



---

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
ФГБОУ ВПО «Брянский государственный технический университет»

---

УТВЕРЖДАЮ

Ректор университета

  
О.Н. Федонин  
от «31» 03 2016 г.



**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания в аспирантуру**

**по направлению подготовки кадров высшей квалификации – программы  
подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре**

**13.06.01 «Электро- и теплотехника»,**

**профиль подготовки «Промышленная теплоэнергетика»**

Технические науки

Брянск 2016

Программа вступительного испытания в аспирантуру по профилю подготовки «Промышленная теплоэнергетика» (Технические науки). – Брянск, БГТУ, 2016. – 24 с.

Программу разработал,  
д.т.н., доцент



/А.А. Анисин/

Программа утверждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика» ФГБОУ ВПО «БГТУ» (протокол № 4 от «25» марта 2016).

Заведующий кафедрой «ПТЭ»  
к.т.н., доцент



/ Н.А. Курбатская/

СОГЛАСОВАНО:  
Проректор по научной работе,  
к.т.н., доцент



/В.М. Сканцев/

© Анисин А.А.  
© ФГБОУ ВПО «Брянский государственный  
технический университет»

Программа вступительного испытания по профилю подготовки «Промышленная теплоэнергетика» составлена согласно паспорту этой специальности. В программе учитываются указанные в паспорте области исследования.

### **Цель программы вступительного испытания:**

Установить объем и уровень знаний экзаменуемого поступающего в аспирантуру по профилю подготовки «Промышленная теплоэнергетика» для оценки его способностей к самостоятельному исследованию путей и методов совершенствования промышленных теплоэнергетических систем и выявлению научных интересов и потенциальных возможностей претендента в сфере научно-исследовательской работы.

### **Задачи программы вступительного испытания:**

- сформулировать требования к знаниям, умениям и навыкам экзаменуемого в области науки и техники, занимающейся исследованием, совершенствованием, оптимизацией режимов энергопотребления, модернизацией оборудования и систем потребления и распределения энергии;

- определить состав тем, охват которых обеспечивает требуемую компетенцию соискателя;

- определить содержание каждой темы;

- привести список литературы, достаточный для освоения тем в нужном объеме.

### **Требования к уровню знаний экзаменуемого**

Экзаменуемый должен знать:

- теоретические основы теплотехники, технологию энергетического производства и принципы функционирования теплоэнергетических систем и оборудования;

- методические основы инженерного проектирования теплоэнергетических объектов и систем;

- методы оценки экономической эффективности принимаемых конструкторских и производственных решений;

- методы создания и анализа моделей, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов теплоэнергетических систем;

- методологию процесса совершенствования энергетического оборудования и технологий производства тепловой и электрической энергии, с учетом повышения экологической безопасности;

- методы оценки надежности, контроля и диагностики теплоэнергетических систем и оборудования;

- основные подходы к организации процесса проектирования и эксплуатации теплоэнергетических систем и оборудования.

Уметь:

- формулировать цели проекта (программы) решения задач, критериев и показателей достижения этих целей, строить структуру их взаимосвязей, выявлять приоритеты решения задач;

- разрабатывать обобщенные варианты решения проблемы, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, искать компромиссные решений в условиях многокритериальности, неопределенности, планировать реализацию проекта технологического процесса;

- использовать информационные технологии при проектировании энергетических и энерготехнологических систем и сетей, а также технологических процессов и технологических операций;

- разрабатывать проекты технических условий, стандартов, технических описаний, а также описаний технологических процессов и регламентов эксплуатации систем и сетей;

- прогнозировать надежность эксплуатации оборудования, сетей, систем и их элементов с учетом технологии производства;

- создавать теоретические модели, позволяющих прогнозировать свойства и поведение объектов и систем в целом;

разрабатывать планы, программы и методики проведения испытаний технологических систем, сетей и оборудования;

- использовать компьютерные технологии моделирования и обработки результатов;

- планировать и участвовать в проведении испытаний и определении работоспособности оборудования;

- оценивать производственные и непроизводственные затраты на обеспечение заданного уровня качества продукции;

осуществлять технический контроль, испытания и управление качеством в процессе производства.

Владеть навыками:

- выполнения работы по проектированию промышленных теплоэнергетических систем;

- проведения технико-экономического анализа, комплексного обоснования принимаемых и реализуемых решений, изыскания возможностей сокращения цикла выполнения работ, содействия подготовке процесса их выполнения и обеспечения необходимыми техническими данными, материалами, оборудованием, потоками информации;

- разработки методических нормативных материалов, технической и технологической документации, предложений и мероприятий по осуществлению разработанных проектов и программ;
- проведения экспертизы технической и технологической документации.

### **Форма проведения испытания**

Испытание осуществляется в форме экзамена - письменного изложения ответов на содержащиеся в настоящей программе вопросы и собеседования.

Каждый билет включает в себя три вопроса, один из которых должен соответствовать проблематике предстоящей научной работы аспиранта. Два других вопроса формируются в соответствии с «содержанием вступительного испытания», представленного ниже. Рекомендуемое время на подготовку ответа – 1 час.

В ходе подготовки к ответу в рамках вступительного испытания разрешено использование справочной литературы и личных конспектов.

