Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Наливайко Антон Юрьевич
Должность: проректор по научной работе
Дата подписания: 01.11.2023 17:25:13
Уникальный программный ключ:
1a3df673e07fcd54440aceed8bb7e29f4817bf0a

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

УТВЕРЖДЕНО
Декан Факультета урбанистики и
городского хозяйства
Марюшин Л.А.
«30» августа 2020г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Промышленная теплоэнергетика»

Направление подготовки
13.06.01 Электро- и теплотехника

Профиль подготовки
Промышленная теплоэнергетика

Программа аспирантуры

Форма обучения
Очная

Москва 2020

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Промышленная теплоэнергетика» следует отнести 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.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Промышленная теплоэнергетика» следует отнести:

– 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.

2. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Промышленная теплоэнергетика» относится к числу учебных дисциплин Блока 1 вариативной части основной образовательной программы аспирантуры (Б1.В.ОД.2).

«Промышленная теплоэнергетика» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

В базовой части (Б1.Б):

– Электро- и теплоэнергетические системы и комплексы;

В вариативной части (Б1.В):

– Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках.

В блоке дисциплин по выбору (Б1.В.ДВ):

– Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках;

– Энергобалансы теплоэнергетических систем промышленных предприятий;

– Моделирование процессов и аппаратов промышленной теплоэнергетики.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины (модуля) у обучающихся формируются следующие компетенции и должны быть достигнуты следующие результаты обучения как этап формирования соответствующих компетенций:

Код компетенции	**В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать**	**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине**
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	**знать:** • основные методы оценки современных научных достижений **уметь:** • генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях **владеть:** • методами оценки современных научных достижений
ПК-1	готовность использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники	**знать:** • методы использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники **уметь:** • использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники **владеть:** • методами использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Промышленная теплоэнергетика» составляет **3** зачетных единицы, т.е. **108** академических часа (из них 20 часов – лекции, 12 часов – семинарские занятия, 76 час – самостоятельная работа аспирантов).

Структура и содержание дисциплины «Промышленная теплоэнергетика» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины

Пятый семестр

Тема 1. Введение. Общие вопросы

Предмет, задачи и содержание дисциплины. Роль промышленных теплоэнергетических установок в экономике РФ. Классификация основных типов теплоэнергетических установок. Тепловое потребление. Основные термины и определения.

Тема 2. Фундаментальные основы промышленной теплоэнергетики

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. Конвективный тепло- и массоперенос. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Законы Ньютона, Фурье и Фика. Основы теории пограничного слоя.

Особенности расчета тепло- и массообмена при ламинарном и турбулентном течении жидкости. Внутренние задачи тепло- и массопернеоса. Тепло- и массообмен при фазовых превращениях. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Кипение внутри труб. Конденсация пленочная и капельная. Тепло- и массообмен в процессах сублимации: с открытой поверхности, из пористой металлокерамики. Диффузия жидкости в газовые среды и перенос массы в капилярно-пористых телах. Дифференциальные уравнения диффузиии. Сорбционные процессы. Уравнения сорбции. 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.

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

Тема 3. 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 установки. 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 низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.

Понятие инженерного эксперимента и его классификация. Методы теории подобия и теории размерностей в инженерном эксперименте. Критерии подобия. Безразмерные симплексы и комплексы. Планирование эксперимента для определения необходимых экспериментальных данных для полученных расчетных зависимостей. Виды ошибок. Источники и виды ошибок. Нормальная кривая распределения ошибок (распределение Гаусса). Показатели точности измерительной системы. Среднеквадратичное отклонение. Вероятная ошибка. Общее уравнение показателя точности эксперимента. Планирование эксперимента с точки зрения анализа ошибок. Основы выбора измерительных систем.

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.

Тема 4. 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 котельных и их расчет. Методы распределения нагрузки между котлами. Энергетические, экономические и экологические характеристики котельных. 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. Теплотехнические испытания котельных агрегатов. 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. Тепловые потери при транспорте теплоносителя. Нормативные потери теплоты с поверхности изоляции трубопроводов. Методики определения фактических потерь теплоты, 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. Конструкция и особенности работы аккумуляторов газа (газгольдеров). 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.

Тема 5. 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. 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.

Тема 6. 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. Холодопроизводигельность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Теоретическая характеристика нагнетателя. Общая классификация потерь в нагнетателях. Особенности работы насосов в сети. Центробежные и осевые компрессоры. 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 установок. Особенности работы турбодетандеров. Область применения двигателей Стирлинга. Двигатели внутреннего сгорания, принцип работы, их термодинамические циклы, КПД.

