Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Наливайко Антон Юрьевич
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 01.11.2023 17:37:26
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.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках»

Направление подготовки
13.06.01 Электро- и теплотехника

Профиль подготовки
Промышленная теплоэнергетика

Программа аспирантуры

Форма обучения
Очная

Москва 2021

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» анализ и выбор источников энергии теплотехнологических процессов, освоение рациональных технологий использования энергоносителей в теплотехнологических реакторах с различными теплотехническими принципами, методов расчета технических средств для сжигания топлива.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» следует отнести:

– познакомить обучающихся с основными источниками энергии теплотехнологических процессов;

– дать информацию об основных видах органического топлива, его характеристиках и физико-химическим основам процесса горения;

– дать информацию о путях совершенствования процессов генерации теплоты и методах подавления образования вредных выбросов при сжигании различных видов топлива.

2. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» относится к числу учебных дисциплин Блока 1 вариативной части основной образовательной программы аспирантуры, дисциплины по выбору (Б1.1.ДВ1).

«Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами ООП:

В базовой части (Б1.1.1):

– Электро- и теплоэнергетические системы и комплексы;

В вариативной части (Б1.1.2):

– Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках.

В блоке дисциплин по выбору (Б1.1.3):

– 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
ОПК-2	владением культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	**знать:** • основные методы научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий **уметь:** • проводить научные исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий **владеть:** • культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий
ПК-3	способность использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	**знать:** • методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **уметь:** • использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **владеть:** • методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» составляет **3** зачетные единицы, т.е. **108** академических часа (из них 16 часов – лекции, 16 часов – семинарские занятия, 76 час – самостоятельная работа аспирантов). Форма контроля - зачет.

Структура и содержание дисциплины «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины

Третий семестр

Тема 1. Современное состояние и проблемы энергетического сектора РФ

Мировая перспективная энергетическая ситуация. Прогноз основных параметров энергетических рынков. Основные направления экологической

политики в энергетическом секторе РФ. Энергетический сектор и выбросы парниковых газов. Прогнозы углеводородной энергетики до 2050 г.

Тема 2. Влияние выбора источника энергии и реализации процесса генерации теплоты на эффективность работы энергоустановок

Сущность процесса генерации теплоты. Повышение эффективности энергоиспользования путем рациональной организации процессов генерации теплоты и выбора источника энергии в энергоустановках.

Тема 3. Углеводородное топливо - основной источник энергии в теплотеплотехнологии

Общая классификация углеводородного топлива. Современные технические средства сжигания газообразного топлива. Современные технические средства сжигания жидкого топлива. Особенности использования твёрдого топлива как источника энергии. Основные процессы газификации твёрдого топлива. Получение синтез газа для ряда промышленных производств.

Тема 4. Выбор рациональных технологий сжигания в теплотехнологических реакторах с различными теплотехническими принципами

Особенности сжигания топлива в энергоустановках. Выбор рациональных технологий генерации теплоты в энергоустановках с излучающем факелом, с плотном слоем, с псевдоожиженном слоем, со взвешенном слоем.

Тема 5. Современные методы подавления и улавливания вредных выбросов в окружающую среду

Основные методы подавления вредных выбросов при сжигании углеводородов. Влияние режимных факторов на концентрацию вредных веществ. Особенности проведения анализа продуктов сгорания при использовании современных компьютерных газоанализаторов.

Тема 6. Использование перспективных и новых источников энергии энергоустановках

Особенности использование топливно-кислородного источника энергии. Экономические и экологические предпосылки использования топливно-кислородного источника энергии. Перспективы использования газоэлектрических горелок и плазмотронов. Современные эффективные технологии получения электрической и тепловой энергии из биомассы.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» 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 источники энергии 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
ОПК-2	владением культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий

ПК-3	способностью использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ 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).

ОПК-2 - владением культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий				
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 научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные методы научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные методы научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий. 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 научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные методы научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий, свободно оперирует приобретенными знаниями.

уметь: проводить научные исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет проводить научные исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: проводить научные исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий. 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: проводить научные исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: проводить научные исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Обучающийся владеет методами культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей. Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ПК-3 - способностью использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники				
знать: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники. Допускаются	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники, свободно оперирует

		значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	теплотехники, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	приобретенными знаниями.
уметь: использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ 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 современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ 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 современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Обучающийся владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает	Обучающийся частично владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях,	Обучающийся в полном объеме владеет методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

		значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачёта 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 «зачтено» или «не зачтено».

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» (работа на семинаре, участие в дискуссиях и защитили реферат)

Шкала оценивания	**Описание**
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент 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.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент 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. 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. Крылов, В.И. Органическое топливо и способы его сжигания в топочных устройствах котельных агрегатов: учебное пособие / В.И. Крылов, Д.В. Крылов. — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2017. — 57 с. — ISBN 978-5-7641-1061-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/111737.