Ответы на вопросы билета в обязательном порядке составляются в письменном виде в форме тезисов, схем и рисунков с необходимыми пояснениями. Устный ответ осуществляется в виде самостоятельного изложения материала без помощи письменных тезисов, которые впоследствии сдаются в отдел аспирантуры и докторантуры вместе с протоколом сдачи испытания.

После устного ответа члены экзаменационной комиссии вправе задать экзаменуемому уточняющие вопросы по тематике билета. При необходимости задаются дополнительные вопросы по различным темам «содержания вступительного испытания».

### **Содержание вступительного испытания**

Программа составлена на основе совокупности учебных программ вузовских дисциплин в аспекте данной специальности: «Техническая термодинамика», «Тепломассообмен», «Источники и системы теплоснабжения», «Котельные установки и парогенераторы», «Нагнетатели и тепловые двигатели», «Тепломассообменные процессы и аппараты», «Технологические энергоносители промышленных предприятий», «Энерготехнологические комплексы промышленных предприятий», «Оптимизация режимов работы теплоэнергетического оборудования». Следует отметить, что тематика вступительных испытаний охватывает собой содержание не только перечисленных выше, но и всего объема изученных специальных дисциплин в рамках бакалавриата и магистратуры.

## ***Раздел 1 «Теоретические основы теплотехники»***

### ***1.1. Термодинамика***

Основные понятия в термодинамике. Формы передачи энергии и их взаимосвязь в энергетическом балансе термодинамической системы (1 закон термодинамики). Уравнения состояния идеального газа. Определение количеств тепла. Понятия о теплоёмкости. Молекулярно-кинетическая теория теплоёмкостей. Политропные процессы с идеальными газами и их анализ.

Понятие замкнутых процессов (циклов) и способы оценки их термодинамической эффективности. Условия достижения максимальной эффективности циклов. Понятие энтропии как функции состояния рабочего тела. Физическая сущность второго закона термодинамики.

Способы описания характеристик смесей идеальных газов и определение их основных параметров состояния при различных способах смешивания.

Понятие термодинамического потенциала. Виды, физический смысл и практическое приложение термодинамических потенциалов. Дифференциальные уравнения состояния, внутренней энергии, энтальпии и энтропии. Дифференциальные уравнения удельных теплоёмкостей. Практика использования дифференциальных уравнений термодинамики при решении технических задач.

Основные положения учения о термодинамическом равновесии и динамика фазовых переходов. Понятие реального газа и краткий критический обзор способов описания его состояния. Термодинамические свойства водяного пара. Термодинамика парогазовых смесей: свойства и процессы.

Основные закономерности при течении газов в каналах без совершения технической работы. Закономерности процесса адиабатного истечения идеальных и реальных газов из резервуара неограниченного объёма.

Термодинамический анализ рабочих процессов и циклов машин для сжатия газов и паров. Термодинамический анализ циклов тепловых двигателей с газообразным рабочим телом. Термодинамический анализ циклов паросиловых установок. Перспективные направления при решении проблемы повышения термодинамической эффективности циклов паросиловых установок. Сравнительный анализ работы тепловых двигателей методом термодинамических функций. Термодинамический анализ обратных циклов энергетических машин.

Работоспособность термодинамической системы и общие принципы эксергетического анализа тепловых процессов и работы энергетических машин.

Свойства термодинамических систем при протекании в них химических реакций. Тепловые эффекты в системах с химическими превращениями.

Химическое равновесие и сродство веществ. Определение параметров состояния и состава рабочих продуктов сгорания.

### *1.2. Теплообмен*

Конвективный тепло и массоперенос. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Основы теории пограничного слоя. Автомодельные решения уравнений ламинарного слоя. Особенности расчета тепло- и массообмена при турбулентном течении жидкости. Влияние на тепло- и массообмен вдува и отсоса вещества. Решения для ламинарного слоя и турбулентный слой. 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. 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 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. Контактный теплообмен. Радиационный теплообмен. Собственное интегральное излучение твердых тел. Поглощательная и излучательная способности тела. Тепловое излучение в процессах интенсивного теплообмена, сушки и других технологических процессах.

## ***Раздел 2 «Основы теории горения»***

Процессы смесеобразования. Молекулярная и турбулентная диффузия. Смесеобразование в турбулентных струях. Аналогия между диффузией и теплообменом. 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. Детонационное горение. Горение натуральных топлив. 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

фикации горения твердого топлива. Воспламенение и механизм горения жидкого топлива. Испарение и горение капли. Горение распыленного топлива в факеле.

### ***Раздел 3 «Источники и системы теплоснабжения предприятий»***

Назначение систем отопления зданий. Расчетные значения температур воздуха внутри и снаружи отапливаемых помещений. Расчет тепловых потерь и внутренних тепловыделений в производственных помещениях. Тепловые балансы производственных помещений. Определение расчетного, среднего и годового расходов теплоты на отопление производственных, жилых и общественных зданий. Суточные и годовые графики расхода теплоты системами отопления. Классификация и выбор систем отопления. Системы водяного отопления. Системы парового отопления. Системы воздушного отопления.

Нормируемые параметры состояния воздушной среды в производственных помещениях. Назначение системы вентиляции. Определение необходимого воздухообмена. Определение расчетного, среднего и годового расходов теплоты системами вентиляции. Суточные и годовые графики расходов теплоты на вентиляцию. Классификация и выбор систем вентиляции. Общеобменная вентиляция. Местная вентиляция. Аэрация промышленных зданий. Воздушные завесы.

