Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Наливайко Антон Юрьевич
Должность: проректор по научной работе
Дата подписания: 01.11.2023 17:35:43
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

«Технология использования вторичных энергоресурсов»

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 «Технологии использования вторичных энергоресурсов» следует отнести формирование знаний о современных принципах, методах и средствах использования теплоты вторичных энергоресурсов в теплоэнергетических установках, проектировании специальных теплообменных аппаратов, выработка навыков формулировать и решать задачи анализа энергетического потенциала ВЭР, возможности его использования в промышленных установках.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Технологии использования вторичных энергоресурсов» следует отнести:

– выработать навыки у аспирантов самостоятельно формулировать задачи утилизации теплоты ВЭР и использования ее в промышленных аппаратах;

– научить анализировать существующие системы утилизации теплоты ВЭР и их элементы, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их структуре с позиций повышения эффективности и энергосбережения;

– дать информацию о новых методиках использования теплоты ВЭР в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки систем утилизации теплоты ВЭР.

2. Место дисциплины в структуре ООП аспирантуры

Дисциплина «Технологии использования вторичных энергоресурсов» относится к числу факультативных учебных дисциплин основной образовательной программы аспирантуры (ФТД.1).

«Технологии использования вторичных энергоресурсов» 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):

– Промышленная теплоэнергетика;

– Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках.

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

– Источники энергии и генерация теплоты в энергоустановках;

– 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-1	владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	**знать:** • основные методы теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности **уметь:** • проводить теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности **владеть:** • методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности
ПК-4	способность составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики	**знать:** • методы составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики **уметь:** • составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики **владеть:** • методами составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины «Технологии использования вторичных энергоресурсов» составляет **2** зачетная единица, т.е. **72** академических часов (из них 12 часов – лекции, 12 часов – семинарских (практических) занятий и 48 часов самостоятельная работа аспирантов). Форма контроля - зачет.

Структура и содержание дисциплины «Технологии использования вторичных энергоресурсов» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины

Третий семестр

Тема 1. Введение.

Предмет, задачи и содержание дисциплины. Место систем, использующих вторичные энергоресурсы в структуре энергетического комплекса предприятия.

Принципы эффективного использования низкопотенциальной тепловой энергии. Основные термины и определения.

Тема 2. Источники вторичных энергоресурсов (ВЭР)

Горючие, тепловые ВЭР, ВЭР избыточного давления. Источники ВЭР на предприятиях нефтегазового и энергетического комплекса и их объемы. Причины недостаточного использования ВЭР в различных отраслях промышленности. Температурный уровень технологических и теплотехнологических процессов (агрегатов). Принципы и общие условия создания технологических схем по использованию ВЭР.

Тема 3. Теплотехнические расчеты энергосберегающих установок

Тепловой баланс процесса (агрегата). КПД производственного агрегата с дополнительным теплоиспользованием. Регенеративные (замкнутые) и энергетические установки с использованием тепловых и горючих ВЭР. Расчет экономии топлива при регенеративном использовании тепловых ВЭР. Оценка объемов ВЭР на промышленном предприятии. Упрощенная методика теплотехнических расчетов для определения ресурсов тепловых и горючих ВЭР.

Тема 4. Теплоиспользующее оборудование энергосберегающих установок

Регенераторы и рекуператоры промышленных печей, котлоагрегатов и газотурбинных установок – конструктивные особенности и характеристики. Котлы-утилизаторы, испарительные и водогрейные пакеты - область применения, конструктивные характеристики, принципы проектирования и эксплуатации. Контактные и контактно-поверхностные теплообменники. Использование скрытой теплоты парообразования с целью повышения КПД установки и извлечения дистиллята. Тепловые трубы и термосифоны и теплообменники на их основе. Парокомпрессорные и адсорбционные тепловые насосы – основные характеристики и области применения. Типовые и нетрадиционные схемы комплексного использования теплоты продуктов сгорания топлива.

Тема 5. Использование ВЭР на компрессорных станциях

Объемы ВЭР на КС магистральных газопроводов. Регенеративный нагрев компрессорного воздуха. Высокотемпературный подогрев топливного газа – технологические и теплотехнические преимущества. Теплофикация и горячее водоснабжение на базе теплоты выхлопных газов ГТУ. Использование сбросного газа КС в качестве топливного газа. Промышленные энергосберегающие схемы. Парогазовые установки на КС. Парогазовые циклы – преимущества и технические решения. Технологическое оборудование и техническое обеспечение парогазовых установок. Комплексное использование газа на КС.

Тема 6. Энергосберегающие технологии на УКПГ, ГПЗ, НПЗ

Парк технологических печей газо- и нефтепереработки; теплотехнические показатели агрегатов, резервы ВЭР. Принципиальные схемы утилизации тепловых ВЭР от трубчатых печей, подогревателей природного газа и нефти. Рекуперативные (замкнутые) и открытые (энергетические) схемы комплексного использования тепла. Вовлечение в топливно-энергетический баланс предприятий сбросных (факельных) газов в качестве котельно-печного топлива.