Тема 7. Технологические энергоносители предприятий

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

потребности в энергоносителях. Система воздухоснабжения. 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.

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 воздуха. Методы расчета технологических схем станций разделения воздуха.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Промышленная теплоэнергетика» и реализация компетентностного подхода в изложении и восприятии материала предусматривает использование следующих активных и интерактивных форм проведения групповых, индивидуальных, аудиторных занятий в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся:

– подготовка к выполнению практических работ в аудиториях вуза и на мощностях предприятий-партнеров;

– подготовка, представление и обсуждение презентаций на занятиях;

– организация и проведение текущего контроля знаний аспирантов в форме бланкового тестирования;

– использование интерактивных форм текущего контроля в форме аудиторного и внеаудиторного интернет-тестирования;

– проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам современного проектирования и 3D-моделирования теплоэнергетических установок, а также эффективных методов эксплуатации промышленных теплоэнергетических установок.

6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов

В процессе обучения используются следующие оценочные формы самостоятельной работы аспирантов, оценочные средства текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций:

- подготовка и выступление с презентацией и обсуждением на тему «Современные методы проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок» (индивидуально для каждого обучающегося);

- решение ситуационных задач, анализ принятых проектных решений;

- тестирование.

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового и (или) компьютерного тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины.

Образцы тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, приведены в приложении 2.

6.1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

6.1.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. В результате освоения дисциплины (модуля) формируются следующие компетенции

Код компетенции	В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях
ПК-1	готовность использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники

В процессе освоения образовательной программы данные компетенции, в том числе их отдельные компоненты, формируются поэтапно в ходе освоения обучающимися дисциплин (модулей), практик в соответствии с учебным планом и календарным графиком учебного процесса.

6.1.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, формируемых по итогам освоения дисциплины (модуля), описание шкал оценивания

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

УК-1 - способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	
Показатель	**Критерии оценивания**

	Оценка «неудовлетворительно» или отсутствие сформированности компетенции	**Оценка «удовлетворительно» или низкой уровень освоения компетенции**	**Оценка «хорошо» или повышенный уровень освоения компетенции**	**Оценка «отлично» или высокий уровень освоения компетенции**
знать: основные методы оценки современных научных достижений	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные методы оценки современных научных достижений	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные методы оценки современных научных достижений. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: основные методы оценки современных научных достижений, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные методы оценки современных научных достижений, свободно оперирует приобре-тенными знаниями.
уметь: генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методами оценки современных научных достижений	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами оценки современных научных достижений	Обучающийся владеет методами методами оценки современных научных достижений в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные	Обучающийся частично владеет методами оценки современных научных достижений, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе	Обучающийся в полном объеме владеет методами оценки современных научных достижений, свободно применяет полученные навыки в

		затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	умений на новые, нестандартные ситуации.	ситуациях повышенной сложности.
ПК-1 - готовность использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники				
знать: методы использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методами использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся владеет методами использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей,	Обучающийся частично владеет методами использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при	Обучающийся в полном объеме владеет методами использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники, свободно применяет

		Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме экзамена проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине (модулю), при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю) проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине (модулю) методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) выставляется оценка «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».,

К промежуточной аттестации допускаются только аспиранты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Промышленная теплоэнергетика» (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем работ, выступили с докладом на семинарском занятии)

Шкала оценивания	Описание
Отлично	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Аспирант демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Хорошо	Аспирант показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно.
Удовлетворительно	Аспирант показывает знание основного учебного материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Аспирант испытывает затруднения при приведении практических примеров.
Неудовлетворительно	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Аспирант демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду

	показателей, аспирант испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

Фонды оценочных средств представлены в приложениях к рабочей программе.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Комплексные исследования энергоблоков электростанций и энергоустановок: монография / под общей редакцией П. А. Щинникова. — Новосибирск: НГТУ, 2020. — 500 с. — ISBN 978-5-7782-4127-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/152147.

2. Общая энергетика: учебное пособие / В.В. Шапошников, Е.В. Кочарян, Н.Г. Андрейко [и др.]. — Краснодар: КубГТУ, 2020. — 287 с. — ISBN 978-5-8333-0955-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167042

3. Моисеев Б.В. Промышленная теплоэнергетика [Электронный ресурс]: учеб. / Б.В. Моисеев, Ю.Д. Земенков, С.Ю. Торопов. — Электрон. дан. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. — 236 с.