Гигиенические и технологические основы кондиционирования воздуха. Классификация систем кондиционирования воздуха. Процессы обработки воздуха в системах кондиционирования

Назначение и состав систем бытового горячего водоснабжения предприятий, жилых и общественных зданий. Методы определения потребности предприятия в воде для бытового горячего водоснабжения.

Типы технологических потребителей тепла. Характерные режимы и графики теплоснабжения, параметры теплоносителей. Способы определения расчетного, часового и годового количества теплоты для обеспечения технологических потребителей

Назначение, структура и классификация систем теплоснабжения промышленных предприятий. Водяные системы теплоснабжения промышленных предприятий. Паровые системы теплоснабжения промышленных предприятий. Присоединение потребителей к паровым тепловым сетям. Системы сбора и возврата конденсата от промышленных потребителей.

Задачи регулирования тепловых нагрузок. Классификация методов регулирования и их сравнительная характеристика. Регулирование отпуска теплоты в паровых системах теплоснабжения. Расчет температурных граffi-



ков сетевой воды при центральном качественном регулировании отопительной нагрузки. Центральное количественное регулирование. Качественно-количественное регулирование. Комбинированное регулирование отопительной нагрузки. Регулирование разнородной тепловой нагрузки в водяных системах теплоснабжения. Графики температур и расходов сетевой воды. Особенности методов регулирования, используемых в системах теплоснабжения жилых районов. Центральное регулирование по совмещенной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. Основные принципы выбора метода регулирования тепловых нагрузок.

Назначение тепловых сетей, их классификация, схемы, конструктивные элементы. Резервирование магистральных тепловых сетей. Основные принципы выбора конфигурации сетей. Гидравлический расчет тепловых сетей. Пьезометрический график. Основные требования к режиму давлений водяных тепловых сетей и выбор схем присоединения потребителей теплоты. Гидравлический режим тепловых сетей. Гидравлическая устойчивость системы теплоснабжения.

Опоры теплопроводов. Компенсация температурных деформаций. Теплоизоляционные материалы и конструкции, применяемые в тепловых сетях. Основные требования к теплоизоляционным конструкциям.

Тепловой расчет тепловых сетей. Тепловой расчет теплопроводов, проложенных в непроходных каналах. Тепловой расчет теплопроводов при бесканальной прокладке.

Промышленные и коммунальные котельные, назначение, классификация, параметры, рациональная область использования различных типов котельных. Тепловые схемы котельных. Расчет тепловых схем котельных. Состав основного и вспомогательного оборудования котельных. Типы компоновок промышленных котельных. Основные принципы размещения оборудования котельной.

Комбинированная выработка теплоты и электроэнергии на промышленных тепловых электростанциях. Энергетическая эффективность комбинированной выработки теплоты и электроэнергии паротурбинными ТЭЦ. Особенности промышленных ТЭС. Принципиальные тепловые схемы ТЭС и показатели их тепловой экономичности. Коэффициент теплофикации, его технико-экономическое обоснование и выбор оптимального значения.

Методика составления и расчета тепловых схем ТЭЦ. Выбор количества и типоразмеров основного и вспомогательного оборудования ТЭЦ.

Генеральный план и компоновка промышленных ТЭЦ. Здания и сооружения, входящие в состав промышленной электростанции, основные

положения по созданию рационального генплана. Компоновка главного корпуса ТЭЦ.

#### ***Раздел 4 «Котельные установки и парогенераторы»***

Классификация и эволюция развития конструкции котельных агрегатов. Теоретические основы и технологические схемы генерирования тепловой энергии в котельных установках. Тепловой баланс и методы оценки эффективности котельной установки. Назначение, конструкция и компоновка поверхностей нагрева котельной установки. Строительные конструкции и вспомогательное оборудование котельной установки. Технологические схемы в топливном хозяйстве котельной установки.

Основы теории топочных процессов. Топочные камеры газомазутных и пылеугольных котельных агрегатов. Задачи и методика теплового расчёта котельного агрегата. Расчёт и оптимизация тепловых процессов в топке котла. Расчёт и оптимизация тепловых процессов в полурадационных поверхностях нагрева. Расчёт и оптимизация тепловых процессов в конвективных поверхностях нагрева. Структура и расчётные характеристики двухфазных потоков. Распределение тепловых нагрузок по элементам циркуляционных контуров.

Динамика гидравлических систем с естественной циркуляцией. Динамика гидравлических систем с принудительным движением рабочей жидкости. Конструирование и расчёт гидравлических контуров котельных агрегатов.

Аэродинамика топки, газоздушных трактов и методика аэродинамического расчёта котельной установки.

Строение, свойства и условия работы металла поверхностей нагрева котельного агрегата. Влияние технологии изготовления поверхностей нагрева на их эксплуатационную прочность.

Технология водно-химического режима котельного агрегата. Технологии подавления эрозийно-коррозионных процессов поверхностей нагрева в процессе эксплуатации котельного агрегата.

Управление котельной установкой на различных режимах её эксплуатации. Правила эксплуатации котельных агрегатов.

Тепловые схемы, особенности конструкций и эксплуатации водогрейных котлов.

Энергетические паровые котлы и энерготехнологические агрегаты.