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. Теплообменные аппараты ТЭС: справочник: в 2 кн. Книга 1 [Электронный ресурс]: справ. / Даминов А.З. [и др.]. — Электрон. дан. — Москва: Издательский дом МЭИ, 2016. — 490 с.

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. Дзюзер В.Я. Теплотехника и тепловая работа печей: Учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2017. — 384 с.

5. Макаров А.Н. Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2014. — 384 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 «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» имеет своей целью ознакомить аспирантов с достижениями в области генерации теплоты в энергоустановках, 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
Профессор кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
д.т.н., профессор С.Д. Корнеев

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

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

Руководитель ООП С.Д. Корнеев

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках» 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
	Третий семестр	3													
Тема 1-2	**Мировая перспективная энергетическая ситуация. Прогноз основных параметров энергетических рынков. Основные направления экологической политики в энергетическом секторе РФ. Энергетический сектор и выбросы парниковых газов. Прогнозы углеводородной энергетики до 2050 г. Сущность процесса генерации теплоты. Повышение эффективности энергоиспользования путем рациональной организации процессов генерации теплоты и выбора источника энергии в энергоустановках.**	**3**	**1**	**4**			12	+							
	Расчет параметров эффективности использования источников энергии в теплоэнергетических установках	3	1		4		7	+			+				
Тема 3	**Общая классификация углеводородного топлива. Современные технические средства сжигания газообразного топлива. Современные технические средства сжигания жидкого топлива. Особенности использования твёрдого топлива как источника энергии. Основные процессы газификации твёрдого топлива. Получение синтез газа для ряда промышленных производств.**	**3**	**2**	**4**			12	+							
	Расчет устройств для сжигания твердого топлива. Расчет устройств для сжигания газообразного и жидкого топлива	3	2		4		7	+			+				
Тема 4-5	**Особенности сжигания топлива в энергоустановках. Выбор рациональных технологий генерации теплоты в энергоустановках с излучающем факелом, с плотном слоем, с псевдоожиженном слоем, со взвешенном слоем.** **Основные методы подавления вредных выбросов при сжигании углеводородов. Влияние режимных факторов на концентрацию вредных веществ. Особенности проведения анализа продуктов**	**3**	**3**	**4**			12	+							

	сгорания при использовании современных компьютерных 12газоанализаторов.														
	Выбор рациональных технологий генерации теплоты в энергоустановках с излучающем факелом, с плотном слоем, с псевдоожиженном слоем, со взвешенном слоем.	3	3		4		7	+			+				
Тема 6	**Особенности использование топливно-кислородного источника энергии. Экономические и экологические предпосылки использования топливно-кислородного источника энергии. Перспективы использования газоэлектрических горелок и плазмотронов. Современные эффективные технологии получения электрической и тепловой энергии из биомассы.**	**3**	**4**	**4**			12	+							
	Расчет мероприятий подавления вредных выбросов при сжигании углеводородов. Расчет энергоустановок, использующих топливно-кислородного источника энергии.	3	4		4		7	+			+				
	Форма аттестации	3													З
	Всего часов по дисциплине в пятом семестре			16	16	0	76	+			+				

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ 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

«Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках»

Москва
2021

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках					
ФГОС ВО **13.06.01 Электро- и теплотехника**					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
ОПК-2	владением культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	**знать:** основные методы научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий **уметь:** проводить научные исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий **владеть:** культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий	Лекция, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: владеет культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий. Повышенный уровень: владеет культурой научного исследования в том числе, с использованием новейших информационно-коммуникационных технологий в нестандартных ситуациях с их последующим анализом

ПК-3	способностью использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	**знать:** методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **уметь:** использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники **владеть:** методами научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники	Лекция, семинарские занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: способен использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ в области теплоэнергетики и теплотехники в стандартных ситуациях. Повышенный уровень: способен использовать современную аппаратуру и технику, а также методы научных исследований при выполнении научных работ 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. Расчет параметров эффективности использования источников энергии в теплоэнергетических установках.
2. Расчет устройств для сжигания твердого топлива.
3. Расчет устройств для сжигания газообразного и жидкого топлива.
4. Выбор рациональных технологий генерации теплоты в энергоустановках с излучающем факелом, с плотном слоем, с псевдоожиженном слоем, со взвешенном слоем.
5. Расчет мероприятий подавления вредных выбросов при сжигании углеводородов.
6. Расчет энергоустановок, использующих топливно-кислородного источника энергии.

