Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Наливайко Антон Юрьевич
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 01.11.2023 12:37:26
Уникальный программный ключ:
1a3df673e07fcd54440aceed8bb7e29f4817bf0a

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета урбанистики
и городского хозяйства
_____ /Л.А. Марюшин/
« 30 » августа 2021г.

Программа-минимум кандидатского экзамена

Направление подготовки
13.06.01 Электро- и теплотехника

Профиль подготовки
Промышленная теплоэнергетика

Программа аспирантуры

Форма обучения
Очная

Москва 2021

Введение

В основу настоящей программы положены основные разделы промышленной теплоэнергетика, касающиеся основных проблем данной области: Классификация основных типов теплоэнергетических установок, фундаментальные основы промышленной теплоэнергетики, тепломассообменное оборудование предприятий, источники и системы теплоснабжения предприятий, котельные установки и парогенераторы, тепловые двигатели и нагнетатели, технологические энергоносители предприятий.

Экзамен по специальной дисциплине состоит из двух частей. Первая часть – это оценка знаний обучающегося в соответствии с паспортом специальности «Промышленная теплоэнергетика» (перечень тем для изучения приведен ниже). Вторая часть – вариативная, в которой перечень тем и вопросов для изучения формируется выпускающей кафедрой и которая отражает специфику подготовки аспирантов в соответствии со сложившимися научными школами и направлениями.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

Основная литература

1. 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.
2. 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.
3. Щинников П.А. Эксергетические исследования и оптимизация режимов работы ТЭЦ: монография / П.А. Щинников, О.В. Боруш, С.В. Зыков. — Новосибирск: НГТУ, 2019. — 203 с. — ISBN 978-5-7782-3801-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/152168.

4. Моисеев Б.В. Промышленная теплоэнергетика [Электронный ресурс]: учеб. / Б.В. Моисеев, Ю.Д. Земенков, С.Ю. Торопов. — Электрон. дан. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. — 236 с.
5. 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.
6. 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.
7. Семенов Б.А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 384 с.
8. Теплоэнергетические установки: Сборник нормативных документов [Электронный ресурс]: сб. — Электрон. дан. — Москва: ЭНАС, 2013. — 384 с.
9. Кудинов А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс] / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2011. — 374 с.
10. Семенов Б.А. Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2013. — 384 с.

Аттестация по дисциплине

Экзаменационная оценка складывается из оценки знаний и степени усвоения курса «Промышленная теплоэнергетика», а так же в результате дискуссии с членами экзаменационной комиссии. Критерием оценки является степень усвоения содержания дисциплины и способность к практическому использованию полученных знаний, умений и навыков.

Процедура экзаменационного испытания предусматривает ответ аспиранта по вопросам экзаменационного билета, который заслушивает комиссия. После сообщения аспиранта и ответов на заданные вопросы, комиссия обсуждает качество ответа и принимает решение об оценке, вносимой в протокол (Форма протокола устанавливается локальными нормативными документами).

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

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

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 30.08.2021 г. № 1.

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент Л.А. Марюшин