Физические основы работы и конструкции ядерных реакторов. Тепловые схемы АЭС. Теплообмен в парообразующих установках АЭС. Конструкции и особенности теплогидравлического расчёта парогенераторов АЭС.

## **Раздел 5 «Тепломассообменное оборудование промышленных теплоэнергетических систем»**

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.

Испарительные, опреснительные, выпарные и кристаллизационные установки. Тепловые схемы и установки. 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.

## **Раздел 6 «Тепловые двигатели и нагнетатели»**

Общие сведения о принципе работы нагнетательных и расширительных энергетических машин. Теоретические основы рабочих процессов в радиальных нагнетателях. Анализ влияния профиля лопатки рабочего колеса на параметры работы нагнетателя. Конструктивные особенности и характеристики радиальных нагнетателей. Подобие радиальных нагнетателей. Методика изменения характеристик радиальных нагнетателей. Методика конструкторского и прочностного расчетов рабочего колеса центробежного насоса. Теория рабочих процессов и конструкции осевых нагнетателей. Особенности протекания рабочих процессов в объёмных насосах. Принцип действия и теория рабочих процессов в компрессорных машинах. Конструкции и основные расчёты динамических компрессорных машин. Анализ рабочих процессов, протекающих при работе объёмных компрессорных машин. Схемы, динамика и расчёт основных деталей поршневых компрессоров. Работа нагнетателя в сети. Методика выбора нагнетателей и корректировка их характеристик под заданные условия эксплуатации. Совместная работа нагнетателей. Основные положения правил эксплуатации и управление работой нагнетателей. Принцип работы и показатели эффективности турбинной ступени. Закономерности взаимодействия потока с турбинными профилями. Механизм преобразование

энергии в турбинной ступени. Методика проведения теплового расчёта турбинной ступени. Особенности рабочих процессов в многоступенчатых паровых и газовых турбинах. Режимы работы и регулирование турбомашин. Особенности в конструкциях паротурбинных установок для АЭС и для комбинированного производства энергии. Вспомогательное оборудование паровых и газовых турбинных установок. Анализ рабочих процессов в действительных циклах и поршневых двигателях внутреннего сгорания. Обзор существующих конструкций и характеристики двигателей внутреннего сгорания.

## **Раздел 7 «Технологические энергоносители предприятий»**

Общие понятия о системе обеспечения энергоносителями промышленных потребителей. Характеристика основных технологических энергоносителей и ресурсов. Направления их использования в промышленности. определение энергетического потенциала технологических энергоносителей.

Основные виды топлива, применяемые в промышленности. Горючие технологические энергоносители. Энергетические и технологические потребители на промышленных предприятиях и их требования к марке и качеству топлива. Методы определения потребности в топливе. Основные требования к системе топливообеспечения. Источники получения, способы резервирования объёмов и преобразования параметров горючих газов. Графики потребления природного газа и неравномерность выхода доменного и коксового газов. Газорегуляторные пункты и установки. Транспортировка газов к потребителям. Принципы организации необходимых для этого коммуникаций. Сжижение и регазификация газов. Распределение и организация потребления горючих газов. Определение потребности в горючем газе.

Характерные потребители сжатого воздуха на промышленных предприятиях и их требования к объёмам, параметрам и качеству рабочего тела. Классы качества сжатого воздуха, источники его загрязнения и виды примесей. Методы определения потребностей в сжатом воздухе. Способы её нормирования для различных групп потребителей. Режимы потребления сжатого воздуха на предприятии. Организация снабжения предприятия сжатым воздухом: компрессорные установки, магистральные и распределительные трубопроводные системы, вспомогательное оборудование.

Организация снабжения промышленных потребителей водой на основе системного подхода: характеристика прямоточных, обратных и каскадных системы технического водоснабжения в промышленности. Источники получения, способы резервирования объёмов и преобразование параметров воды. Технологические схемы и комплектация насосных станций предприятий.

Принципы организации и расчёт водяных трубопроводных сетей. Источники загрязнения воды при её промышленном использовании и методы её очистки.

Характеристики потребителей искусственного холода. Способы получения холода в промышленности и классификация холодильных установок. Виды и характеристики хладагентов, используемых в системах с холодильными установками различных типов. Анализ энергетической эффективности холодильных установок различных типов.

Характеристика промышленных потребителей технического кислорода, азота и других продуктов разделения воздуха. Методы и технологические схемы промышленного разделения воздуха. Классификация и сравнительный анализ эффективности воздухораспределительных установок промышленного назначения.

## **Раздел 8 «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 теп-

лоиспользованием. 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.

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.

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

## **Раздел 9 «Экономика отрасли»**

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.

## **Примерные вопросы для вступительного экзамена**

1. Какие величины называют термодинамическими параметрами? Какие термодинамические параметры относятся к основным и каким образом они характеризуют физическое состояние рабочего тела?

2. Что называют термодинамической системой и термодинамическим процессом? Какие существуют способы представления изменения состояния термодинамической системы. Объясните, каким образом термодинамический процесс, изображённый на  $p-v$  диаграмме можно представить в  $T-s$  диаграмме.

3. Зачем вводится в техническую термодинамику понятие об идеальном газе? Каким образом на основании молекулярно-кинетической теории можно получить характеристическое уравнение состояния для идеального газа?

4. Назовите универсальное уравнение состояния идеального газа. На каких законах основан его вывод. Объясните физический смысл универсальной газовой постоянной.