Приложение 4

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы основные направления экологической политики в энергетическом секторе РФ?
2. В чем заключена сущность процесса генерации теплоты?
3. Каким образом достигается повышения эффективности энергоиспользования за счет выбора источника энергии в энергоустановках?
4. Какие современные технические средства используются при сжигании газообразного топлива?
5. Каковы особенности твердого топлива как источника энергии?
6. Каким образом производится синтез газ?
7. В чем заключаются особенности использования синтез газа?
8. Каковы основные методы подавления образования вредных выбросов при сжигании углеводородов?
9. В чем особенности использования топливно-кислородного источника энергии?
10. Каковы перспективы использования газоэлектрических горелок и плазмотронов?
11. Мировая энергетическая ситуация и прогноз основных параметров энергетических рынков.
12. Энергетический сектор и выброс парниковых газов.

13. Влияние выбора источника энергии и реализации процесса генерации на эффективность работы энергоустановок.

14. Современные технические средства для сжигания газообразного топлива.

15. Современные технические средства для сжигания жидкого топлива.

16. Основные процессы газификации твердого топлива.

17. Получения синтез газа для ряда промышленных производств.

18. Выбор рациональных технологий сжигания в реакторах с различными теплотехническими принципами.

19. Перечислите методы подавления вредных выбросов при сжигании углеводородов.

20. Особенности использования топливно-кислородного источника энергии.

Приложение 5

Вопросы к зачету

1. Мировая перспективная энергетическая ситуация.

2. Прогноз основных параметров энергетических рынков.

3. Основные направления экологической политики в энергетическом секторе РФ.

4. Энергетический сектор и выбросы парниковых газов.

5. Прогнозы углеводородной энергетики до 2050 г.

6. Сущность процесса генерации теплоты.

7. Повышение эффективности энергоиспользования путем рациональной организации процессов генерации теплоты и выбора источника энергии в энергоустановках.

8. Общая классификация углеводородного топлива.

9. Современные технические средства сжигания газообразного топлива.

10. Современные технические средства сжигания жидкого топлива.

11. Особенности использования твёрдого топлива как источника энергии.

12. Основные процессы газификации твёрдого топлива.

13. Получение синтез газа для ряда промышленных производств.

14. Особенности сжигания топлива в энергоустановках.

15. Выбор рациональных технологий генерации теплоты в энергоустановках с излучающем факелом, с плотном слоем, с псевдоожиженном слоем, со взвешенном слоем.

16. Основные методы подавления вредных выбросов при сжигании углеводородов.

17. Влияние режимных факторов на концентрацию вредных веществ.

18. Особенности проведения анализа продуктов сгорания при использовании современных компьютерных газоанализаторов.

19. Особенности использование топливно-кислородного источника энергии.

20. Экономические и экологические предпосылки использования топливно-кислородного источника энергии.

21. Перспективы использования газоэлектрических горелок и плазмотронов.

22. Современные эффективные технологии получения электрической и тепловой энергии из биомассы.

Приложение 6

Примеры задач для семинарских занятий

Задача 1. Расчет блочного керамического рекуператора.

Собираются из шамотных блоков с каналами для прохода воздуха. Для основной установки выбираем блоки марки Б-1, как наиболее распространенные. Каждый блок имеет четыре отверстия прямоугольного сечения и опорные буртики. Блоки устанавливаются так, что их отверстия образуют сплошные вертикальные каналы, по которым снизу вверх проходит воздух. Продукты сгорания движутся между блоками в горизонтальном направлении.

1. Расход газа (топлива) на отопление печи:

$B = 1{,}331 ì^3/c$

2. Расход воздуха на 1 м^3 топлива:

$L_g = 8{,}19187 ì^3/ì^3$

3. Расход газа (воздуха), подаваемого в рекуператор без учёта потерь:

$V_{Ã} = B \cdot L_g = 1{,}331 \cdot 9{,}19187 = 10{,}903 ì^3/c$

4. Потери газа(воздуха) в рекуператоре:

$\Delta V_{Ã} = n \cdot V_{Ã} = 0{,}15 \cdot 10{,}903 = 0{,}7 ì^3/c$,

где $n = 0{,}15$ - для керамических рекуператоров, работающих с прососом воздуха – утечке газа (воздуха). [1]

5. Расход газа (воздуха), подаваемого в рекуператор:

$V'_{Ã} = V_{Ã} + \Delta V_{Ã} = 10{,}903 + 1{,}635 = 12{,}538 ì^3/c$

Определяем расход продуктов сгорания перед рекуператором:

$V'_{ïð.ñã.} = m \cdot V_{ïð.ñã.}(1+\rho)$,

где m – коэффициент, учитывающий потери продуктов горения в печи и боровах до рекуператора, $m = 0{,}65 - 0{,}85$, принимаем $m = 0{,}75$;

ρ - присос газа (воздуха) в долях от количества продуктов горения;