Тема 7. Использование попутного нефтепромыслового газа

Объемы и степень утилизации попутного нефтяного газа на промыслах. Состав и теплотехнические характеристики попутного газа основных нефтяных месторождений РФ. Существующие методы переработки и сжигания нефтяного газа. Принципиальные схемы комплексного использования нефтяного газа на промысле с выработкой электрической энергии на мобильных парогазовых электростанциях (ПГЭ). Теплотехнические, экономические и экологические характеристики ПГЭ.

Тема 8. Энергосбережение на нефтехранилищах и насосных станциях

«Большие и малые дыхания» резервуаров. Количественные потери углеводородов при хранении нефтепродуктов. Методы сокращения потерь - уменьшение газового объема резервуаров; охлаждение нефтепродуктов при хранении; применение газовой обвязки резервуарного парка; использование плавающих понтонов; хранение нефтепродуктов под избыточным давлением. Утилизация продуктов испарения резервуаров в качестве котельно-печного топлива. Принципиальные схемы и технические характеристики метода.

Тема 9. Использование ВЭР избыточного давления

Объемы транспортируемого газа и параметры работы магистральных газопроводов. Газораспределительные станции и пункты (ГРС и ГРП). Системы и эксплуатационные показатели распределительных газопроводов. Устройство и технические характеристики противодавленических газовых турбин (турбодетандеров). Технологические схемы утилизации ВЭР избыточного давления с использованием турбодетандеров для выработки электрической энергии.

Тема 10. Комплексное использование ВЭР

Комплексные многоступенчатые схемы использования тепла продуктов сгорания углеводородного топлива. Подсчет эффективности комплексных энергосберегающих установок на базе обобщенных характеристик топлива. Определение интегрального экономического эффекта комплексных установок с учетом уменьшения удельного расхода топлива, металлоемкости установок, снижения экологической нагрузки на окружающую среду и улучшения технологических показателей процесса.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Технологии использования вторичных энергоресурсов» 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 технологии использования вторичных энергоресурсов» (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-1	владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности
ПК-4	способность составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики

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-1 - владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности				
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 теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: основные методы теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: основные методы теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности. 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 теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: основные методы теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности, свободно оперирует приобре-тенными знаниями.
уметь: проводить теоретические и экспериментальные	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет проводить теоретические и	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: проводить	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений:	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих

исследования в области профессиональной деятельности	экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности	теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	проводить теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	умений: проводить теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Обучающийся владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности 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 методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ПК-4 - способность составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики				
знать: методы составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетик	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики, свободно оперирует приобретенными

	и	при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	операциях.	знаниями.
уметь: составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетик и	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики. 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: составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: методами составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетик и	Обучающийся владеет методами составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики 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 методами составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методами составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

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».

Шкала оценивания	Описание
Зачтено	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.
Не зачтено	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. ПНСТ 468-2020. «Ресурсосбережение. Вторичные ресурсы и вторичное сырье».

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

3. Сухоцкий А.Б. Вторичные энергетические ресурсы: учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент» / А.Б. Сухоцкий. – Минск: БГТУ, 2014. – 174 с. https://elib.belstu.by/bitstream/ 123456789/14215/1/suxockii_vtorichnye-ehnergeticheski e-resursy.2014.pdf

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.

6. Протасевич А.М. Энергосбережение в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Минск: Новое знание, 2012. — 286 с.

б) дополнительная литература:

1. Тригенерация энергии в турбодетандерных установках на диоксиде углерода / А.В. Овсянник, Н.А. Вальченко, П.А. Ковальчук, А.И. Аршунов // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П.О. Сухого. — 2019. — № 2. — С. 41-51. — ISSN 1819-5245. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/journal/issue/313255.

2. Авилова, В.В. Энергетическая и сырьевая безопасность : учебное пособие / В.В. Авилова. — Казань: КНИТУ, 2017. — 300 с. — ISBN 978-5-7882-2326-1. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/138411.

3. Круглов Г.А. Теплотехника [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Г.А. Круглов, Р.И. Булгакова, Е.С. Круглова. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2012. — 208 с.

4. Липин А.Г. Энергосбережение в сушильных установках [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Иваново: ИГХТУ, 2012. — 48 с.

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

6. Парамонов А.М. Системы воздухоснабжения предприятий [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.М. Парамонов, А.П. Стариков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2011. — 160 с.