5. Что такое газовая смесь? Назовите способы задания смесей газов. Объясните методику определения кажущейся молекулярной массы и газовой постоянной для газовых смесей.

6. Какая существует взаимосвязь между массовыми, объёмными и молярными долями компонентов входящих в смесь идеальных газов?

7. Объясните, чем реальные газы отличаются от идеальных. Назовите возможные способы описания состояния реальных газов и дайте им краткую сравнительную оценку.

8. Что называют термодинамическими процессами? Объясните физический смысл известных форм передачи энергии от одних тел к другим при протекании термодинамических процессов. Чем отличаются между собой обратимые и необратимые процессы?

9. Что понимается под внутренней энергией идеального и реального газов? От каких параметров зависит внутренняя энергия газа? Является ли внутренняя энергия функцией состояния или процесса?

10. Объясните, каким образом можно получить выражение для аналитического определения работы в произвольном термодинамическом процессе?

11. Сформулируйте первый закон термодинамики. Какие особенности его аналитического выражения для статических и перемещающихся в пространстве систем.

12. Что называют энтальпией? В чём заключается её физический смысл?

13. Дайте определение удельной теплоёмкости. Что такое истинная и средняя теплоёмкость. Объясните методику определения средней теплоёмкости при помощи таблиц теплоёмкостей. Что такое теплоёмкость при постоянном объёме и при постоянном давлении? Какова взаимосвязь между ними? Объясните, почему теплоёмкость при постоянном объёме меньше теплоёмкости при постоянном давлении.

14. Объясните методику определения количеств тепла через среднюю теплоёмкость с учётом показателя политропы процесса. В чём заключаются особенности определения средней теплоёмкости для газовых смесей?

15. Объясните, каким образом можно определить теплоёмкость идеального газа на основании положений молекулярно-кинетической теории.

16. Какая функция называется энтропией? В чём заключается физический смысл энтропии?

17. Для каких целей в термодинамике используется функция состояния, называемая энтропией? По каким зависимостям возможно рассчитать фактическое значение и изменение энтропии в произвольном термодинамическом процессе?

18. Что называется эксергией? Для каких целей в термодинамике используется эта функция? Объясните методику количественной оценки эксергии.

19. Дайте определение основным термодинамическим процессам. Как они изображаются на  $p$ - $v$  и  $T$ - $s$  диаграммах. Напишите зависимости соотношений между основными термодинамическими параметрами и энергетическими характеристиками для каждого из процессов.

20. Объясните особенности количественной оценки изменения состояния рабочего тела при протекании адиабатного процесса.

21. Какие процессы называют политропными? При использовании каких зависимостей можно оценить изменение состояния рабочего тела в политропном процессе? Каким образом можно рассчитать количество тепла, изменение внутренней энергии и работу при протекании политропного процесса?

22. При помощи обобщённой  $p$ - $v$  диаграммы проведите анализ политропных процессов. Какие из процессов предпочтительно использовать в качестве основных в энергетических машинах и почему?

23. Запишите уравнение для определения теплоёмкости политропного процесса и продемонстрируйте, как из данного уравнения можно получить теплоёмкости при всех основных термодинамических процессах. Поясните, в каких политропных процессах и почему теплоёмкость будет отрицательной. Что это означает?

24. Что называют круговым процессом (или циклом)? Какие бывают циклы? Каким образом оценивают эффективность циклов? Опишите обратимый цикл Карно. Объясните динамику изменения энтропии в замкнутой адиабатной системе, если в ней протекают обратимые и необратимые процессы. Сформулируйте второй закон термодинамики.

25. Какие фазовые переходы веществ существуют в природе? При помощи каких фазовых диаграмм возможно описание физических свойств веществ, какова их (диаграмм) структура?

26. Объясните механизм фазового перехода в веществах (на примере воды). Изобразите  $h$ - $s$  диаграмму водяного пара и поясните её структуру. Объясните методику определения теплоты, работы и изменения внутренней энергии для основных процессов в условиях фазовых переходов вещества при помощи диаграммы.



27. Что называют скрытой теплотой фазового перехода? Объясните методику её определения для различных веществ и видов фазового перехода (уравнение Клапейрона-Клаузиуса).

28. Объясните, в чём заключается смысл тепловой теоремы Нернста?

29. Запишите уравнение первого закона термодинамики для потока. Объясните смысл всех величин, входящих в это уравнение. Как выглядят уравнения адиабатного потока в форме давления и энтальпии? Каким образом можно определить скорость истечения и расход реального газа?

30. Запишите основное уравнение газодинамики и на его основе объясните особенности течения газов по каналам переменного сечения.

31. Объясните методику расчёта скорости истечения и расхода идеального газа при адиабатном процессе. Проанализируйте уравнение расхода идеального газа. Что такое критическое соотношение давлений и как его определить?

32. Объясните методику расчёта скорости истечения и расхода реального газа. Почему в этом случае нельзя применять расчётные зависимости, справедливые для идеального газа?

33. Назовите способы смешивания газов. Объясните методику определения основных термодинамических параметров смеси при различных способах смешивания.

34. В чём заключается особенность изменения энтропии при смешивании газов?

35. Что называется влажным воздухом? Какими способами описывается состояние влажного воздуха? Опишите структуру  $h-d$  диаграммы влажного воздуха. Как изображаются основные процессы влажного воздуха в  $h-d$  диаграмме?