$\rho = 0{,}1 - 0{,}15$; Принимаем $\rho = 0{,}13$

$V_{ïð.ñã.} = B \cdot V'_{ïð.ñã.}$

где $V_{ïð.ñã.} = 1{,}331 \cdot 9{,}2647 = 12{,}331 ì^3/c$

$V'_{ïð.ñã.} = 0{,}75 \cdot 12{,}331 \cdot (1 + 0{,}13) = 10{,}45 ì^3/c$

Для газоплотных рекуператоров тепловой баланс составляет с учётом 10% потерь тепла в окружающую среду:

$Q = 0{,}9 \cdot V'_{пр.сг}(\overline{C}^{нач}_{пр.сг} \cdot t^{нач}_{пр.сг} - \overline{C}^{кон}_{пр.сг} \cdot t^{кон}_{пр.сг}) = V_B(\overline{C}^{кон}_{в} \cdot t^{кон}_{в} - \overline{C}^{нач}_{в} \cdot t^{нач}_{в})$

где: $\overline{C}_{ïð.ñã}$ и $\overline{C}_{â}$ - средние изобарные объёмные теплоёмкости в интервале температур от 0 °С до соответствующей температуры, стоящей в произведении;

$t^{íà÷}_{ïð.ñã}, t^{êîí}_{ïð.ñã}$ - начальная и конечная температуры продуктов сгорания на входе и выходе из рекуператора, °С;

$t^{íà÷}_{â}$, $t^{êîí}_{â}$ - начальная и конечная температуры воздуха на входе и выходе из рекуператора, °С;

$V^{/}_{ïð.ñã}$ - расход продуктов сгорания, м^3/с;

$V_{Â}$ - расход воздуха, м^3/с;

При проектировании нового рекуператора обычно задаются тремя температурами: начальной и конечной температурами воздуха - $t^{íà÷}_{â} = 15\ ^{î}Ñ$, $t^{êîí}_{â} = 490^{o}C = t^{/}_{â}$, а также начальной температурой уходящих газов: $t^{íà÷}_{ïð.ñã} = t_{óõ} = 900^{o}C$;

$\overline{C}^{êîí}_{â} = 1{,}298 êÄæ/(ì^{3} \cdot ^{o}C)$

$\overline{C}^{íà÷}_{â} = 1{,}335 êÄæ/(ì^{3} \cdot ^{o}C)$

Температуру уходящих дымовых газов после рекуператора получим из уравнения:

$$h^{êîí}_{ïð.ñã} = h^{íà÷}_{ïð.ñã} - \frac{V_{â}}{0{,}9 \cdot V^{/}_{ïð.ñã}}(h^{êîí}_{â} - h^{íà÷}_{â})$$

$$\overline{\tilde{N}}^{êîí}_{ïð.ñã} t^{êîí}_{ïð.ñã} = \overline{\tilde{N}}^{íà÷}_{ïð.ñã} t^{íà÷}_{ïð.ñã} - \frac{Q}{0{,}9 \cdot V^{/}_{ïð.ñã}},$$

где $Q = V_{Â}(\overline{C}^{êîí}_{â} \cdot t^{êîí}_{â} - \overline{C}^{íà÷}_{â} \cdot t^{íà÷}_{â})$

$V_{â} = V^{/}_{Â} = 12{,}538 ì^{3}/ñ$

$Q = 12{,}538 \cdot (1{,}335 \cdot 490 - 1{,}298 \cdot 15) = 7957{,}618 êÄæ$

$$\overline{\tilde{N}}^{íà÷.}_{ïð.ñã} = \sum_{i=1}^{n} C_{ïð.ñã.i} \cdot r_{ïð.ñã.i},$$

где $C_{ïð.ñã.i}$ - средняя изобарная теплоёмкость отдельных компонентов газовой смеси продуктов сгорания; [3, табл. 2.13]

$r_{ïð.ñã.i}$ - объёмные доли, продуктов сгорания.

$\overline{\tilde{N}}^{íà÷.}_{ïð.ñã} = 1{,}67 êÄæ/(ì^{3} \cdot ^{î}Ñ)$

Т.к. в нашем уравнении две неизвестные величины, то мы решаем его методом последовательных приближений:

$$\overline{\tilde{N}}^{êîí.}_{ïð.ñã} \cdot t^{êîí.}_{ïð.ñã.} = 1{,}67 \cdot 900 - \frac{7957{,}618}{0{,}9 \cdot 12{,}331} = 785{,}962 êÄæ/ì^{3}$$

Принимаем $t^{êîí.}_{ïð.ñã.} = 530^{o}C$;

$$\overline{\tilde{N}}^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}} \cdot t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.} = 0{,}01 \cdot 4{,}187 \cdot (0{,}479 \cdot 10{,}038 + 0{,}382 \cdot 18{,}67 + 0{,}335 \cdot 2{,}61 +$$

$$+ 0{,}318 \cdot 71{,}291) \cdot 530 = 787{,}459 \frac{\hat{e}\ddot{A}\text{æ}}{\grave{i}^{\ 3}}$$

Погрешность:

$$\delta = \frac{787{,}459 - 787{,}962}{787{,}459} \cdot 100\% = 0{,}19\% < 3\%$$

Поверхность нагрева рекуператора F определяется из уравнения теплопередачи:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_{\tilde{n}\eth}},$$

где: k - коэффициент теплопередачи, Вт/м^2·к;

$\Delta t_{\tilde{n}\eth}$- средняя разность температур уходящих газов и воздуха.

