


**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

«УТВЕРЖДАЮ»



Проректор по научной работе  
д.т.н. проф.  Драгунов В.К.

«27» мая 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
специальной дисциплины  
Специальность 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника**

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, профиль: Промышленная теплоэнергетика в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно- педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** освоение методов анализа, исследования и реализации энерго- и ресурсосбережения в системах промышленной теплоэнергетики, теплотехнологических системах и комплексах, в том числе с использованием физических и математических моделей систем и комплексов и их элементов.

**Задачами** дисциплины являются:

- ознакомление обучающихся с основными достижениями в области тепломассообмена, термодинамики гидрогазодинамики, энергетическими и технологическими основами разработки, создания и эксплуатации современных систем и их элементов в промышленной теплоэнергетике и теплотехнологии;
- формирование у обучающихся научно обоснованного представления об энергетической эффективности объектов, систем и установок по производству и преобразованию различных видов энергии, ее транспортированию и распределению, использованию в обрабатывающей технологии, санитарно-технических системах (системах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и горячего водоснабжения);
- освоение обучающимися современных методов сбора, обработки и анализа информации об объемах и эффективности использования энергии в промтеплоэнергетических и теплотехнологических системах;
- освоение обучающимися современных методов создания энергетически эффективных и экологически чистых систем и комплексов промышленной теплоэнергетики и теплотехнологии;
- научить выполнять расчеты и эскизные проекты современных энергоэффективных и экологически чистых систем промышленной теплоэнергетики и теплотехнологии и их элементов.

## **МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ**

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

### **Формула специальности**

Научная специальность, объединяющая исследования по совершенствованию промышленных теплоэнергетических систем, по разработке и созданию нового и наиболее совершенного теплотехнического и теплового технологического оборудования. В рамках специальности ведется поиск структур и принципов действия теплотехнического оборудования, которые обеспечивают сбережение энергетических ресурсов, уменьшение энергетических затрат на единицу продукции, сбережение материальных ресурсов, направляемых на изготовление теплопередающего и теплоиспользующего оборудования, защиту окружающей среды.

### **Области исследований**

1. Термодинамические процессы и циклы применительно к установкам производства, преобразования и потребления энергии.
2. Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом; совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси.
3. Процессы переноса массы, импульса и энергии при свободной и вынужденной конвекции в широком диапазоне свойств теплоносителей и характеристик теплопередающих поверхностей, в одно- и многофазных системах и при фазовых превращениях. Радиационный теплообмен в прозрачных и поглощающих средах.
4. Научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты. Процессы тепло- и массообмена в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты.
5. Научные основы повышения эффективности использования энергетических ресурсов в теплотехническом оборудовании и использующих теплоту системах и установках.
6. Оптимизация схем теплоэнергетических установок и систем для генерации и трансформации энергоносителей, в том числе, основанных на принципах их комбинированного производства. Совершенствование методов расчета тепловых сетей и систем теплоснабжения с целью повышения их энергоэффективности.
7. Новые конструкции теплопередающих и теплоиспользующих установок и оборудования, обладающих улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими характеристиками. Совершенствование методов расчета и оптимизация параметров использующих теплоту технологических процессов, оборудования и систем.



9. Системы обеспечения теплового режима теплоэнергетических, промышленных и коммунальных объектов, теплопотребляющего и тепловыделяющего оборудования, методы их совершенствования. Математическое моделирование и оптимизация энерготехнологических систем промышленных предприятий и систем теплоснабжения зданий, районов и городов.

10. Теоретические аспекты и методы интенсивного энергосбережения в тепловых технологических системах и процессах. Теоретические основы создания малоотходных и безотходных тепловых технологических установок, способствующих защите окружающей среды.

### **Отрасль науки**

- технические науки;

### **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

Настоящая программа составлена на основе дисциплин в области теплоэнергетики и теплоэнергетики, связанных с особенностями анализа, синтеза и технического использования промышленного теплотехнического оборудования, с оптимизацией теплотехнических процессов в установках и теплотехнологических комплексах.

#### **1. Фундаментальные основы промышленной теплоэнергетики**

Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Изопродессы. Применение первого закона термодинамики к расчетам изопродессов. 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 Лавалея. Истечение водяного пара. Дросселирование.

Конвективный тепло- и массоперенос. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Законы Ньютона, Фурье и Фика. 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. Соотношение Герца—Кнудсена для потока массы при фазовом переходе первого рода. 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.