36. Дайте описание одноступенчатого поршневого компрессора. Изобразите действительную индикаторную диаграмму одноступенчатого компрессора. Объясните, какой процесс сжатия является энергетически выгодным и почему нельзя получить газ высокого давления в одноступенчатом компрессоре.

37. Объясните, почему в практике сжатия газов и паров применяют многоступенчатые компрессоры. Используя теоретическую индикаторную диаграмму, объясните, при каких условиях необходимо осуществлять многоступенчатое сжатие.

38. Дайте сравнительную оценку эффективности циклов газовых двигателей внутреннего сгорания. Объясните влияние особенностей конструкции двигателя и его режимных характеристик на эффективность преобразования тепла в работу?

39. Объясните принцип действия холодильной установки. Что называют холодопроизводительностью и холодильным коэффициентом? Какая из существующих типов холодильных установок является наиболее совершенной и почему?

40. Объясните принцип действия воздушной холодильной установки (ВХУ). Проанализируйте её термодинамический цикл и объясните, почему подобные энергетические машины имеют относительно невысокий показатель эффективности.

41. Объясните принцип действия парокompрессорной холодильной установки (ПХУ). Проанализируйте эффективность цикла ПХУ при различных способах снижения температуры рабочего тела перед входом в испаритель.

42. Для каких целей используются тепловые насосы? Объясните принцип действия теплового насоса и изобразите его термодинамический цикл. Каким показателем оценивается эффективность теплового насоса?

43. Изобразите принципиальную схему паротурбинной установки и объясните принцип её работы. Как выглядит цикл ПТУ на  $p-v$ ,  $T-s$  и  $h-s$  диаграммах. Объясните методику оценки термического КПД паротурбинной установки.

44. Объясните влияние основных параметров рабочего тела на величину термического КПД паротурбинной установки.

45. Назовите способы повышения термического КПД паротурбинной установки. В каких случаях используется вторичный перегрев пара на выходе из турбины. Каким образом это влияет на работу установки и на показатели эффективности цикла?

46. Объясните принцип работы паротурбинной установки с регенерацией теплоты. Объясните методику оценки термического КПД для данной конструктивной схемы установки.

47. Влияет ли вид рабочего тела на эффективность цикла паротурбинной установки. Изобразите функциональную схему и объясните принцип действия установки работающей по бинарному циклу. Проведите сравнительную оценку бинарного цикла ПТУ с классическим по степени заполнения идеального цикла Карно.

48. Назовите основные виды теплообмена. Опишите механизм передачи тепловой энергии в случае каждого из них.

49. Сформулируйте основной закон распространения теплоты путём теплопроводности. Объясните, каким образом можно оценить количество тепла передаваемого через однородную стенку заданной площади и толщины.

50. Какие факторы влияют на протекание процесса конвективного теплообмена. Объясните сущность существующих методов количественной оценки процессов конвективного теплообмена.

51. Перечислите уравнения, определяющие зависимость между величинами, характеризующими процесс конвективного теплообмена и сформулируйте условия, обеспечивающие возможность их применения для решения практических задач.

52. Как учение о подобии явлений может быть использовано при решении практических задач, связанных с расчётами количеств передаваемого тепла? Объясните, что такое “критерий подобия” и каким образом он может быть получен?

53. При помощи конспекта объясните методику формирования критериев гидродинамического подобия. Сформулируйте физический смысл каждого из них.

54. При помощи конспекта объясните методику формирования критериев теплового подобия. Сформулируйте физический смысл каждого из них.

55. Что называют “критериальными уравнениями”? Какова их структура, способы получения и методика практического использования.

56. Объясните, как влияет направление теплового потока на теплообмен при вынужденном движении жидкости в гладких каналах. Каким образом направление теплового потока учитывается в критериальных уравнениях?

57. Объясните методику теплового и гидродинамического расчёта конвективных теплообменных аппаратов.

58. В чём заключается сущность основных физических законов излучения, представляющих интерес для качественной и количественной оценки процесса теплообмена излучением?

59. Объясните общие подходы к выбору типа и расчёту систем отопления и горячего водоснабжения производственных помещений.

60. Для каких целей предназначены системы вентиляции и кондиционирования? В чём заключается сущность их проектирования?

61. В чём заключаются основные принципы выбора конкретного типа конфигурации тепловой сети?

62. Каким образом, и с какой целью проводится регулирование тепловых нагрузок в системах теплоснабжения?

63. Кратко объясните методику теплового и гидравлического расчётов тепловой сети.

64. Изложите основные этапы разработки проекта котельной.

65. Проведите сравнительный анализ энергетической эффективности различных технологических схем для комбинированной выработки тепловой и электрической энергии.

66. В чём заключается сущность процесса воспламенения и механизма горения углеводородного топлива?

67. Как происходит самовоспламенение и зажигание горючих смесей и твёрдого топлива?

68. Объясните механизм термического разложения углеводородов.

69. Какие существуют методы интенсификации сжигания газов?

70. Опишите основные реакции горения и газификации углерода.

71. В чём заключаются теоретические основы и как выглядят возможные технологические схемы генерирования тепловой энергии в котельных установках?

72. Каким образом осуществляется распределение тепловых нагрузок по теплогенерирующим элементам котельного агрегата?

73. Объясните методику составления теплового баланса котельной установки?