7. Быстрицкий Г.Ф. Справочная книга по энергетическому оборудованию предприятий и общественных зданий [Электронный ресурс]: справ. / Г.Ф. Быстрицкий, Э.А. Киреева. — Электрон. дан. — Москва: Машиностроение, 2011. — 592 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 «Технологии использования вторичных энергоресурсов» имеет своей целью ознакомить аспирантов с достижениями в области технологий использования вторичных энергоресурсов, 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 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 «Технологии использования вторичных энергоресурсов» 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													
1.1	**Предмет, задачи и содержание дисциплины. Место систем, использующих вторичные энергоресурсы в структуре энергетического комплекса предприятия. Принципы эффективного использования низкопотенциальной тепловой энергии. Основные термины и определения. Горючие, тепловые ВЭР, ВЭР избыточного давления. Источники ВЭР на предприятиях нефтегазового и энергетического комплекса и их объемы. Причины недостаточного использования ВЭР в различных отраслях промышленности. Температурный уровень технологических и теплотехнологических процессов (агрегатов). Принципы и общие условия создания технологических схем по использованию ВЭР.**	**3**	**1**	**2**			6	+							
1.2	Выход вторичных энергетических ресурсов и экономия топлива за счет их использования. Расчет процессов сжигания и газификации топлива. (практическое занятие)	3	1		2		2	+			+				
1.3	**Тепловой баланс процесса (агрегата). КПД производственного агрегата с дополнительным теплоиспользованием. Регенеративные (замкнутые) и энергетические установки с использованием тепловых и горючих ВЭР. Расчет экономии топлива при регенеративном использовании тепловых ВЭР. Оценка объемов ВЭР на промышленном предприятии. Упрощенная методика теплотехнических расчетов для определения ресурсов тепловых и горючих ВЭР.**	**3**	**1**	**2**			6	+							
1.4	Тепловой и материальный баланс котельной установки. Тепловой и материальный баланс пиролизной установки (практическое занятие)	3	2		2		2	+			+				

1.5	**Регенераторы и рекуператоры промышленных печей, котлоагрегатов и газотурбинных установок – конструктивные особенности и характеристики. Котлы-утилизаторы, испарительные и водогрейные пакеты - область применения, конструктивные характеристики, принципы проектирования и эксплуатации. Контактные и контактно-поверхностные теплообменники. Использование скрытой теплоты парообразования с целью повышения КПД установки и извлечения дистиллята. Тепловые трубы и термосифоны и теплообменники на их основе. Парокомпрессорные и адсорбционные тепловые насосы – основные характеристики и области применения. Типовые и нетрадиционные схемы комплексного использования теплоты продуктов сгорания топлива.**	**3**	**2**	**2**			6	+							
1.6	Расчет биогазагенераторов (метантенков). Примеры расчета материального, энергетического и эксергетического баланса технологических процессов. (практическое занятие)	3	2		2		2	+			+				
1.7	**Объемы ВЭР на КС магистральных газопроводов. Регенеративный нагрев компрессорного воздуха. Высокотемпературный подогрев топливного газа – технологические и теплотехнические преимущества. Теплофикация и горячее водоснабжение на базе теплоты выхлопных газов ГТУ. Использование сбросного газа КС в качестве топливного газа. Промышленные энергосберегающие схемы. Парогазовые установки на КС. Парогазовые циклы – преимущества и технические решения. Технологическое оборудование и техническое обеспечение парогазовых установок. Комплексное использование газа на КС.** **Парк технологических печей газо- и нефтепереработки; теплотехнические показатели агрегатов, резервы ВЭР. Принципиальные схемы утилизации тепловых ВЭР от трубчатых печей, подогревателей природного газа и нефти. Рекуперативные (замкнутые) и открытые (энергетические) схемы комплексного использования тепла. Вовлечение в топливно-энергетический баланс предприятий сбросных (факельных) газов в качестве котельно-печного топлива.**	**3**	**3**	**2**			6	+							
1.8	Тепловой и материальный баланс котла-утилизатора (практическое занятие)	3	3		2		2	+			+				
1.9	**Состав и теплотехнические характеристики попутного газа основных нефтяных месторождений РФ. Существующие методы переработки и сжигания нефтяного газа. Принципиальные схемы комплексного использования нефтяного газа на промысле с выработкой электрической энергии на мобильных парогазовых электростанциях (ПГЭ). Теплотехнические, экономические и экологические характеристики ПГЭ.** **«Большие и малые дыхания» резервуаров. Количественные потери**	**3**	**3**	**2**			6	+							