4. Теплоэнергетика и теплотехника: Справочная серия: В 4 кн. Кн. 4. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник [Электронный ресурс]: справ. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2007. — 632 с.

5. Сазанов Б.В. Промышленные теплоэнергетические установки и системы: учеб. пособие для вузов [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Б.В. Сазанов, В.И. Ситас. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2014. — 275 с.

б) дополнительная литература:

1. Бирюков, А.Б. Оценка эффективности энергогенерирующей станции, утилизирующей вторичную и низкопотенциальную теплоту в условиях угольных шахт, методом термодинамического анализа / А.Б. Бирюков, В.В. Варакута, П.А. Гнитиев // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — 2018. — № 2. — С. 12-20. — ISSN 2072-2672. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/307389.

2. Семенов Б.А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 384 с.

3. Теплоэнергетические установки: Сборник нормативных документов [Электронный ресурс]: сб. — Электрон. дан. — Москва: ЭНАС, 2013. — 384 с.

4. Кудинов А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс] / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2011. — 374 с.

5. Акулич П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — Минск: , 2010. — 443 с.

в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:

Программное обеспечение не предусмотрено.

Варианты контрольных заданий по дисциплине представлены на сайтах: http://i-exam.ru.

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

https://e.lanbook.com/journal/2560

https://e.lanbook.com/journal/2416

Электронная библиотека – https://online.mospolytech.ru/course/view.php?d=7621

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» – https://biblioclub.ru

ЭБС «Лань» – https://e.lanbook.com

ЭБС «Znanium.com» – https://new.znanium.com

Образовательная платформа Юрайт – https://urait.ru

Национальная электронная библиотека – https://rusneb.ru

На компьютерах (кафедры, компьютерные классы) – по прямой ссылке http://172.16.3.18:8080/docs/ справочная система «Техэксперт» (АО «Кодекс»)

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Специализированная учебная лаборатория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2406, оснащенная лабораторными установками:

- «Определение коэффициента температуропроводности стали методом регулярного режима»;
- «Определение коэффициента теплопередачи при вынужденном течении жидкости в трубе (труба в трубе)»;
- «Определение коэффициента теплопередачи методом регулярного режима»;
- «Определение коэффициента теплоотдачи при пузырьковом кипении жидкости на цилиндре»;
- «Определение коэффициента теплопроводности твердых тел методом цилиндрического слоя».

Мультимедийная аудитория кафедры «Промышленная теплоэнергетика» Ауд. АВ2415, оснащенная оргтехникой и мультимедиа средствами (проектор, ПК и др.), а также аудитории корпуса УРБАН.ТЕХНОГРАД Инновационно-образовательного комплексе «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

9. Методические рекомендации для преподавателя

Преподавание дисциплины «Промышленная теплоэнергетика» имеет своей целью ознакомить аспирантов с достижениями в области фундаментальных основ теплотехники, проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок,

добиться уяснения ими эффективных методов моделирования, расчета промышленного оборудования и энергоустановок, порядка их применения, привить им практические навыки использования этих знаний.

Преподавание дисциплины осуществляется в соответствии с ФГОС ВО.

Целью методических рекомендаций является повышение эффективности теоретических и практических занятий вследствие более четкой их организации преподавателем, создания целевых установок по каждой теме, систематизации материала по курсу, взаимосвязи тем курса, полного материального и методического обеспечения образовательного процесса.

Средства обеспечения освоения дисциплины

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие средства:

− рекомендуемую основную и дополнительную литературу;

− методические указания и пособия;

− контрольные задания для закрепления теоретического материала;

− электронные версии федеральных законов, учебников и методических указаний для выполнения практических работ и самостоятельной работы аспирантов.

Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется изложение лекционного материала с элементами обсуждения.

В качестве методики проведения практических занятий можно предложить:

1. Семинар – обсуждение существующих точек зрения на проблему и пути ее решения.

2. Тематические доклады, позволяющие вырабатывать навыки публичных выступлений.

Для максимального усвоения дисциплины рекомендуется проведение письменного опроса (тестирование) аспирантов по материалам дисциплины. Подборка вопросов для тестирования осуществляется на основе изученного теоретического материала.

Для освоения навыков поисковой и исследовательской деятельности аспирант пишет контрольную работу или реферат по выбранной (свободной) теме.

Лекции проводятся в основном посредством метода устного изложения с элементами проблемного подхода и беседы.