Зависимость коэффициента теплоотдачи и плотности теплового потока от температурного напора, давления, физических свойств жидкости, состояния и профиля поверхности стенки, других факторов при кипении жидкости в большом объеме для пузырькового кипения. Влияние на теплоотдачу скорости пара. Конденсация пара внутри гладких, шероховатых и профилированных труб и каналов. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках гладких, шероховатых и профилированных труб. Теплоотдача при капельной конденсации пара. Основные представления о механизме процесса, расчетные уравнения.

Влияние перегрева, и влажности пара на коэффициент теплоотдачи. Особенности теплоотдачи при конденсации паров металлов. Коэффициент конденсации. Термическое сопротивление фазового перехода.

Процессы смесеобразования. Молекулярная и турбулентная диффузия. Смесеобразование в турбулентных слоях. Аналогия между диффузией и теплообменом.

Контактный теплообмен. 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.

Процессы смесеобразования. Молекулярная и турбулентная диффузия. Смесеобразование в турбулентных слоях. 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.

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. Тепломассообменное оборудование предприятий

Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадкой, 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.

Понятие инженерного эксперимента и его классификация. Определения и термины в инженерном эксперименте. Методы теории подобия и теории размерностей в инженерном эксперименте. Критерии подобия. Безразмерные определяемые числа. Безразмерные симплексы и комплексы. Методы получения расчетных зависимостей в безразмерном виде. Планирование эксперимента для определения необходимых экспериментальных данных для полученных расчетных зависимостей. Формы представления результатов. Виды ошибок. Экспериментальные ошибки и неопределенности. Источники и виды ошибок. Рандомизация эксперимента. Природа случайных ошибок и неопределенностей. Нормальная кривая распределения ошибок (распределение Гаусса). Показатели точности измерительной системы. Среднеквадратичное отклонение. Вероятная ошибка. Ошибка и неопределенность эксперимента в целом. Общее уравнение показателя точности эксперимента. Примеры применения. Планирование эксперимента с точки зрения анализа ошибок. Нахождение неопределенностей с помощью графиков и диаграмм. Проверка значимости эксперимента. Основы выбора измерительных систем. Последовательность испытаний и план эксперимента.

Принципы составления теплового баланса. Структура теплового баланса предприятий, его виды. Тепловой баланс потребителей теплоты. Паровой и конденсатный балансы предприятия. Тепловой баланс предприятия с



собственной котельной. Расходы теплоты на технологические нужды, отопление, вентиляцию и систему горячего водоснабжения. Удельные нормы теплоты на выработку отдельных видов продукции, влияние основных факторов. Основные понятия эксергетического анализа. Составление эксергетического баланса.

### 3. 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.

Характеристика и анализ схем паровых и водогрейных котельных, теплотехнические испытания котельных агрегатов и анализ полученных результатов. Приходная и расходная части баланса котельной. Упрощенная методика теплотехнического расчета котельных агрегатов. Расчет удельного расхода условного топлива. Определение расхода теплоты и электроэнергии на собственные нужды котельной. Использование разнородного топлива (природный газ, мазут, уголь, дрова) в котельных. Работа основного и вспомогательного оборудования котельной и системы теплоснабжения в целом, необходимость рассмотрения систем производства теплоты, ее транспорта и потребления как единую систему, с учетом взаимного влияния характеристик каждой из систем. Тепловые потери при транспорте теплоносителя. Нормативные потери теплоты с поверхности изоляции трубопроводов при различных способах его прокладки. Методики определения фактических потерь теплоты, примеры их использования на реальных тепловых сетях, сравнение с нормативными потерями. Факторы, влияющие на тепловые потери при транспорте теплоносителя.

Особенности использования горючих ВЭР. Методы сведения балансов горючих ВЭР и снижения их потерь. Буферные потребители горючих ВЭР. Методы использования периодических выходов горючих газов. Конструкция и особенности работы аккумуляторов газа (газгольдеров). Схемы использования периодических выходов горючих газов с применением аккумуляторов теплоты. Причины возникновения дисбалансов пара. Методы сведения балансов

производственного пара. Использование заводской ТЭЦ в качестве звена, замыкающего баланс производственного пара по заводу. Аккумуляторы пара. Выравнивание паропроводительности утилизационных установок за счет использования подтопки с рециркуляцией газов. Пиковые паровые котлы. Использование избытков пара утилизационных установок, в том числе для выработки электроэнергии.