	углеводородов при хранении нефтепродуктов. Методы сокращения потерь - уменьшение газового объема резервуаров; охлаждение нефтепродуктов при хранении; применение газовой обвязки резервуарного парка; использование плавающих понтонов; хранение нефтепродуктов под избыточным давлением. Утилизация продуктов испарения резервуаров в качестве котельно-печного топлива. Принципиальные схемы и технические характеристики метода.														
1.10	Методы расчета аппаратов систем очистки газового потока от вредных примесей, сопряженных с утилизационными аппаратами (практическое занятие)	3	4		2		2	+			+				
1.11	**Объемы транспортируемого газа и параметры работы магистральных газопроводов. Газораспределительные станции и пункты (ГРС и ГРП). Системы и эксплуатационные показатели распределительных газопроводов. Устройство и технические характеристики противодавленических газовых турбин (турбодетандеров). Технологические схемы утилизации ВЭР избыточного давления с использованием турбодетандеров для выработки электрической энергии.** **Комплексные многоступенчатые схемы использования тепла продуктов сгорания углеводородного топлива. Подсчет эффективности комплексных энергосберегающих установок на базе обобщенных характеристик топлива. Определение интегрального экономического эффекта комплексных установок с учетом уменьшения удельного расхода топлива, металлоемкости установок, снижения экологической нагрузки на окружающую среду и улучшения технологических показателей процесса.**	**3**	**4**	**2**			6	+							
1.12	Расчет характеристик турбодетандеров. Расчет экономической эффективности использования энергетических отходов технологического процесса (практическое занятие)	3	4		2		2	+			+				
	Форма аттестации	3	5-6					+			+				**3**
	Всего часов по дисциплине в третьем семестре			12	12	0	48								

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ 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

«Технологии использования вторичных энергоресурсов»

Москва
2020

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Технологии использования вторичных энергоресурсов					
ФГОС ВО **13.06.01 Электро- и теплотехника**					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
ОПК-1	владением методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	**знать:** основные методы теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности **уметь:** проводить теоретические и экспериментальные исследования в области профессиональной деятельности **владеть:** методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности	Лекция, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности. Повышенный уровень: владеет методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности в нестандартных ситуациях с их последующим анализом

ПК-4	способность составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики	**знать:** методы составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики **уметь:** составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики **владеть:** методами составления практических рекомендаций по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики	Лекция, семинарские занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	Базовый уровень: способен составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики в стандартных ситуациях. Повышенный уровень: способен составлять практические рекомендации по использованию результатов научных исследований в теплоэнергетики 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. Выход вторичных энергетических ресурсов и экономия топлива за счет их использования;
2. Расчет процессов сжигания и газификации топлива;
3. Тепловой и материальный баланс котельной установки. Тепловой и материальный баланс пиролизной установки;
4. Расчет биогазагенераторов (метантенков);
5. Примеры расчета материального, энергетического и эксергетического баланса технологических процессов;
6. Тепловой и материальный баланс котла-утилизатора;
7. Методы расчета аппаратов систем очистки газового потока от вредных примесей, сопряженных с утилизационными аппаратами;
8. Расчет характеристик турбодетандеров;
9. Расчет экономической эффективности использования энергетических отходов технологического процесса.

Приложение 4

Вопросы к экзамену

1. Место систем, использующих вторичные энергоресурсы в структуре энергетического комплекса предприятия.
2. Принципы эффективного использования низкопотенциальной тепловой энергии.
3. Горючие, тепловые ВЭР, ВЭР избыточного давления.
4. Источники ВЭР на предприятиях нефтегазового и энергетического комплекса и их объемы.
5. Причины недостаточного использования ВЭР в различных отраслях промышленности.
6. Температурный уровень технологических и теплотехнологических процессов (агрегатов).
7. Принципы и общие условия создания технологических схем по использованию ВЭР.
8. Тепловой баланс процесса (агрегата).
9. КПД производственного агрегата с дополнительным теплоиспользованием.
10. Регенеративные (замкнутые) и энергетические установки с использованием тепловых и горючих ВЭР.

11. Расчет экономии топлива при регенеративном использовании тепловых ВЭР.

12. Оценка объемов ВЭР на промышленном предприятии.

13. Упрощенная методика теплотехнических расчетов для определения ресурсов тепловых и горючих ВЭР.

14. Регенераторы и рекуператоры промышленных печей, котлоагрегатов и газотурбинных установок – конструктивные особенности и характеристики.

15. Котлы-утилизаторы, испарительные и водогрейные пакеты - область применения, конструктивные характеристики, принципы проектирования и эксплуатации.

16. Контактные и контактно-поверхностные теплообменники.

17. Использование скрытой теплоты парообразования с целью повышения КПД установки и извлечения дистиллята.

18. Тепловые трубы и термосифоны и теплообменники на их основе.

19. Парокомпрессорные и адсорбционные тепловые насосы – основные характеристики и области применения.

20. Типовые и нетрадиционные схемы комплексного использования теплоты продуктов сгорания топлива.

21. Объемы ВЭР на КС магистральных газопроводов.

22. Регенеративный нагрев компрессорного воздуха.

23. Высокотемпературный подогрев топливного газа – технологические и теплотехнические преимущества.

24. Теплофикация и горячее водоснабжение на базе теплоты выхлопных газов ГТУ.

25. Использование сбросного газа КС в качестве топливного газа.

26. Промышленные энергосберегающие схемы.

27. Парогазовые установки на КС.

28. Парогазовые циклы – преимущества и технические решения.

29. Технологическое оборудование и техническое обеспечение парогазовых установок.

30. Комплексное использование газа на КС.

31. Парк технологических печей газо- и нефтепереработки; теплотехнические показатели агрегатов, резервы ВЭР.