Семинарские занятия могут иметь разные формы (работа с исследовательской литературой, анализ данных нормативной и справочной литературы, слушание докладов и др.), выбираемые преподавателем в зависимости от интересов аспирантов и конкретной темы.

Самостоятельная работа аспирантов включает в себя элементы реферирования и конспектирования научно-исследовательской литературы, подготовки и написания научных текстов, отработку навыков устных публичных выступлений.

Проверка качества усвоения знаний в течение семестра осуществляется в

устной форме, путем обсуждения проблем, выводимых на семинарах и письменной, путем выполнения аспирантами разных по форме и содержанию работ и заданий, связанных с практическим освоением содержания дисциплины. Аспиранты демонстрируют в ходе проверки умение анализировать значимость и выявлять специфику различных проблем и тем в рамках изучаемой дисциплины и ее компонентов, знание научной и учебно-методической литературы. Текущая проверка знаний и умений аспирантов также осуществляется через проведение ряда промежуточных тестирований. Итоговая аттестация по дисциплине предполагает экзамен, на которых проверяется усвоение материала, усвоение базовых понятий дисциплины.

Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника» и профилю «Промышленная теплоэнергетика».

Автор

Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
д.т.н., профессор С.Д. Корнеев

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика».

Протокол от 31.08.2020 г. № 1.

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»

к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Руководитель ООП С.Д. Корнеев

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «Промышленная теплоэнергетика» по направлению подготовки 13.06.01 «Электро- и теплотехника»

	Раздел	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость в часах					Виды самостоятельной работы студентов					Формы аттестации	
				Л	П/С	Лаб	СРС	КСР	К.Р.	К.П.	РГР	Реферат	К/р	Э	З
	Пятый семестр	5													
Тема 1-2	**Предмет, задачи и содержание дисциплины. Роль промышленных теплоэнергетических установок в экономике РФ. Классификация основных типов теплоэнергетических установок. Тепловое потребление. Основные термины и определения.** **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. Конвективный тепло- и массоперенос. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии. Законы Ньютона, Фурье и Фика. Основы теории пограничного слоя.** **Особенности расчета тепло- и массообмена при ламинарном и турбулентном течении жидкости. Внутренние задачи тепло- и массопернеоса. Тепло- и массообмен при фазовых превращениях. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме. Кипение внутри труб. Конденсация пленочная и капельная. Тепло- и массообмен в процессах сублимации: с открытой поверхности, из пористой металлокерамики. Диффузия жидкости в газовые среды и перенос массы в капилярно-пористых телах. Дифференциальные уравнения диффузиии. Сорбционные процессы. Уравнения сорбции. 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.**	**5**	**1**	**4**			10	+								

	Процессы смесеобразования. Контактный теплообмен. Радиационный теплообмен. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана—Больцмана. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах. Спектр излучения твердых тел. Поглощательная и излучательная способности тела. Тепловое излучение в процессах интенсивного теплообмена, сушки и других технологических процессах.														
	Методы расчета теплоэнергетических установок *Расчет параметров теплоносителей для утилизационных установок* *Макетное проектирование энергообъекта на примере тепломассообменной промышленной установки*	5	1		4		9	+			+				
Тема 3	**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 установки. 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 низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.** **Понятие инженерного эксперимента и его классификация. Методы теории подобия и теории размерностей в инженерном эксперименте. Критерии подобия. Безразмерные симплексы и комплексы. Планирование эксперимента для определения необходимых экспериментальных данных для полученных расчетных зависимостей. Виды ошибок. Источники и виды ошибок. Нормальная кривая распределения ошибок (распределение Гаусса). Показатели точности измерительной системы. Среднеквадратичное отклонение. Вероятная ошибка. Общее уравнение показателя точности эксперимента. Планирование эксперимента с точки зрения анализа ошибок. Основы выбора измерительных систем.** **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.**	**5**	**2**	**6**			10	+							
	Применение методов интенсификации теплообмена в промышленных энергетических установках *Проектирование и оптимизация многоступенчатых выпарных установок*	5	2		2		9	+			+				
Тема	**Методы определения потребности промышленных потребителей в паре и горячей воде.**	**5**	**3**	**4**			10	+							

4-5	**Тепловые сети. Методы определения расчетного расхода воды и пара. Тепловой и прочностной расчеты элементов тепловых сетей. Промышленные котельные. Тепловые схемы котельных и их расчет. Методы распределения нагрузки между котлами. Энергетические, экономические и экологические характеристики котельных. 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. Теплотехнические испытания котельных агрегатов. 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. Тепловые потери при транспорте теплоносителя. Нормативные потери теплоты с поверхности изоляции трубопроводов. Методики определения фактических потерь теплоты, 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. Конструкция и особенности работы аккумуляторов газа (газгольдеров). 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.** **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. 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.**														
	Проектирование и расчет контактных теплообменных аппаратов. Моделирование процессов	5	3		4		9	+			+				

