные смесительные теплообменники. Тепловой, гидравлический, прочностной расчеты рекуперативных теплообменников. Деаэраторы. Основы расчета.

Испарительные, опреснительные, выпарные и кристаллизационные установки. Тепловые схемы и установки. Физико-химические и термодинамические основы процессов выпаривания и кристаллизации. Основы теплового расчета.

Перегонные и ректификационные установки. Физико-химические и термодинамические основы процессов перегонки и ректификации.

Принцип действия и основы расчета абсорбционных и адсорбционных аппаратов.

Сушильные установки. Понятие и процессы сушки. Формы связи влаги с материалом. Основы кинетики и динамики сушки. Тепловой баланс конвективной сушильной установки.

Теплообменники-утилизаторы для использования теплоты вентиляционных выбросов, отработанного сушильного агента, низкопотенциальных вторичных энергоресурсов. Основы расчета и подбора стандартного оборудования.

### **5. Тепловые двигатели и нагнетатели**

Место нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров. Схемы поршневых компрессоров. Принцип работы поршневого детандера. Холодопроизводительность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Теоретическая характеристика нагнетателя. Общая классификация потерь в нагнетателях. Способы изменения характеристики вентилятора. Особенности работы насосов в сети. Центробежные и осевые компрессоры. Основные способы изменения характеристики компрессора.

Типы паровых турбин. Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Баланс энергии и структура КПД турбинной ступени. Анализ потерь в характерных сечениях турбины. Работа турбинной ступени в переменном режиме. Принципиальные схемы паротурбинных установок. Схемы газотурбинных установок. Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины. Работа газовой турбины в составе энергетических и приводных установок. Особенности работы турбодетандеров. Область применения двигателей Стирлинга.

## 6. Технологические энергоносители предприятий

Системы производства и распределения энергоносителей на промышленных предприятиях. Характеристика энергоносителей. Методика определения потребности в энергоносителях.

Система воздухообеспечения. Определение расчетной нагрузки для проектирования компрессорной станции.

Методика определения потребности в воде на технологические и противопожарные нужды предприятия. Прямоточные, оборотные и бессточные системы технического водоснабжения.

Расчет системы газоснабжения. Газовый баланс предприятия. Определение расчетной потребности в газе. Природные искусственные и отходящие горючие газы. Проблемы очистки, аккумулирование, использование избыточного давления. Проблемы защиты окружающей среды.

Системы холодоснабжения. Методика определения потребности в холоде.

Системы обеспечения предприятий продуктами разделения воздуха. Схемы потребителей технического и технологического кислорода, азота, аргона и других продуктов разделения. Методы расчета технологических схем станций разделения.

## 7. Энергетика теплотехнологии

Методологические основы создания энерго- и материалосберегающих, экологически совершенных теплотехнологических установок и систем. Метод предельного энергосбережения.

Энергоэкономические и технологические характеристики источников энергии в теплотехнологии, их взаимосвязь с физико-химическим содержанием и организацией технологического процесса. Основные принципы и критерии сравнительной оценки и выбора источников энергии теплотехнологии. Принципы эффективного комбинирования источников энергии. Способы термохимической подготовки топлива и других энергоносителей к использованию в теплотехнологических установках. Технология сжигания топлива в высокотемпературных теплотехнологических установках. Огневое обезвреживание и регенерация производственных отходов.

Материальный, энергетический, тепловой, эксергетический балансы теплотехнологических установок и систем. Оценка материальных и энергетических потерь, система КПД. Оптимизация балансов в целях повышения технологической эффективности производства, экономии энергетических и материальных ресурсов, защиты окружающей среды.

Термодинамические идеальные теплотехнические установки и системы. Теоретический минимум энергозатрат (расход топлива) на процесс. Энергоэкономические критерии оценки совершенства тепловых схем теплотехнологических установок. Принципы построения энергосберегающих тепловых схем.

Энергоэкономический анализ, структурная и параметрическая оптимизация тепловых схем с регенеративным теплоиспользованием, с внешним замыкающим технологическим и внешним замыкающим энергетическим теплоиспользованием. Оптимизация комбинирования регенеративного, внешнего технологического и внешнего энергетического теплоиспользования. Тепловые схемы технологических, комбинированных и энергетических систем и комплексов.

Физические основы и условия организации эффективной теплотехнологической обработки материалов на основе теплотехнических принципов плотного фильтруемого, кипящего, взвешенного и пересыпающегося слоев технологического материала. Физические основы и условия организации эффективной теплотехнологической обработки материалов на основе теплотехнического принципа погруженного в расплав факела. Тепло- и массообмен в расплавах в отсутствие и при наличии газового барботажа. Плавление технологического

материала, нагрев расплава, растворение твердых частиц и гомогенизация расплава в ванне. Нагрев изделий и заготовок в расплаве. Принцип автогенной факельной и факельно-барботажной технологии плавки. Тепло- и массообмен в установках для получения алюминия и его сплавов.