32. Принципиальные схемы утилизации тепловых ВЭР от трубчатых печей, подогревателей природного газа и нефти.

33. Рекуперативные (замкнутые) и открытые (энергетические) схемы комплексного использования тепла.

34. Вовлечение в топливно-энергетический баланс предприятий сбросных (факельных) газов в качестве котельно-печного топлива.

35. Объемы и степень утилизации попутного нефтяного газа на промыслах.

36. Состав и теплотехнические характеристики попутного газа основных нефтяных месторождений РФ.

37. Существующие методы переработки и сжигания нефтяного газа.

38. Принципиальные схемы комплексного использования нефтяного газа на промысле с выработкой электрической энергии на мобильных парогазовых

электростанциях (ПГЭ).

39. Теплотехнические, экономические и экологические характеристики ПГЭ.

40. «Большие и малые дыхания» резервуаров.

41. Количественные потери углеводородов при хранении нефтепродуктов.

42. Методы сокращения потерь - уменьшение газового объема резервуаров.

43. Методы сокращения потерь - охлаждение нефтепродуктов при хранении; применение газовой обвязки резервуарного парка.

44. Методы сокращения потерь - использование плавающих понтонов;

45. Методы сокращения потерь - хранение нефтепродуктов под избыточным давлением.

46. Утилизация продуктов испарения резервуаров в качестве котельно-печного топлива.

47. Принципиальные схемы и технические характеристики метода.

48. Объемы транспортируемого газа и параметры работы магистральных газопроводов.

49. Газораспределительные станции и пункты (ГРС и ГРП).

50. Системы и эксплуатационные показатели распределительных газопроводов.

51. Устройство и технические характеристики противодавленических газовых турбин (турбодетандеров).

52. Технологические схемы утилизации ВЭР избыточного давления с использованием турбодетандеров для выработки электрической энергии.

53. Комплексные многоступенчатые схемы использования тепла продуктов сгорания углеводородного топлива.

54. Подсчет эффективности комплексных энергосберегающих установок на базе обобщенных характеристик топлива.

55. Определение интегрального экономического эффекта комплексных установок с учетом уменьшения удельного расхода топлива.

56. Определение интегрального экономического эффекта комплексных установок с учетом металлоемкости установок.

57. Определение интегрального экономического эффекта комплексных установок с учетом снижения экологической нагрузки на окружающую среду.

58. Определение интегрального экономического эффекта комплексных установок с учетом улучшения технологических показателей процесса.

Приложение 5

Примеры задач для семинарских занятий

Задача 1. В прямоточном рекуператоре системы утилизации теплоты дымовых газов происходит подогревание воздуха, расход которого 3 кг/с, от температуры 15 ^{0}С до 180 ^{0}С. Греющий теплоноситель - дымовые газы при этом охлаждаются с 450 ^{0}С до 250 ^{0}С. Начальная относительная влажность воздуха

60%. Определить требуемую площадь поверхности теплообмена, если: $\alpha_1 = 60$ Вт/(м^2·К), $\alpha_2 = 20$ Вт/(м^2·К), $\lambda = 50$ Вт/(м·К), $\delta = 2$ мм.

Задача 2. Производительность сушилки по испаренной влаге 0,2 кг/с. Начальное состояние воздуха: температура 25 ^{0}С, относительная влажность 60%. У отработанного воздуха известна его температура – 80 ^{0}С и температура мокрого термометра 42 ^{0}С. Определить массовый расход воздуха на выходе из сушилки и выход этого вида ВЭР.

Задача 3. Жидкостной аккумулятор тепла закрытого типа со встроенным рекуператором имеет корпус массой 700 кг. Удельная теплоемкость материала корпуса 0,5 кДж/(кг·К). В полости аппарата находится 3500 кг воды. Найти площадь поверхности встроенного рекуператора, обеспечивающего разогрев аппарата от начальной температуры 20 ^{0}С до конечной – 90 ^{0}С за 30 минут. Потерями тепла через стенки аппарата пренебречь. Коэффициент теплопередачи в теплообменнике принять равным 900 Вт/(м^2·К). Греющий теплоноситель – отработавший пар давлением – 4 бар и степенью сухости – 0,35 охлаждается в данном теплоутилизационном устройстве до полной конденсации.

Задача 4. Пример расчета и выбора системы обеспечения микроклимата для промышленного помещения с утилизацией теплоты выбросного воздуха.

Исходные данные:

Район строительства - Московская обл. Вместимость - 200 единиц, вес - 500 кг. Здание одноэтажное, безчердачное, с совмещенной кровлей, прямоугольной формы размером в плане 21×78 м^2. С двух сторон здания размещены подсобные помещения и по 2 тамбура с двойными воротами. Количество ворот - 4, размер 3×3 м^2. Окна сплошные, в деревянном переплете. Площадь окон - (1,2×1,2)×109 = 156 м^2.