Средняя значение разности температур уходящих газов и воздуха определяется как среднелогарифмическая разность:

Для противоточного движения.

$$\Delta t_{\tilde{n}\eth} = \frac{(t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.} - t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\hat{a}}) - (t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.} - t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\hat{a}})}{\ln \frac{t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.} - t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\hat{a}}}{t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.} - t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\hat{a}}}}$$

Для более сложных схем движения в формулу для нахождения $\Delta t_{\tilde{n}\eth.}$ вводится поправочный коэффициент, для нахождения которого сначала вычисляются вспомогательные величины:

$$P = \frac{t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\hat{a}} - t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\hat{a}}}{t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.} - t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\hat{a}}};$$

$$P = 0{,}537$$

$$R = \frac{t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.} - t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\ddot{i}\eth\ .\tilde{n}\tilde{a}.}}{t^{\hat{e}\hat{i}\hat{i}\ \cdot}_{\hat{a}} - t^{\acute{i}\grave{a}\div\ \cdot}_{\hat{a}}};$$

$$R = 0{,}779$$

По P и R определяется поправки $E_{\Delta t}, E_{\Delta t} = f(P, R)$ на которую умножается $\Delta t_{\tilde{n}\eth}$.

$E_{\Delta t} = 0{,}97$ [6, рис. 4.2(а)]

$$\Delta t_{\tilde{n}\eth} = \frac{(900 - 490) - (530 - 15)}{\ln \frac{(900 - 490)}{(530 - 15)}} \cdot 0{,}97 = 446{,}691^{\acute{i}}\ \tilde{N}$$

Коэффициент теплоотдачи k определяется по формуле:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_g} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\hat{a}}} \cdot \frac{F}{F + F_{\acute{i}\eth}}},$$

Для блочных рекуператоров:

$$\frac{F}{F + F_{ïð}} = 0{,}8 \quad [1]$$

где: S - толщина стенки блока $s = 0{,}02ì$ [1]

λ - коэффициент теплопроводности шамота, принимаем $\lambda = 1{,}2\ Âò/(ì \cdot {}^{o}C)$

$\alpha_â$ - коэффициент теплоотдачи от стенки к воздуху

$$\alpha_â = (À \cdot W_â^{0,2} + 1) \cdot B \cdot \Delta t^{0,1} \ ,$$

где: $W_â$ - скорость воздуха, приведённая к нормальным условиям.

$W_â = 0{,}5 \div 1ì/c$ - для керамических рекуператоров. [1, табл. 3]

Принимаем: $W_â = 0{,}75ì/c$

Средняя температура продуктов сгорания (дымовых газов):

$$t_{ïð.ñã(ñð)} = \frac{t_{ïð.ñã.}^{íà÷.} + t_{ïð.ñã.}^{êîí.}}{2} = \frac{900 + 530}{2} = 715^{î}Ñ$$

Средняя температура стенок рекуператора:

$$t_{ñò.(ñð)} = \frac{t_{ïð.ñã(ñð)} + \frac{(t_â^{íà÷.} + t_â^{êîí.})}{2}}{2}$$

$$t_{ñò.(ñð)} = \frac{715 + \frac{(490 + 15)}{2}}{2} = 483{,}75^{î}Ñ$$

Средняя температура воздуха:

$$\bar{t}_{â(ñð)} = \frac{(t_â^{íà÷.} + t_â^{êîí.})}{2} = \frac{(490 + 15)}{2} = 252{,}5^{\ î}Ñ$$

Средняя разность температур стенки и воздуха:

$$\Delta t = t_{ñò(ñð)} - t_{â(ñð)} = 483{,}75 - 252{,}5 = 231{,}25^{î}Ñ$$

Коэффициенты $À$ и B определяем по $t_{ñð}$:

$$t_{ñð} = \frac{t_{ñò} + t_â}{2} = \frac{483{,}75 + 252{,}5}{2} = 368{,}125^{î}Ñ$$

$À = 2{,}764,\ B = 1{,}161$ [1, табл. 5]

$$\alpha_â = (2{,}764 \cdot 0{,}75^{0,2} + 1) \cdot 1{,}161 \cdot 231{,}25^{0,1} = 7{,}222Âò/(ì^{\ 2} \cdot {}^{o}C)$$

С учётом шероховатости стенки

$$\alpha_â = 1{,}1 \cdot 7{,}222 = 7{,}944Âò/(ì^{\ 2} \cdot {}^{o}C)$$

$\alpha_ä$ - коэффициент теплоотдачи от дыма к стенке (на дымовой стороне).