	переноса *Проектирование и расчет параметров сушильных установок, определение параметров энергоэффективности* *Задачи оптимизации параметров ректификационных установок, моделирование гидродинамики процессов*														
Тема 6-7	**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. Холодопроизводигельность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера. Теоретическая характеристика нагнетателя. Общая классификация потерь в нагнетателях. Особенности работы насосов в сети. Центробежные и осевые компрессоры. 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 установок. Особенности работы турбодетандеров. Область применения двигателей Стирлинга. Двигатели внутреннего сгорания, принцип работы, их термодинамические циклы, КПД.** **Системы производства и распределения энергоносителей на промышленных предприятиях. Характеристика энергоносителей. Методика определения потребности в энергоносителях. Система воздухоснабжения. 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.** **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 воздуха. Методы расчета технологических схем станций разделения воздуха.**	**5**	**4**	**6**			10	+							
	Проектирование и расчет химических реакторов. Моделирование технологических процессов *Моделирование процессов в энергоустановках*	5	4		2		9	+			+				
	Форма аттестации	5												Э	
	Всего часов по дисциплине во втором семестре			20	12	0	76	+			+				

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки: 13.06.01 Электро- и теплотехника
ОП (профиль): «Промышленная теплоэнергетика»
Форма обучения: очная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Промышленная теплоэнергетика»

Москва
2020

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Промышленная теплоэнергетика					
ФГОС ВО **13.06.01 Электро- и теплотехника**					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
УК-1	способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	**знать:** основные методы оценки современных научных достижений **уметь:** генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях **владеть:** методами оценки современных научных достижений	Лекция, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: способен к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях. Повышенный уровень: способен к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях в нестандартных ситуациях с их последующим
ПК-1	готовность использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники	**знать:** методы использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники **уметь:** использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники **владеть:** методами использования современных научных достижений в области теплоэнергетики и теплотехники	Лекция, семинарские занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: способен использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники в стандартных ситуациях. Повышенный уровень: способен использовать современные научные достижения в области теплоэнергетики и теплотехники в нестандартных ситуациях с их последующим анализом

Приложение 3

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы в рамках учебной дисциплины

Перечень практических работ по дисциплине

1. Методы расчета теплоэнергетических установок;
2. Расчет параметров теплоносителей для утилизационных установок;
3. Макетное проектирование энергообъекта на примере тепломассообменной промышленной установки;
4. Применение методов интенсификации теплообмена в промышленных энергетических установках;
5. Проектирование и оптимизация многоступенчатых выпарных установок;
6. Проектирование и расчет контактных теплообменных аппаратов. Моделирование процессов переноса;
7. Проектирование и расчет параметров сушильных установок, определение параметров энергоэффективности;
8. Задачи оптимизации параметров ректификационных установок, моделирование гидродинамики процессов;
9. Проектирование и расчет химических реакторов. Моделирование технологических процессов;
10. Моделирование процессов в энергоустановках;

Приложение 4

Вопросы для самоконтроля

1. Изобразите различные изопроцессы 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 Лаваля? Изобразите, как изменяются параметры потока в различных сечениях при движении в суживающемся сопле и сопле Лаваля?

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 энергсбережения и повышения энергоэффективности объектов промышленной теплоэнергетики и теплотехнологии.

36.Топливно-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 воз-духа промышленных предприятий и гражданских объектов. Методы и технические средства энергосбережения в системах вентиляции и кондиционирования воздуха.

Приложение 5

Вопросы к экзамену

1. Первый закон термодинамики. Теплоемкость. Изопроцессы.
2. Применение первого закона термодинамики к расчетам изопроцессов.
3. Второй закон термодинамики. Энтропия.
4. Термодинамические потенциалы и их применение в термодинамических расчетах.
5. Водяной пар. *p-v, T-s, h-s* диаграммы и таблицы. Их применение в термодинамических расчетах.
6. Влажный воздух. *H-d* диаграммы.
7. Циклы Карно, Ренкина. Циклы двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин.
8. Термодинамика потока. Скорость звука. Сопло Лаваля. Истечение водяного пара. Дросселирование.
9. Конвективный тепло- и массоперенос.
10. Законы сохранения массы, потока импульса, энергии.
11. Законы Ньютона, Фурье и Фика.
12. Основы теории пограничного слоя.
13. Особенности расчета тепло- и массообмена при ламинарном и турбулентном течении жидкости.
14. Внутренние задачи тепло- и массопернеоса.