Низкопотенциальные ВЭР, определение и классификация. Повышение давления пара в турбокомпрессорах. Сезонное использование физической теплоты газов с низкой температурой. Схемы использования теплоты охлаждения конструктивных элементов технологических агрегатов. Использование низкопотенциальных ВЭР в вентиляционных схемах промышленных предприятий. Схемы применения тепловых насосов.

#### 4. Котельные установки и парогенераторы

Источники теплоты промышленных котельных установок. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах. 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 пароводогрейные котлы. Котлы высоко- и низконапорные, прямого действия и с неводяными теплоносителями. Котлы, использующие теплоту технологического продукта. Очистка продуктов сгорания от твердых и газообразных примесей. Определение основных характеристик работы котельного агрегата по результатам испытаний.

Утилизационные установки (УУ) в энергосистеме промышленного предприятия. Общая характеристика УУ. Оптимальное распределение горючих ВЭР. Использование избыточного давления газов и жидкостей. Утилизационные установки, использующие ВЭР в виде физической теплоты газов, горячей продукции, охлаждения элементов конструкций агрегатов и т.д. Выбор параметров пара утилизационных установок. Схемы установки котла-утилизатора в газовом тракте технологического агрегата. Комплексное использование горючих и тепловых ВЭР, а также избыточного давления газа. Современные эффективные технологии получения электрической и тепловой энергии из биомассы.

#### 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. Двигатели внутреннего сгорания, принцип работы, их термодинамические циклы, КПД.

#### 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. Основные источники потерь энергии при работе холодильного оборудования. Методика определения потребности в холоде. Системы обеспечения предприятий продуктами разделения воздуха. Схемы потребителей технического и технологического кислорода, азота, аргона и других продуктов разделения воздуха. Методы расчета технологических схем станций разделения воздуха.

#### 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 ком-плексов.

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.

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.

### **Вопросы для самоконтроля и для проведения экзамена:**

1. Изобразите различные изопроецессы в  $p-v$ ,  $T-s$ ,  $h-s$  диаграммах.
2. По какой формуле можно рассчитать энтальпию влажного воздуха?
3. По каким формулам можно определить КПД в циклах Карно, Ренкина, циклах двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин? Проанализируйте степень влияния различных параметров в формулах на величину КПД.
4. Для каких целей применяют сопла Лавалья? Изобразите, как изменяются параметры потока в различных сечениях при движении в суживающемся сопле и сопле Лавалья?
5. Как изменяется температура газа при дросселировании?
6. Как определяется режим течения рабочего тела?
7. Какие виды теплообмена существуют?
8. Что такое абсолютно черное тело, серое тело?
9. Как можно определить температуру тела по характеристикам его теплового излучения?
10. По каким формулам рассчитывается материальный баланс горения твердого, жидкого и газообразного топлива?
11. Какие типы котельных существуют, критерии их выбора?
12. Назовите существующие методы и способы регулирования тепловых нагрузок потребителей.
13. Как определить экономию топлива, которую дает ТЭЦ по сравнению с вариантом раздельного производства тепловой и электрической энергии?
14. Что такое коэффициент теплофикации и как определяется его оптимальное значение?
15. Назначение деаэраторов и их типы?
16. Назначение и типы оребрения поверхностей нагрева теплообменных аппаратов?
17. Назовите существующие способы регулирования нагнетателей. Изобразите напорные характеристики нагнетателей и изменение их мощности при различных способах регулирования.
18. Для каких целей используется параллельное и последовательное соединение нагнетателей?
19. В чем заключается отличие активной и реактивной турбины?
20. Как определяется КПД и холодильный коэффициент холодильной машины?
21. По какому показателю можно сравнивать термодинамическую эффективность холодильных установок, работающих на различных и одинаковых температурных уровнях?
22. Запишите энергетический, тепловой, эксергетический балансы теплотехнологической установки, определите наиболее значимые их составляющие.

23. Запишите систему дифференциальных уравнений переноса для конвективного тепло- и массообмена.

24. Запишите граничные условия первого, второго и третьего рода для конвективного теплообмена при течении однофазного теплоносителя в канале, при внешнем обтекании тел.

25. Каковы особенности конвективного теплообмена при кипении в большом объеме.

26. Теплообмен при конденсации пара в теплообменниках.

27. Теплообмен при конденсации пара из парогазовых смесей и при испарении влаги из влажных материалов.

28. Цикл Ренкина и его реализация в технике, показатели энергетической эффективности.

29. Радиационный теплообмен в теплоэнергетическом и теплотехническом оборудовании. Способы его реализации.