$$\alpha_â = \alpha_ä^{k} + \alpha_ä^{èçë}$$

Коэффициент теплоотдачи конвекцией:

$$\alpha_ä^{k} = (3{,}51 + 0{,}00311 \cdot t_{ïð.ñã.(ñð)}) \cdot \frac{W_{ïð.ñã.}^{0,8}}{d_Ý^{0,2}}$$

где: $d_Ý = 0{,}158ì$ - эквивалентный диаметр дымового канала. [1, табл. 4]

$W_{ïð.ñã.}$ - скорость движения (дыма). Принимаем $W_{ïð.ñã.}$= 3ì /ñ - для керамических рекуператоров. [1, табл. 3]

$$\alpha_{ä}^{k} = (3{,}51 + 0{,}00311 \cdot 715) \cdot \frac{3^{0{,}8}}{0{,}158^{0{,}2}} = 19{,}971 Âò/(ì^2 \cdot {}^oC)$$

С учётом шероховатости стенки:

$\alpha_{ä}^{k} = 1{,}1 \cdot 31{,}06 = 21{,}968 Âò/(ì^2 \cdot {}^oC)$

Коэффициент теплоотдачи излучением от продуктов сгорания топлива к стенке элемента поверхности нагрева определяется выражением: [4].

$$\alpha_{ä}^{èçë} = \tilde{N}_n \cdot \frac{\left(\frac{T_{ïð.ñã.(ñð)}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_{ñò.ñð.}}{100}\right)^4}{t_{ïð.ñã.(ñð)} - t_{ñò.ñð.}}$$

где:

$T_{ïð.ñã.(ñð)} = (t_{ïð.ñã.(ñð)} + 273) = (715 + 273{,}15) = 988{,}15 Ê$

$T_{ñò.ñð.} = (t_{ñò.ñð.} + 273) = (483{,}75 + 273{,}15) = 756{,}9 Ê$,

$\tilde{N}_n = 16{,}7 \cdot Å_{ïð.ñã.}$ - коэффициент лучеиспускания (приведённое значение).

$Å_{ïð.ñã.}$ - степень черноты продуктов сгорания.

$Å_{ïð.ñã.} = Å_{ÑÎ_2} + \beta_{Í_2Î} \cdot Å_{Í_2Î}$

Эффективная длина луча:

$s_{Ýô} = 0{,}9 \cdot d_{Ý}$,

где: $d_{Ý} = 0{,}158 ì$.

$s_{Ýô} = 0{,}9 \cdot 0{,}158 = 0{,}1422 ì$ [1, табл. 4]

Для определения степени черноты необходимо найти парциальные давления CO_2 и H_2O и по номограммам [4, рис. 4.6-4.8]

Определяем $Å_{ÑO_2}, E_{H_2O}, \beta_{H_2O}$

$t_{Ã} = t_{óõ} = 900^oC$

$\beta_{H_2O} = 1{,}06;$

$Å_{ÑO_2} = 0{,}046; \quad E_{H_2O} = 0{,}03;$

$Å_{ïð.ñã.} = 0{,}046 + 1{,}06 \cdot 0{,}03 = 0{,}0778$

$\tilde{N}_n = 16{,}7 \cdot 0{,}0778 = 1{,}299 Âò/(ì^2 \cdot Ê^4)$

$$\alpha_{ä}^{èçë} = 1{,}299 \cdot \frac{\left(\frac{988{,}15}{100}\right)^4 - \left(\frac{756{,}9}{100}\right)^4}{715 - 783{,}75} = 35{,}121 Âò/(ì^2 \cdot {}^oC)$$

$\alpha_{ä} = 21{,}968 + 35{,}121 = 57{,}089 Âò/(ì^2 \cdot Ê)$

$$k = \frac{1}{\frac{1}{79{,}726} + \frac{0{,}02}{1{,}2} + 0{,}8 \cdot \frac{1}{15{,}389}} = 12{,}35 Âò/(ì^2 \cdot {}^íÑ)$$

Количество теплоты от продуктов сгорания с учётом 10% потерь тепла в

окружающую среду:

$$Q = 0{,}9 \cdot V'_{\text{ïð .ñã.}}(\tilde{N}^{\text{íà÷}}_{\text{ïð .ñã}} \cdot t^{\text{íà÷}}_{\text{ïð .ñã}} - \tilde{N}^{\text{êîí}}_{\text{ïð .ñã.}} \cdot t^{\text{êîí}}_{\text{ïð .ñã}})$$

$$Q = 0{,}9 \cdot 12{,}331 \cdot (1{,}67 \cdot 900 - 787{,}459) = 8074{,}308 \frac{\hat{e}\ddot{A}\text{æ}}{\tilde{n}}$$

Площадь теплопередающей поверхности:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{8074 \cdot 10^3}{7{,}414 \cdot 446{,}691} = 2438{,}066 \text{ì}^{\ 2}$$

Число блоков:

$$z = \frac{F}{f_{\text{áë}}},$$

где: $f_{\text{áë}} = 0{,}161 \text{ì}^{\ 2}$ - поверхность нагрева блока Б-1; [1, табл. 4]

$$z = \frac{2438{,}066}{0{,}161} = 15143{,}267$$

Принимаем $z = 15144 \text{øò}$.