Площадь покрытия технологического помещения - 21×69 = 1450 м^2, площадь продольных стен за вычетом площади окон - (69×3,3) ×2 - 156 = 300 м^2. Площадь торцевых стен - (21×4,8)2 - 36 = 166 м^2. Площадь двухметровой зоны пола - 280 м^2. Площадь поверхности пола - 279 м^2. Площадь открытой водной поверхности - 3,94 м^2. Расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха:

- расчетная температура холодных суток -40 °С;
- расчетная температура холодной пятидневки -25 °С;
- относительная влажность наружного воздуха 82 %;
- нормируемая температура воздуха в помещении +10 °С;
- нормируемая относительная влажность 75 %;
- максимально допустимая относительная влажность 85 %.

Расчет начинаем с определения требуемых минимальных значений сопротивлений теплопередаче стен и покрытий. В соответствии с формулами 28, 29 [3] имеем:

- для стены

$$R_{ост}^{тр} = \frac{(10-40)}{\alpha_{вст}(10-t_р)};$$

- для покрытий

$$R_{ост}^{тр} = \frac{(10-40)}{\alpha_{в\,пок}\,0{,}8(10-t_р)}.$$

Температуру точки росы ($t_р$) определим по J – α диаграмме.

При $t_в = 10$ °С и $j_в = 75$ %, $t_р = 6{,}0$ °С.

По формулам 33 - 35 [3] определяем значения $\alpha_{вст}$, $\alpha_{в.пок}$

$$\alpha_{вст} = 1{,}66\sqrt[3]{10-6} + 5{,}75\times 0{,}95\times 0{,}94\times 0{,}75\times (1{,}012 - 0{,}22\cdot 0{,}75)\times$$

$$\times 0{,}13\times\frac{200\cdot 0{,}105\sqrt[3]{500^2}}{456}\cdot 0{,}995\cdot\left(\frac{28{,}9-6}{10-6}\right) = 2{,}64 + 7{,}0 = 9{,}64\ Вт/м^2\cdot °С;$$

$$\alpha_{в\,пок} = 2{,}16\sqrt[3]{0{,}8(10-6)} + 5{,}75\cdot 0{,}95\cdot 0{,}63\cdot 0{,}7\cdot 0{,}847\cdot 0{,}37\times$$

$$\times\frac{200\cdot 0{,}105\cdot\sqrt[3]{500^2}}{1450}\cdot 0{,}995\left(\frac{28{,}9-6}{10-6}\right) = 3{,}2 + 3{,}92 = 7{,}12\ Вт/м^2\cdot °С,$$

где: $\varepsilon_{ст} = 0{,}94$ - степень черноты стен из глиняного обыкновенного кирпича;

$\varepsilon_{пок} = 0{,}63$ - степень черноты плиты перекрытия;

$l_р = 0{,}995$ и $t_ж = 28{,}9$ °С - радиационная составляющая при $t_в = 10$ °С;

$k_{погл} = (1{,}012 - 0{,}22 j_в)$, где $j_в$ - в долях единицы;

$j_{ст} = 0{,}13$, $j_{пок} = 0{,}37$ - при ширине здания 21 м.

$f_ж = 0{,}105\sqrt[3]{500^2}$ - для объектов весом 500 кг.

Зная $\alpha_{в.ст}$ и $\alpha_{в.пок}$, определим требуемые минимальные значения $R_{о.ст}^{тр}$ и $R_{о\,пок}^{тр}$

$$R_{о.ст}^{тр} = \frac{10-40}{9{,}64(10-6)} = 1{,}297\ м^2\cdot °С/Вт;$$

$$R_{о\,пок}^{тр} = \frac{10-40}{7{,}12\cdot 0{,}8(10-6)} = 2{,}194\ м^2\cdot °С/Вт.$$

По формуле 27 [3] определяем требуемое термическое сопротивление конструкции стены

$$R_{ст}^{min} = 1{,}297 - \frac{1}{9{,}64} - \frac{1}{23} - 0 = 1{,}15\ м^2\cdot °С/Вт,$$

Где: 0 - указывает на отсутствие фактурного слоя.

Принимаются стены из керамического кирпича по приложению 6, табл. 1 по ГОСТ 7484-69

d = 0,72 м; $R_{ст} = 1{,}29$ м²·°С/Вт, стоимость 34,2 руб./м³.

Требуемое термическое сопротивление утепляющего слоя совмещенного покрытия составит:

$$R_{пок}^{min} = 2{,}194 - \frac{1}{12} - \frac{1}{23} - 0{,}252 = 1{,}759\ м^2\cdot °С/Вт,$$

где: 0,252 м²·°С/Вт - суммарное термическое сопротивление воздушной прослойки рулонного покрытия и плиты перекрытия.

По приложению 6, табл. 1 [3] в качестве утеплителя выбираем полужесткие минераловатные покрытия на битумном связующем со следующими характеристиками: d = 0,1 м; $R_{пок} = 2{,}17$ м²·°С/Вт, стоимость - 43,7 руб./м³.