Физическое и математическое моделирование теплотехнических процессов в теплотехнологии. Автоматизированные системы научных исследований.

## 8. Экономика

Динамика потребления энергетических ресурсов. Долгосрочные прогнозы мирового потребления энергии. Характеристики различных источников энергии. Возобновляемые источники энергии, новые источники энергии. Ядерная энергетика. Энергетика и экономика. Влияние энергосбережения на темпы развития экономики.

Структура потребления электрической энергии и теплоты и организация управления промышленными предприятиями, пути их совершенствования. Капитальные вложения, источники инвестиций, основные фонды и оборотные средства: структура, динамика, показатели, пути повышения эффективности использования. Ценообразование.

### Основная литература

- Основы современной энергетики. В 2 тт. Т.1 "Современная теплоэнергетика"; Т.2 "Современная электроэнергетика". 4-е изд., перераб. – М.: МЭИ, 2008.
- Луканин В.Н. Теплотехника – М.: Высшая школа, 2002.
- Самарский А.А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005.
- Телегин А.С., Швыдкий В.С., Ярошенко Ю.Г. Тепло–массоперенос: Учебник для вузов.– М.: ИКЦ «Академкнига», 2002.
- Гущин С.Н. Теоретические основы энерготехнологических процессов цветной металлургии. – Екатеринбург: УГТУ, 2000.
- Основы практической теории горения / В.В. Померанцев и др. Л.: Энергия, 1973.
- Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Парогенераторы промышленных предприятий, М.: Энергия, 1977.
- Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). М.: Энергия, 1973.
- Щегляев А.В. Паровые турбины. М.: Энергия, 1976.
- Черкасский В.М.: Романова Т.М. Кауль Р.А. Насосы, компрессоры, вентиляторы. М.: Энергия, 1968.
- Промышленные тепломассообменные процессы и установки / А.М. Бакластов и др. М.: Энергоатомиздат, 1986.
- Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник. Под ред. В.А.Григорьева и В.М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1991.
- Теория тепломассообмена / Под ред. А.И. Леонтьева. М.: Изд-во МГТУ, 1997.
- Современная теплоэнергетика: Курс лекций. Ч. 1. / Трухний А.Д., Макаров А.А., Клименко В.В. / Под общ. ред чл.-корр. РАН Е.В. Аметистова. – М.: МЭИ, 2002.
- Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС. – М.: МЭИ, 2002.

### Дополнительная литература

- Касилов В.Ф. Справочное пособие по гидрогазодинамике для теплоэнергетиков. М.: Изд-во МЭИ, 2000.
- Теоретические основы теплотехники: Справочник / Под ред. А.В. Клименко и В.М. Зорина, М.: МЭИ, 2001.
- Ключников А.Д. Теплотехническая оптимизация топливных печей. М.: Энергия, 1974.
- Лисиенко В.Г., Лобанов В.И., Китаев Б.И. Теплофизика металлургических процессов: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1982.
- Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. М.: Изд-во МЭИ, 1999.

- Тимошпольский В.И., Постольник Ю.С., Андрианов Д.Н. Теоретические основы теплофизики и термомеханики в металлургии. – Мн.: Бел. наука, 2005.
- Мастрюков Б.С. Теплофизика металлургических процессов: Учебник для вузов. – М.: МИСиС, 1996.
- Кулагин В.С. Газодинамика: Учебное пособие. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2001.
- Введение в математическое моделирование / Под ред. Трусова П.В. – М.: Логос, 2007.
- Пашков Л.Т. Математические модели процессов в паровых котлах. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002.
- Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. Ч. 1, 2. – М.: Химия, 2002.
- Высокотемпературные теплотехнологические процессы и установки: Учебное пособие. / Кулагин В.А. и др. – Красноярск: КГТУ, 2001.
- Хаглеев Е.П. Источники систем энергоснабжения. Учебное пособие. – Красноярск: КГТУ, 2000.
- Липовка Ю.П., Липовка А.Ю., Кулагин В.А. Низкотемпературные и термовлажностные теплотехнологические процессы и установки: Учебное пособие. – Красноярск: СФУ; Политехнический институт, 2007.
- Металлургические печи. Теория и расчет: Учебник. В 2 т. / Под общей ред. В.И. Тимошпольского и В.И. Губинского. – Мн.: Бел. наука, 2007.
- Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Хрестоматия энергосбережения: Справочное издание: В 2-х книгах / Под. Ред. В.Г. Лисиенко – М.: Теплоэнергетик, 2003.
- Алифанов О.М. Основы идентификации и проектирования тепловых процессов и систем: учеб. Пособие – М.: Логос, 2001.
- Машиностроение: Энциклопедия. Т. 1–2 / Под ред. К.С. Колесникова, А.И. Леонтьева, М.: Машиностроение, 1999.
- Франк-Каменецкий Д.А. Основы макрокинетики. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: ИД «Интеллект», 2008.