Компоновка рекуператора:

Расчёт ведём по блокам Б-1

Принимаем ширину рекуператора: 1584 мм.

Ширина кирпича: 264 мм.

Общее количество блоков по ширине:

$$z_1 = \frac{1584}{264} = 6 \ \text{áëîêîâ}$$

Принимаем высоту рекуператора: 11285 мм.

Высоту кирпича: 305 мм.

По высоте рекуператора:

$$z_2 = \frac{12285}{305} = 40 \ \text{áëîêîâ}$$

По длине:

$$z_3 = \frac{2800}{6 \cdot 7} = 67 \ \text{áëîêîâ} \ .$$

Задача 2. Расчет инжекционной горелки.

Инжекционные горелки являются наиболее распространенным типом горелок с полным предварительным смешением. Для отопления нагревательных и термических печей применяют нормализованные инжекционные горелки следующих типов:

Н - для сжигания доменного газа и смесей доменного и коксового газов с $Q_H^P = 3{,}75 \div 9{,}20$ МДж/м^3 и работы на холодном воздухе и холодном или подогретом (для газов) $Q_H^P \le 5{,}85$ МДж/м^3 газе до $300\,°C$;

П – для сжигания доменного и смесей доменного и коксового газов с $Q_H^P = 3{,}75 \div 8{,}40$ МДж/м^3 при работе на подогретом воздухе и на холодном или подогретом газе;

В и ВП – для сжигания природного, коксового, смесей природного и

коксового, а также других газов с высокой теплотой сгорания при работе на холодном воздухе и холодном газе.

Выбираем горелку – типа В.

Скорость истечения газа из сопла:

$$\upsilon_{\text{Г}} = \text{ф} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \text{T}_{\text{О}} \cdot P_{\text{г}}}{\rho_{\text{ОГ}} \cdot T_{\text{г}} \cdot P_O} \cdot \Delta p_{\text{г}}}$$

где: ϕ – коэффициент истечения из сопла $\phi = 0{,}85$;

$P_г, T_г$ – давление и температура газа перед горелкой;

$\grave{O}_{\tilde{a}} = 273 + 300 = 573\hat{E}$

$P_{\tilde{a}} = 151{,}3 \ \ \hat{e}\ddot{I}\grave{a}$ - принимаем

$\rho_{\hat{i}\tilde{a}}$ - плотность газа перед горелкой

$P_{\tilde{a}} = 0{,}8 \cdot \rho_{\ddot{i}\tilde{a}} + 0{,}2 \cdot \rho_{\ddot{a}\tilde{a}} = 0{,}8 \cdot 0{,}8 + 0{,}2 \cdot 1{,}296 = 0{,}899\hat{e}\tilde{a} / \grave{i}^{\ 3}$

Плотность газа перед горелкой с учётом подогрева газа:

$$\rho_{\tilde{\text{a}}} = \frac{\rho_{\hat{i}\tilde{a}} \cdot T_0}{T_0 \cdot t_{\tilde{a}}} \cdot \frac{P_{\tilde{a}}}{P_0} = \frac{0{,}899 \cdot 273}{273 + 573} \cdot \frac{151{,}3}{101{,}3} = 0{,}429 \ \ \hat{e}\tilde{a} / \grave{i}^{\ 3}$$

P_0, T_0 – давление и температура окружающей среды

$P_0 = 101{,}3 \ \ кПа = 1 \ \ атм$ – атмосферное давление

$T_0 = 273 \ \ K$

$\Delta P_г$ - избыточное давление газа перед горелкой

$\Delta P_г = 50 \ \ кПа$ – принимаем

$$\upsilon_{\text{Г}} = 0{,}85 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 273 \cdot 151{,}3}{0{,}899 \cdot 573 \cdot 101{,}3} \cdot 50 \cdot 10^3} = 239{,}143 \ \text{м/с}$$

Объемная кратность инжекции (отношение объёма смеси к объему газа после истечения):

$$m = 1 + \alpha \cdot L_o \cdot \frac{T_B}{T_{\text{Г}}} \cdot \text{П}$$

где: L_0 - стехиометрическое количество воздуха для данного вида газа.

$L_0 = 7{,}44715 \ \ \grave{i}^{\ 3}$

T_B – температура подмешиваемого воздуха, К;

$T_{\hat{A}} = 490^{\ \hat{i}}\tilde{N} + 273 = 763 \ \ \hat{E}$

$\text{П} = \left(\frac{\text{P}_{\text{О}}}{\text{P}_{\text{Г}}}\right)^{-0.23}$ - коэффициент пропорциональности.