Фактическое сопротивление теплопередаче конструкций, принимаемых к строительству, будет следующим:

$$R_{ст} = 1{,}29 + \frac{1}{9{,}64} + \frac{1}{23} = 1{,}436\ м^2 \cdot °C/Вт,$$

$$R_{пок} = 2{,}17 + \frac{1}{7{,}12} + \frac{1}{23} = 2{,}353\ м^2 \cdot °C/Вт.$$

Сопротивление теплопередача двойных окон в деревянном переплете:

$R_{ок} = 0{,}34$ м^2·°С/Вт.

Сопротивление теплопередаче ворот:

$R_{в} = 0{,}6 \cdot 1{,}44 = 0{,}864$ м^2·°С/Вт.

Сопротивление теплопередаче двухметровой зоны пола:

$R_{пол} = 2{,}1 + 0{,}7 = 2{,}8$ м^2·°С/Вт,

где: 0,7 м^2·°С/Вт - сопротивление теплопередача утепляющей керамзитовой подсыпки.

Зная все геометрические, теплотехнические и климатические параметры, просчитаем теплопотери через ограждающие конструкции по формуле 2:

$$Q_{огр} = \left(\frac{300}{1{,}436} + \frac{0{,}7 \cdot 166}{1{,}436} + \frac{1450}{2{,}353} + \frac{156}{0{,}34} + \frac{36}{0{,}864} + \frac{280}{2{,}8} \right) \times (10 + 25) = 49585\ Вт.$$

Теплопотери на испарение влаги с открытых водных и смоченных поверхностей пола определяются по формуле (3) [3]:

$Q_{и} = 0{,}68(13 \cdot 279 + 75 \cdot 3{,}44) = 0{,}68 \cdot 3923 = 2670$ Вт,

где: 13 г/ч·м^2 - количество влаги, испаряющейся с 1 м^2 поверхности смоченного пола, определяется по приложению 17, рис. 2 [3];

75 г/ч·м^2 - количество влаги, испаряющейся с поверхности поилок, определяется по приложению 17, рис. 3 [3].

Теплопотери с вентиляционным воздухом определим по формулам (7 - 10 [3]), для чего рассчитаем требуемое количество приточного воздуха и в соответствии с формулой (14) [3] подберем тип и количество утилизаторов.

$$G_{пр} = \frac{200 \cdot 455 + 3920}{5{,}9 - 0{,}33} = \frac{94920}{5{,}57} = 17040\ кг/ч,$$

где: $\omega_{ж} = 455$ г/ч - количество влаги, выделяемое одним животным;

$\alpha_{в} = 5{,}9$ г/кг сухого воздуха - влагосодержание воздуха при $t_{в} = 10$ °С и $j_{в} = 75$ %;

$a_{н} = 0{,}33$ г/кг сухого воздуха - влагосодержание наружного воздуха при температуре -25 °С и j = 82 %.

К установке принимаем утилизаторы на полимерной основе со следующими характеристиками:

$G_{ут} = 3600$ кг/ч, $g_{ут} = 15$ кВт, $N_{уст} = 0{,}74$ кВт.

Требуемое минимальное количество утилизаторов для холодного периода:

$$Z_{ут} = \frac{17040}{3600} = 4{,}73.$$

В связи с тем, что $Z_{ут} = 3600 < 4000$ кг/ч, к установке принимается 5 утилизаторов, тогда фактическое количество приточного воздуха будет равно $G_{вр} = 3600 \cdot 5 = 18000$ кг/ч.

Фактический тепловозврат от утилизаторов определяется по формуле:

$Q_{ут} = 5 \cdot 503(10 + 25) = 88026$ Вт,

где: $\aleph_{ут}$ = 503 Вт/°С определяется по приложению 10 [3].

Теплопотери с приточным воздухом составят:

$Q_в = 0{,}278 \cdot 1 \cdot 18000(10 + 25) - 88025 = 175140 - 88025 = 87115$ Вт,

где: коэффициент инфильтрации $k_{инф}$ принимается равным 1.

Свободные тепловыделения животных составят:

$Q_ж^{св} = 200 \cdot 682 \cdot 1{,}163 = 158633$ Вт.

Определяем потребность в дополнительном количестве теплоты:

$Q_{доп} = 158633 - 49585 - 2670 - 87115 = +19263$ Вт (избыток).

Таким образом, принятое теплоутилизационное оборудование и строительные конструкции здания коровника обеспечивают поддержание нормируемых параметров микроклимата без дополнительного подогрева приточного воздуха.

Подсчитаем затраты на принятую систему обеспечения микроклимата.

В расчет приведенных затрат вводятся только те переменные, которые могут повлиять на величину капитальных и эксплуатационных затрат при изменении материала конструкций, повышении их теплофизических показателей, установке другого типа теплоутилизационного и вентиляционного оборудования.

Капитальные затраты на ограждающие конструкции определяются по выражениям (18) и (24) [3].