30. Цикл газотурбинной и парогазовой установки установок. Показатели их энергоэффективности.

31. Циклы компрессионных установок и показатели их энергоэффективности.

32. Циклы холодильных установок и показатели их энергоэффективности.

33. Энергетические, тепловые и материальные балансы объектов промышленной энергетики и теплотехнологии. Показатели их энергоэффективности.

34. Энергоаудит, энергетический паспорт объектов промышленной теплоэнергетики. Высоко-, средне и малозатратные энергосберегающие мероприятия.

35. Методы энергосбережения и повышения энергоэффективности объектов промышленной теплоэнергетики и теплотехнологии.

36. Топливо-энергетический баланс России и перспективы его развития.

37. Источники и системы теплоснабжения промышленных объектов и объектов коммунальной сферы. Перспективы их развития.

38. Тепловые насосы, проблемы и перспективы их применения в системах промышленной теплоэнергетики и теплотехнологии в России и за рубежом.

39. Трансформаторы тепла. Виды термодинамических циклов при их реализации. Достоинства и недостатки.

40. Системы отопления производственных и гражданских объектов. Методы определения отопительной нагрузки.

41. Варианты тепловых схем систем горячего водоснабжения промышленных и гражданских зданий, расчет тепловой нагрузки систем горячего водоснабжения.

42. Виды систем, варианты схем систем вентиляции и кондиционирования воздуха промышленных предприятий и гражданских объектов. Методы и технические средства энергосбережения в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.



## **ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

### **Требования и критерии оценивания ответов экзамена**

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивным письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

### **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основная литература:

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: учебник для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ 2008. – 496 с.
2. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Теплообмен. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 550 с.
3. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
4. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент:

Справочник / Под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.

5. Энергосбережение в теплоэнергетике и технологиях. Учебник для вузов / под ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 424 с.

6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учебник для вузов. – 9-е изд. – М.: Изд. дом МЭИ, 2009. – 472 с.

6. Пашков Л.Т. Основы теории горения – М.: Издательство МЭИ, 2008. 135 с.

7. Соколов Б.А. Паровые и водогрейные котлы малой и средней мощности: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений – 3-е изд., - М.: Издательский центр «Академия», 2011.

Дополнительная литература:

1. Султангузин И.А., Яворовский Ю.В. Математическое моделирование и оптимизация промышленных теплоэнергетических систем. - М.; Издательство МЭИ, 2009. – 92 с.

2. Холоднов В.А., Хартман К., Чепикова В.Н., Андреева В.П. Системный анализ и принятие решений. Компьютерные технологии моделирования химико-технологических систем. СПб.: СПбГТИ (ТУ). 2007, 160 с.

3. Горяев А.Б., Овчинников Е.В. Оптимизация тепло-массообменного оборудования на основе системного подхода / Учебное пособие по курсам «Тепло-массообменное оборудование предприятий» и «Основы инженерного проектирования» для студентов, обучающихся по направлению «Теплоэнергетика», — М. Издательство МЭИ, 2008.–32 с.

4. Справочник по энергоснабжению и электрооборудованию промышленных предприятий и общественных зданий / под общ. ред. профес. МЭИ (ТУ) С.И. Гамазина, Б.И. Кудрина, С.А. Цырука. – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 747 с.

5. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Под ред. проф. Б.М. Хрусталева. — М.: Изд-во АСВ, 2007. – 784 с.

6. Лабунцов Д.А., Ягов В.В. Механика двухфазных систем: учебное пособие для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.–384 с.

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

1. Университетская информационная система «РОССИЯ»  
<https://uisrussia.msu.ru>

2. Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>



3. Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>
4. База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>
5. База данных Scopus <https://www.scopus.com>
6. Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>
7. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ <https://rosmintrud.ru/opendata>
8. База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>
9. База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
10. Базы данных Министерства экономического развития РФ <http://www.economy.gov.ru>
11. База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>
12. Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>
13. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>
14. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» <https://openedu.ru>
15. Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ" <https://www.polpred.com>
16. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>
17. Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Доцент кафедры ПТС  
к.т.н.

Е.В. Жигулина

Заведующий кафедрой ПТС  
к.т.н., доцент

Ю.В. Яворовский

Директор ИЭВТ  
к.т.н., доцент

И.А. Щербатов

«СОГЛАСОВАНО»

Заведующий кафедрой ТМПУ  
докт. техн. наук, профессор

А.Б. Горяев

Заведующий кафедрой ИТНО  
докт. техн. наук, доцент

А.Н. Рогалев