74. Назовите задачи и объясните методику теплового расчёта котельной установки?

75. Какими методами проводится оптимизация тепловых процессов в поверхностях нагрева котельного агрегата?

76. Объясните особенности работы гидравлических контуров котельных агрегатов с естественной циркуляцией и с принудительным движением рабочего тела.

77. Каким образом проводится разработка конструкции и расчёт гидравлических контуров котельного агрегата?

78. Сформулируйте цель и объясните методику аэродинамического расчёта котельной установки.

79. Объясните сущность технологии водно-химического режима котельного агрегата.

80. Каким образом осуществляется управление котельной установкой на различных режимах её работы?

81. Объясните сущность технологии выработки пара на АЭС.

82. Объясните методику теплового, гидравлического и прочностного расчётов рекуперативных теплообменных аппаратов.

83. Каким образом классифицируются теплообменные аппараты промышленных энергетических систем? Проведите краткий обзор существующих конструкций теплообменных аппаратов, объясните принцип их работы и укажите области приоритетного использования.

84. Объясните принцип работы нагнетательных и расширительных машин.

85. Проведите анализ влияния особенностей конструктивного оформления проточной части нагнетательной машины на её рабочие характеристики.

86. Каким образом осуществляется выбор нагнетательной машины для работы на сеть заданной конфигурации?

87. Объясните методику корректировки рабочей характеристики нагнетательной машины под заданные условия эксплуатации.

88. Объясните механизм преобразования энергии в турбинной ступени.

89. В чём заключаются особенности протекания рабочих процессов в многоступенчатых паровых и газовых турбинах?

90. Дайте краткий обзор существующих конструкций и характеристик двигателей внутреннего сгорания. Каким образом осуществляется подбор двигателя для привода стационарной энергетической установки (насоса, компрессора и т.д.)?

91. Опишите структуру и особенности функционирования систем обеспечения энергоносителями промышленных потребителей.

92. В чём заключаются методологические основы создания энергосберегающих и экологически совершенных теплотехнологических установок и систем?

93. Каковы основные принципы и критерии сравнительной оценки и выбора источников энергии теплотехнологии? Каковы принципы эффективного комбинирования источников энергии?

94. Каким образом проводится оптимизация энергетических балансов в целях повышения технологической эффективности производства, экономии энергетических и материальных ресурсов, защиты окружающей среды?

96. Что представляют собой термодинамические идеальные теплотехнические установки и системы?

97. Объясните сущность энергоэкономических критериев оценки совершенства тепловых схем теплотехнологических установок.

98. В чём заключаются принципы построения энергосберегающих тепловых схем?

99. Перечислите проблемы развития энергетики на современном этапе. Сформулируйте и обоснуйте возможные пути их решения.

## **Учебно-методическое и информационное обеспечение программы**

### *Основная литература*

1. Брюханов, О.Н. Тепломассообмен : учеб. для вузов / О. Н. Брюханов, С. Н. Шевченко. – М. : Инфра-М, 2013. – 463 с.
2. Быстрицкий Г.Ф. Основы энергетики : учеб. для вузов / Г. Ф. Быстрицкий. - 4-е изд., стер. – М. : Кнорус, 2013. – 350 с.
3. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях / А. А. Кудинов, С. К. Зиганшина. – М. : Машиностроение, 2011. – 373 с.
4. Кудинов, А.А. Тепломассообмен : учеб. пособие для вузов / А. А. Кудинов. – М. : ИНФРА-М, 2012. – 374 с.
5. Кириллин, В.А. техническая термодинамика: учеб. для вузов./ В.А.Кириллин, В.В. Сычев, А.Е.Шнейдлин. – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2008. – 495 с.
6. Ляшков, В.И. Теоретические основы теплотехники: учеб. пособие для вузов./В.И.Ляшков. – М.: Высш.шк., 2008. – 318 с.
7. Михатулин, Д.С. Тепломассообмен, термохимическое и термоэрозийное разрушение тепловой защиты : [курс лекций] / Д. С. Михатулин, Ю. В. Полежаев, Д. Л. Ревизников. – М. : Янус-К, 2011. – 516 с.
8. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей : справочник / В. И. Манюк [и др.]. – Изд. 4-е. – М. : URSS. ЛИБРОКОМ, 2009. – 432 с.
9. Сидельковский Л.Н. Котельные установки промышленных предприятий. Учебник для вузов/ Л.Н. Сидельковский, В.Н. Юренев (стереотипно с 1988. – М.: Изд-во ООО “БАСТЕТ”, 2009.
10. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети : учеб. для вузов / Е. Я. Соколов. - 9-е изд., стер. – М. : МЭИ, 2009. – 471 с.
11. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учеб. для вузов / О. Л. Данилов [и др.] ; под ред. А. В. Клименко. – 2-е изд., стер. – М. : МЭИ, 2011. – 422 с.

### *Дополнительная литература*

1. Веников, В.А.. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем/ Веников В.А., Журавлев В.Г., Филиппова Т.А. – 2-е изд., перераб. и доп.[ и др.]. – М.:Энергоиздат,1990. – 352с.
2. Вильямс, Ф.А. Теория горения / Ф. А. Вильямс ; пер. с англ. С. С. Новикова, Ю. С. Рязанцева. – М. : Наука, 1971. – 615 с.
3. Исаченко В.П. Теплопередача : учеб. для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Энергоиздат, 1981. – 415 с.