15. Тепло- и массообмен при фазовых превращениях.

16. Механизм теплообмена при пузырьковом кипении жидкости в неограниченном объеме.

17. Кипение внутри труб.

18. Конденсация пленочная и капельная.

19. Тепло- и массообмен в процессах сублимации: с открытой поверхности, из пористой металлокерамики.

20. Диффузия жидкости в газовые среды и перенос массы в капилярно-пористых телах.

21. Дифференциальные уравнения диффузиии.

22. Сорбционные процессы. Уравнения сорбции.

23. Конденсация пара внутри гладких, шероховатых и профилированных труб и каналов.

24. Конденсация пара на горизонтальных трубах и пучках гладких, шероховатых и профилированных труб.

25. Теплоотдача при капельной конденсации пара.

26. Процессы смесеобразования.

27. Контактный теплообмен.

28. Радиационный теплообмен. Законы Планка, Ламберта, Кирхгофа, Стефана—Больцмана.

29. Теплообмен излучением в прозрачных и поглощающих средах.

30. Спектр излучения твердых тел.

31. Поглощательная и излучательная способности тела.

32. Тепловое излучение в процессах интенсивного теплообмена, сушки и других технологических процессах.

33. Рекуперативные теплообменники непрерывного и периодического действия, регенеративные теплообменники с неподвижной и подвижной насадками, газожидкостные и жидкостно-жидкостные смесительные теплообменники.

34. Тепловой, гидравлический, прочностной расчеты рекуперативных теплообменников.

35. Деаэраторы, основы расчета.

36. Испарительные, опреснительные, выпарные установки.

37. Перегонные и ректификационные установки.

38. Физико-химические и термодинамические основы процессов перегонки и ректификации.

39. Принцип действия и основы расчета абсорбционных и адсорбционных аппаратов.

40. Сушильные установки. Понятие и процессы сушки.

41. Формы связи влаги с материалом. Основы кинетики и динамики сушки.

42. Тепловой баланс конвективной сушильной установки.

43. Теплообменники-утилизаторы для использования теплоты низкопотенциальных вторичных энергоресурсов.

44. Понятие инженерного эксперимента и его классификация.

45. Методы теории подобия и теории размерностей в инженерном

эксперименте. Критерии подобия.

46. Безразмерные симплексы и комплексы.

47. Планирование эксперимента для определения необходимых экспериментальных данных для полученных расчетных зависимостей.

48. Виды ошибок. Источники и виды ошибок. Нормальная кривая распределения ошибок (распределение Гаусса).

49. Показатели точности измерительной системы.

50. Среднеквадратичное отклонение.

51. Вероятная ошибка. Общее уравнение показателя точности эксперимента.

52. Планирование эксперимента с точки зрения анализа ошибок. Основы выбора измерительных систем.

53. Принципы составления теплового баланса.

54. Структура теплового баланса предприятий, его виды.

55. Тепловой баланс потребителей теплоты. Паровой и конденсатный балансы предприятия.

56. Тепловой баланс предприятия с собственной котельной.

57. Расходы теплоты на технологические нужды, отопление, вентиляцию и систему горячего водоснабжения.

58. Удельные нормы теплоты на выработку отдельных видов продукции, влияние основных факторов.

59. Основные понятия эксергетического анализа. Составление эксергетического баланса.

60. Методы определения потребности промышленных потребителей в паре и горячей воде.

61. Тепловые сети. Методы определения расчетного расхода воды и пара. Тепловой и прочностной расчеты элементов тепловых сетей.

62. Промышленные котельные. Тепловые схемы котельных и их расчет.

63. Методы распределения нагрузки между котлами.

64. Энергетические, экономические и экологические характеристики котельных.

65. Утилизационные котельные, теплонасосные установки и ТЭЦ, использующие вторичные энергетические ресурсы предприятий для генерации тепла и электроэнергии.

66. Расчет тепловых схем, выбор режима работы утилизационных установок параллельно с заводскими и районными котельными, ТЭЦ и конденсационными электрическими станциями.

67. Теплотехнические испытания котельных агрегатов.

68. Упрощенная методика теплотехнического расчета котельных агрегатов.

69. Расчет удельного расхода условного топлива.

70. Определение расхода теплоты и электроэнергии на собственные нужды котельной.