$K_{ск} = F_{ст} \cdot d_{ст} \cdot b_{ст} + F_{пок} \cdot d_{пок} \cdot b_{пок} + F_{ок} \cdot b_{ок} + F_в b_в = 300 \cdot 34{,}2 \cdot 0{,}72 + 1450 \cdot 43{,}7 \cdot 0{,}1 + 156 \cdot 17{,}3 + 36 \cdot 12 = 7387 + 6336 + 2699 + 432 = 16854$ руб.

Эксплуатационные расходы на строительные конструкции определяются по формуле (25) [3];

$C_{ск} = 0{,}09 \cdot 7387 + 0{,}06 \cdot 6336 + 0{,}09 \cdot 2699 + 0{,}09 \cdot 432 = 665 + 380 + 240 + 39 = 1324$ руб.

Капитальные затраты на систему вентиляции с утилизацией тепла выбросного воздуха определятся по выражению (39) [3]. Причем, в связи с тем, что дополнительного тепла для подогрева вентиляционного воздуха не требуется, затраты на дополнительное тепло будут равны 0.

До того, как определить затраты на теплоутилизационную систему, необходимо уточнить, до какой температуры $t_н$ наружного воздуха можно использовать вентиляционное оборудование теплоутилизаторов, т.е. до какой $t_н$ будет достаточен расчетный воздухообмен $G_{вр}$ = 18000 кг/ч. При этом температура внутреннего воздуха может повышаться до 15 °С, а влажность может колебаться в пределах ±5 %, т.е. $j_в \le 75\ \% \pm 5\ \%$.

Так, при $t_н$ = 10 °С и $j_н$ = 80 % $\alpha_н$ = 1,4 г/кг;

$t_н$ = -5 °С, $j_н$ = 80 %, $\alpha_н$ = 2,00 г/кг;

$t_н$ = 0 °С, $j_н$ = 80 %, $\alpha_н$ = 3,15 г/кг;

$t_н$ = 16 °С, $j_н$ = 75 %, $\alpha_н$ = 8,15 г/кг.

Тогда требуемый воздухообмен составит:

При

$$G_{вр(-10)} = \frac{94920 \cdot 424}{8{,}15 - 1{,}4} = 17430 \text{ кг/ч};$$

$$G_{вр(-5)} = \frac{94920 \cdot 1,24}{8,15 - 1,4} = 19140 \text{ кг/ч};$$

$$G_{вр(0)} = \frac{94920 \cdot 1,24}{8,15 - 3,15} = 23540 \text{ кг/ч},$$

где: 1,24 - коэффициент увеличения влагопоступлений при $t_в$ = 15 °С.

Увеличение влагосодержания при $G_{вр}$ = 18000 кг/ч составит:

$$\alpha_{в(-5)} = \frac{94920 \cdot 1,24}{18000} + 2 = 8,54 \text{ г/кг};$$

$$\alpha_{в(0)} = \frac{94920 \cdot 1,24}{18000} + 3,15 = 9,7 \text{ г/кг},$$

т.е. при $t_н$ = -5 °С и $G_{тр}$ = 18000 кг/ч относительная влажность в помещении повысится до 78 % при $t_в$ = 15 °С, что допустимо; при $t_н$ = 0 °С и $G_{тр}$ = 18000 кг/ч относительная влажность в помещении повысится до 88 %, что недопустимо.

Таким образом, для достижения требуемых температурно-влажностных условий во всем диапазоне наружных температур холодного периода (от -25 до 0 °С) необходимо добавить еще один теплоутилизатор, тогда расчетный воздухообмен будет 21600 кг/ч, при этом $t_в$ = 15 °С и $j_в$ = 78 %.

Капитальные затраты на вентиляционную систему с утилизацией тепла выбросного воздуха определяются по приложению 10 [3] и составят:

$K_{тв} = l_{ут} \cdot g_{ут} \cdot Z_{ут}$ = 0,0545·17600·6 = 5760 руб.

Эксплуатационные затраты в соответствии с выражениями 40, 45 [3] составят:

$C_{тс} = \alpha_{ут} \cdot K_{тв} + Э$ = 0,12·5760 + (0,74·6)·0,8·4320·0,01 = 691,2 + 154 = 845 руб.,

где: 0,74 - используемая установленная мощность электродвигателей вентиляторов, кВт; 4320 - период работы вентиляторов; 0,8 - коэффициент загрузки электродвигателей вентиляторов.

По формуле 16 [3] определим приведенные затраты на принятую систему обеспечения микроклимата:

$П_с$ = 0,15(16854 + 5700) + (1324 + 845) = 3392 + 2169 = 6561 руб.

Аналогично проведенному расчету просчитываются варианты системы обеспечения микроклимата с другими типами теплоутилизаторов. Оптимальное решение определяется по минимуму приведенных затрат. При необходимости дополнительного подогрева оптимальное решение следует определять с учетом вариантных расчетов по системе теплоснабжения и различной степени утепления зданий.