$\text{П} = \left(\frac{\text{P}_{\text{О}}}{\text{P}_{\text{Г}}}\right)^{-0.23} = 1.0966622.$

$$m = 1 + 1{,}1 \cdot 7{,}44715 \cdot 1{,}0966622 \cdot \frac{763}{573} = 12{,}963$$

Массовая кратность инжекции (отношение массы газовоздушной смеси к

массе газа):

$$n = 1 + \alpha \cdot L_O \cdot \frac{\rho_{OB}}{\rho_{ОГ}}$$

где: $\rho_{ов}$ - плотность воздуха, $\rho_{ов} = 1{,}29 \ \ кг/м^3$

$$n = 1 + 1{,}1 \cdot 7{,}44715 \cdot \frac{1{,}29}{0{,}899} = 12{,}755$$

Отношение площадей смесителя и газового сопла:

$$\overline{F_1} = \frac{B' \cdot m \cdot n - C \cdot (m-1)(n-1)}{2}$$

где: B' - коэффициент, зависящий от сопротивлений на пути газовоздушной смеси в горелке. Примем $B' = 2{,}35$ [1]

C – коэффициент, характеризующий сопротивление на пути движения воздуха, ($C = 0{,}425$)

$$\overline{F_1} = \frac{2{,}35 \cdot 12{,}963 \cdot 12{,}755 - 0{,}425 \cdot (12{,}963-1)(12{,}755-1)}{2} = 164{,}395$$

Диаметр газового сопла:

$$d_{Г} = \frac{d_C}{\sqrt{F_1}}$$

где: d_C – диаметр смесителя. Конструктивно принимаем:

$d_C = d_{н.г.} = 100 \ \ мм$

$d_{н.г.}$ – диаметр носика горелки, мм.

$$d_{Г} = \frac{100}{\sqrt{164{,}395}} = 7{,}799 \ \ ìì$$

Принимаем $d_{Г} = 30 \ \ ìì$.

Пропускная способность горелки по газу:

$$V_{ОГ} = \frac{F \cdot 3{,}6 \cdot \upsilon_{Г}}{10^3}, м^3/ч$$

где: F – площадь выходного сечения;

$$F = \frac{\pi \cdot 30}{4} = 706{,}5 ìì^{\ 2}$$

$$V_{ОГ} = \frac{706{,}5 \cdot 3{,}6 \cdot 239{,}143}{10^3} = 608{,}236 \ \ ì^{\ 3}/\div$$

Число горелок, необходимых для установки в печи:

$$n = \frac{B}{V_{îã}} = \frac{1{,}331 \cdot 3600}{608{,}236} = 7{,}878 \approx 8 \ \ øò$$

Температура смеси:

$$t_{см} = \frac{t_{Г} + \alpha \cdot L_O \cdot t_B}{1 + \alpha \cdot L_O}$$

где: $t_в$ - температура воздуха, $t_в = 300$ $^{i}\tilde{N}$

$$t_{см} = \frac{300 + 1{,}1 \cdot 7{,}44715 \cdot 490}{1 + 1{,}1 \cdot 7{,}44715} = 469{,}33\ °C$$

Скорость смеси в носике горелки:

$$\upsilon_{н.г} = \frac{V_{ог} \cdot (1 + \alpha \cdot L_O) \cdot T_{СМ} \cdot 10^3}{2.826 \cdot \alpha_{.г}^2 \cdot T_O}, м/с$$

где: $T_{см}$ – температура смеси, К.

$$T_{ñì} = 273 + 469{,}33 = 742{,}33\ \hat{E}$$

$\alpha_{н.г.}$ – коэффициент пропорциональности [1].

$$\alpha_{н.г.} = 100$$

$$\upsilon_{н.г} = \frac{608{,}236 \cdot (1 + 1{,}1 \cdot 7{,}44715) \cdot 742{,}33 \cdot 10^3}{2{,}826 \cdot 100^2 \cdot 273} = 537{,}945\ ì/ñ$$

Скорость проскока горения внутри горелки:

$$\upsilon_{ПР} = \upsilon'_{пр} \cdot k_t$$

где: $\upsilon'_{ПР}$ - скорость проскока горения для холодной смеси. [9, рис. 175], $\upsilon'_{ПР} = 16{,}5\ ì/c$

k_t – поправка на температуру смеси. [2, табл. 9.4].

$$k_t = 6{,}78$$

$$\upsilon_{ПР} = 16{,}5 \cdot 6{,}78 = 111{,}87\ м/с$$

Пределы регулирования горелки:

$$\upsilon = \frac{\upsilon_{НГ}}{\upsilon_{ПР}} = \frac{537{,}945}{111{,}87} = 4{,}809\ ì/c$$