4. Кириллин В.А., Сычёв В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика / В.А.Кириллин, В.В. Сычёв, А.Е. Шейндлин. – Изд. 3-е. – М.: Энергоиздат, 1984. – 448 с.
5. Ковалев А.П., Лелеев И.С., Виленский Т.В. Парогенераторы. – М.: Энергоатомиздат, 2001.
6. Кудинов В.А. Техническая термодинамика : Учеб. для студентов вузов / В. А. Кудинов, Э. М. Карташов. – 3-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2003. – 260с.
7. Лебедев И. К. Гидродинамика паровых котлов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 240 с.
8. Мадера, А.Г. Моделирование теплообмена в технических системах/А.Г. Мадера. – М.: Науч. фонд "Первая исслед. лаб. им. акад. В. А. Мельникова", 2005. – 204 с.
9. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача /В.В.Нащокин. – Изд. 3-е , испр. и доп. – М.: Высш. школа, 1980. – 469 с.
10. Назмеев, Ю.Г., Лавыгин, В.М. Тепломассообменные аппараты ТЭС/ Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. – 2-е изд. – М.: Изд-во МЭИ, 2006
11. Назмеев Ю.Г. Мазутные хозяйства ТЭС. – М.: Изд-во МЭИ, 2002.
12. Назмеев Ю.Г. Системы золошлакоудаления ТЭС. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
13. Назмеев Ю.Г. Системы топливоподачи и пылеприготовления ТЭС : Справочное пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2005.
14. Основы идентификации и проектирования тепловых процессов и систем: Учеб.пособие/ О.М. Алифанов, П.Н.Вабишевич, В.В.Михайлов [и др.]. – М.:Логос,2001. – 399С
15. Промышленные тепломассообменные процессы и установки: учеб. для вузов/ Бакластов А.М., Горбенко В.А., Данилов О.Л., Ефимов А.Л.; под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.
16. Резуненко В.И. Математическое моделирование процессов в энергосиловых установках /В.И. Резуненко [и др.]. – М.: Изд-во АСВ, 2008.
17. Сазанов Б.В., Ситас В.И. Теплоэнергетические системы промышленных предприятий: Учеб. пособие для вузов. – М.:Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
18. Свистунов, В.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха объектов агропромышленного комплекса и коммунально-жилищного хозяйства / В.М. Свистунов. – СПб. : Политехника, 2008. – 422 с.
19. Сканави, А.Н., Махов Л.М. Отопление / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М.: Изд. АСВ, 2006. – 575 с.

20. Стерман Л.С. Тепловые и атомные электрические станции: учебник / Стерман Л.С., Лавыгин В.М., Тишин С.Г. – 2-е изд., перераб.[ и др. ]. – М.: Изд-во МЭИ, 2000. – 407с.
21. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Е.Я. Соколов. - М: Энергия, 1999.-376 с.
22. Теория теплообмена: учеб. для вузов/ Исаев С.И., Кожин И.А., Кофанов В.И., Леонтьев А.И.; под ред. А.И.Леонтьева. – 2- е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. – 683 с.
23. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочник: в 4. кн. кн.1: под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.:Изд-во МЭИ, 1999. – 527 с.
24. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочник: в 4. кн. кн.2: Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент./ Александров А.А., Белосельский Б.С., Вайнштейн А.Г., Выскубенко Ю.А.; под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.:Изд-во МЭИ, 2001. – 561 с.
25. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочник: в 4. кн. кн.3: Тепловые и атомные электростанции/ Алтухов М.С., Безгрешнов, А.Н., Богоявленский Р.Г., Борисов Б.Г.; под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина.- 3-е изд., перераб. и доп. – М.:Изд-во МЭИ, 2003. – 648 с.
26. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочник: в 4. кн. кн.4: промышленная теплоэнергетика/ Борисов Б.Г., Борисов К.Б., Бродянский В.М., Вакулко А.Г.; под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.:Изд-во МЭИ, 2004. – 630 с.
27. Теплообменники энергетических установок/ под ред. Ю.М. Бродова. – 2-е изд. – Екатеринбург: Сократ, УГТУ-УПИ, 2006
28. Турбины тепловых и атомных электрических станций: учеб. для вузов; под ред. А.Г. Костюка, В.В. Фролова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 488 с.
29. Федоров Л. Ф.. Рассохин Н. Г. Процессы генерации пара на атомных электростанциях. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.
30. Фокин В.М. Теплогенерирующие установки систем теплоснабжения. – М.: “Издательство Машиностроение-1”, 2006. – 240 с.
31. Хзмалян, Д.М. Теория топочных процессов: учеб. пособие для вузов/ Д.М. Хзмалян. – М.:Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
32. Частухин, В.И. Топливо и теория горения : учеб. пособие для вузов / В. И. Частухин, В. В. Частухин. – Киев : Выща шк., 1989. – 222 с.
33. Черкасский В.М., Калинин Н.В., Кузнецов Ю.В., Субботин В.И. Нагнетатели и тепловые двигатели. – М.: Энергоатомиздат, 1997. – 384 с.
34. Черкасский В.М. Насосы, компрессоры, вентиляторы – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 424 с.
35. Щегляев, А.В. Паровые турбины: теория теплового процесса и конструкций турбин, учеб. для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1993. –357 с.