71. Использование разнородного топлива (природный газ, мазут, уголь, дрова) в котельных.

72. Работа основного и вспомогательного оборудования котельной и системы теплоснабжения в целом.

73. Тепловые потери при транспорте теплоносителя. Нормативные потери теплоты с поверхности изоляции трубопроводов. Методики определения фактических потерь теплоты, сравнение с нормативными потерями. Факторы, влияющие на тепловые потери при транспорте теплоносителя.

74. Особенности использования горючих ВЭР.

75. Методы сведения балансов горючих ВЭР и снижения их потерь.

76. Конструкция и особенности работы аккумуляторов газа (газгольдеров).

78. Пиковые паровые котлы. Использование избытков пара утилизационных установок, в том числе для выработки электроэнергии.

79. Низкопотенциальные ВЭР, определение и классификация.

80. Повышение давления пара в турбокомпрессорах.

81. Сезонное использование физической теплоты газов с низкой температурой.

82. Схемы использования теплоты охлаждения конструктивных элементов технологических агрегатов.

83. Использование низкопотенциальных ВЭР в вентиляционных схемах промышленных предприятий.

84. Схемы применения тепловых насосов.

85. Источники теплоты промышленных котельных установок. Материальные и тепловые балансы котельных установок при работе на газовом, жидком и твердом топливах.

86. Расчет топочных устройств для сжигания газового, жидкого и твердого топлив, производственных отходов.

87. Пароперегреватели котлов. Методы регулирования температуры пара.

88. Экономайзеры и их включение в питательные магистрали.

89. Конструктивные схемы воздушных подогревателей.

90. Конструкции котлов с естественной циркуляцией, прямоточных и с многократной принудительной циркуляцией.

91. Водогрейные и пароводогрейные котлы.

92. Котлы высоко- и низконапорные, прямого действия и с неводяными теплоносителями.

93. Котлы, использующие теплоту технологического продукта.

94. Очистка продуктов сгорания от твердых и газообразных примесей.

95. Место нагнетателей и тепловых двигателей в системах теплоэнергоснабжения промышленных предприятий. Классификация и область применения нагнетателей объемного действия и поршневых детандеров.

96. Схемы поршневых компрессоров.

97. Принцип работы поршневого детандера. Холодопроизводигельность, КПД и отводимая мощность поршневого детандера.

98. Центробежные и осевые компрессоры.

99. Типы паровых турбин. Работа и мощность турбинной ступени. Типы потерь в проточной части турбины. Анализ потерь в характерных сечениях турбины.

100. Схемы газотурбинных установок. Особенности работы высокотемпературных ступеней газовой турбины. Работа газовой турбины в составе энергетических установок.

Приложение 6

Примеры задач для семинарских занятий

Задача 1. Расход дымовых газов через воздухоподогреватель составляет 8000 м^3/ч, температура на входе 300 °С и на выходе 150 °С. Расход воздуха 6000 м^3/ч, начальная и конечная температуры 20 °С и 250 °С. Предложить компоновку трубного пучка воздухоподогревателя и определить длину, шаги и количество труб при скорости дымовых газов 5÷15 м/с и воздуха в межтрубном пространстве 5÷10 м/с, диаметре труб 58/54 мм и коэффициенте теплопередачи 30 Вт/(м^2·К). Определить экономию топлива при оснащении парового котла воздухоподогревателем. Теплотворная способность топлива (природный газ) 35000 кДж/м^3. Расход воздуха на горение 10 м^3/м^3. Выход дымовых газов 11,5 м^3/м^3. Температура продуктов сгорания перед котельным пучком 1400°С. Среднюю теплоемкость дымовых газов в диапазоне температур 150÷300°С принять равной 1,35 кДж/(м^3·К), в диапазоне 0÷1400°С – 1,6 кДж/(м^3·К), воздуха – 1,3 кДж/(м^3·К).

Задача 2. Рассчитать площадь поверхности теплообмена воздухоподогревателя из труб со спиральным наружным оребрением. Материал труб – алюминий (л = 100 Вт/(м·К)); диаметр $d_н/d_в$ = 27/25 мм, диаметр оребрения D = 75 мм, шаг ребер 3 мм, средняя толщина ребра 0,3 мм. Подогреватель выполнен в виде шахматного пучка труб с продольным (в направлении потока воздуха) шагом S_1 = 1, 2 D поперечным S_2 = 1 D. Расход воздуха 10 кг/с, начальная температура 20 °С, конечная 70 °С. Греющий теплоноситель – конденсат водяного пара из системы отопления. Начальная и конечная температура конденсата 110 и 80 °С. Коэффициенты теплоотдачи конденсата и воздуха(для воздуха коэффициент теплоотдачи отнесен к полной поверхности с учетом оребрения) принять равными 5000 и 50 Вт/(м^2·К).

Задача 3. В топке котельного агрегата паропроизводительностью D = 5,6 кг/с сжигается уголь с низшей теплотой сгорания $Q^р_н$ = 13997 кДж/кг. Определить экономию топлива в процентах, получаемую за счет предварительного подогрева конденсата в регенеративных подогревателях, если известны температура топлива на входе в топку $t_Т$=20°С, удельная теплоемкость топлива $c_т$=2,1 кДж/(кг·К) , КПД котлоагрегата $\eta^{бр}_{ка}$ = 91,5 %, давление перегретого пара $p_{пп}$ =4,0 МПа, температура перегретого пара $t_{пп}$ = 430 °С, температура конденсата $t_к$ = 32 °С, температура питательной воды после регенеративных подогревателей $t_{пв}$ = 130 °С и величина непрерывной продувки р=3%.

Задача 4. Определить количество теплоты, отдаваемое уходящими газами котельной завода водяному экономайзеру (утилизатору), для получения горячей воды, если температура газов на выходе из экономайзера $t^г_{вых}$ = 200 °С, температура газов на входе в экономайзер $t^г_{вх}$ = 320 °С, коэффициент избытка воздуха за

экономайзером $\alpha_{эк}$ = 1,4, средняя объемная теплоемкость газов $C^{l}_{рг}$ = 1,415 кДж/(м^{3}К) и расчетный расход топлива одного котла $B_р$= 0,25 кг/с. В котельной установлены два одинаковых котла (п=2), работающих на донецком каменном угле марки D состава: $C^р$=49,3%; $H^р$=3,6%; S^P=3%; $N^р$=1%; $O^р$=8,3%; A^P=21,8%;W^P=13%.

Задача 5. Определить расход греющего пара и количество труб в греющей камере аппарата для выпаривания 36 т/ч раствора, поступившего на регенерацию из травильного отделения цеха. Начальная концентрация раствора 5 %, конечная 15 %. Камера кожухотрубчатого типа. Диаметр греющих труб 38×2 мм. Длина труб 4 м. Температура раствора перед камерой 100 °С, его температура кипения 105 °С. Температура насыщения вторичного пара 100 °С. Параметры греющего пара 0,6 МПа и 165 °С. Плотность раствора 1,2 т/м^3, теплоемкость 4 кДж/(кг·К), коэффициенты теплоотдачи пара и раствора принять равными 5000 и 800 Вт/(м^2·К). Толщина слоя накипи 1 мм, ее теплопроводность 1 Вт/(м·К). Материал труб – сталь с теплопроводностью 40 Вт/(м·К). Оценить возможную экономию греющего пара при выпаривании того же раствора в прямоточной трехкорпусной выпарной установке.

Задача 6. Рассчитать теплообменник для нагрева воздуха водой из водогрейного котла-утилизатора, установленного за циклонной печью. Начальные и конечные температуры воздуха – 10 °С и + 15 °С, воды 130 °С и 70 °С. Поверхность теплообмена выполнена в виде шахматного пучка оребренных снаружи труб. Диаметр труб $d_н/d_в$ = 20/18 мм, поперечно-спиральных ребер D = 40 мм. Толщина ребра 0,3 мм. Материал труб и ребер – сталь. Теплопроводность стали $\lambda_{ст}$ = 40 Вт/(м·К). Шаги труб в пучке $S_1 = S_2$ = 1,5 D. Живое сечение каналов для прохода воздуха в межтрубном пространстве принять равным 2 м^2. Скорость воды в трубах 1 м/с.

Задача 7. Рассчитать размеры греющей поверхности и расход насыщенного водяного пара, образующегося при вскипании конденсата и используемого для нагрева 7,2 т воды в аппарате периодического действия с рубашкой. Начальная температура воды 20 °С, конечная 80 °С. Давление пара 0,2 МПа. Соотношение внутреннего диаметра корпуса аппарата и его рабочей высоты 1:2. Коэффициент теплоотдачи пара принять равным 5000 Вт/(м^2·К), воды – 800 Вт/(м^2·К). Выбрать формулы для расчета коэффициентов теплоотдачи при заданных условиях и проверить ранее принятые их значения. Рассчитать водоподогреватель, если паровую рубашку заменить на погружной змеевик.