

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФИО: Максимов Алексей Борисович

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Должность: директор департамента по образовательной политике

Дата подписания: 02.09.2023 16:18:14

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Уникальный программный ключ:

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

**УТВЕРЖДЕНО**

Декан Факультета урбанистики и  
городского хозяйства

К.И. Лушин

2022г.

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок»**

Направление подготовки

**13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника**

Профиль подготовки

**Распределенная тепловая энергетика**

Квалификация (степень) выпускника

**Магистр**

Форма обучения

**Очная и заочная**

Москва

2022

## 1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» следует отнести:

- формирование знаний о современных принципах, методах и средствах проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок;

- изучение способов повышения эффективности эксплуатации теплоэнергетических установок, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать и решать задачи проектирования тепловых энергоустановок;

- подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой магистра по направлению, в том числе формирование умений по выявлению необходимых усовершенствований и разработке новых, более эффективных методов проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» следует отнести:

- выработать навыки у студентов самостоятельно формулировать задачи проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок;

- научить мыслить системно на примерах решать задачи проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок с учетом технологических и экономических факторов;

- научить анализировать существующие принципы и методы проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок, разрабатывать и внедрять необходимые изменения с позиций повышения эффективности;

- дать информацию о новых направлениях и методах проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать их преимущества и недостатки;

- научить анализировать результаты моделирования проектных и рабочих ситуаций, производить поиск оптимизационного решения с помощью всевозможных методов.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП магистратуры

Дисциплина «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» относится к числу профессиональных учебных дисциплин вариативной части базового цикла основной образовательной программы магистратуры.

«Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

- Управление технологическими процессами в теплоэнергетике и теплотехнике;
- Современные проблемы теплоэнергетики, теплотехники и теплотехнологий;
- Перспективные направления и энергосбережение в теплотехнологиях;
- Проектирование и эксплуатация высокотемпературных теплотехнологических установок;
- Проектирование и эксплуатация систем отопления и вентиляции;
- Проектирование и эксплуатация источников и систем теплоснабжения;
- Использование вторичных энергоресурсов в промышленности.

### **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:

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>	<b>Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине</b>
ПК-1	Способность к разработке концепций и проведению теплотехнических расчетов объектов профессиональной деятельности	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Основные методы модернизации технологического оборудования</li> </ul> <b>уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования и систем;</li> <li>• Выполнять проектные расчеты</li> </ul> <b>владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методами улучшения эксплуатационных характеристик энергетического оборудования и систем, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов</li> </ul>
ПК-3	способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования	<b>знать:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методы обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования</li> </ul>

		<p><b>уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов;</li> </ul> <p><b>владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методами эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования</li> </ul>
--	--	---

#### 4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **4** зачетные единицы, т.е. **144** академических часа (из них для очной 104 часа – самостоятельная работа студентов и для заочной 108 часов).

##### **Третий семестр:**

**для очной формы:** аудиторных занятий – 40 часов, форма контроля – экзамен;

**для заочной формы:** аудиторных занятий – 36 часов, форма контроля – экзамен.

Структура и содержание дисциплины «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

##### **Содержание разделов дисциплины**

##### **Третий семестр**

##### **Тема 1. Введение**

Предмет, задачи и содержание дисциплины. Роль теплоэнергетических установок в развитии экономики. Классификация основных типов теплоэнергетических установок. Тепловое потребление. Основные термины и определения.

##### **Тема 2. Теплоносители**

Классификация и свойства теплоносителей. Многокомпонентные теплоносители.

##### **Тема 3. Основы проектирования тепломассообменных установок**

Проектное задание. Технический проект установки. Макетное проектирование. Основы моделирования и оптимизации тепломассообменных установок. Математические методы при проектировании тепломассообменных установок.

##### **Тема 4. Конструкционные материалы энергетических установок**

Требования к материалам энергоустановок. Неметаллические материалы для энергетического аппаратостроения.

##### **Тема 5. Конструирование энергетических установок**

Основы конструирования энергоустановок. Расчет на прочность элементов энергоустановок. Конструирование и расчет тонкостенных аппаратов. Сборка и сварка узлов энергоустановок. Испытания аппаратов.

#### **Тема 6. Монтаж и эксплуатация энергетических установок**

Организация монтажных работ. Испытания энергоустановок. Эксплуатация энергоустановок. Система планово-предупредительных ремонтов. Виды ремонта.

#### **Тема 7. Рекуперативные аппараты и установки**

Рекуперативные теплообменные аппараты. Конструктивный и поверочный методы расчета теплообменных аппаратов. Методы теплотехнического расчета теплоэнергетических установок. Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках. Электронагревательные энергетические установки.

#### **Тема 8. Выпарные аппараты и установки**

Многоступенчатые выпарные установки. Переходные режимы и динамические характеристики многоступенчатых выпарных установок. Типовые конструкции выпарных аппаратов. Оптимизация выпарных установок и технико-экономические показатели ее работы.

#### **Тема 9. Энергетические установки контактного типа**

Теплообменники контактного типа, выбор конструкции. Расчет полезного объема насадочного контактного теплообменника. Математическое моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в контактных аппаратах. Аппараты с погружными горелками.

#### **Тема 10. Сушильные установки**

Классификация сушимых материалов, сушильных установок и сушильных агентов. Выбор и обоснование оптимального способа и режимов сушки. Сушка жидкотекучих материалов. Расчет сушильных установок. Сушка жидких и пастообразных материалов.

#### **Тема 11. Ректификационные установки**

Расчет ректификационных колонн непрерывного действия. Ректификационные установки периодического действия. Тепловой баланс ректификационных установок. Математические модели ректификационных колонн. Гидродинамика и гидравлическое сопротивление барботажных колонн. Оптимизация ректификационных установок.

#### **Тема 12. Энергетические установки с подвижной границей раздела фаз**

Процессы теплообмена при химических превращениях. Абсорбционные установки.

## 5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» и реализация компетентного 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:

- мозговой штурм при решении задач;
- обсуждение пройденных тем;
- подготовка к выполнению практических работ в аудиториях вуза и на мощностях предприятий-партнеров;
- организация и проведение текущего контроля знаний студентов в форме бланкового тестирования;
- проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам современного проектирования и 3D-моделирования теплоэнергетических установок, а также эффективных методов эксплуатации промышленных теплоэнергетических установок.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «**Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок**».

Проведение занятий предусматривается также на сайте <http://online.mospolytech.ru> на основе разработанных кафедрой «Промышленная теплоэнергетика» электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем темам дисциплины:

Дисциплина	Ссылка
Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок	<a href="https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=7398">https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=7398</a>

Разработанные ЭОР включают промежуточные и итоговые тесты.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

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

### В третьем семестре:

- подготовка и выступление на семинарском занятии с презентацией и обсуждением на тему «Современные методы проектирования и эксплуатации

теплоэнергетических установок» (индивидуально для каждого обучающегося);

- решение ситуационных задач, анализ принятых проектных решений;
- тестирование.

Практические занятия посвящены выполнению расчетов по проектированию промышленных теплоэнергетических установок в объеме, предусматривающем реализацию теоретических и практических навыков, обучающихся по направлению.

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

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**

<b>Код компетенции</b>	<b>В результате освоения образовательной программы обучающийся должен обладать</b>
ПК-1	Способность к разработке концепций и проведению теплотехнических расчетов объектов профессиональной деятельности
ПК-3	способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования

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).

<b>ПК-1 - Способность к разработке концепций и проведению теплотехнических расчетов объектов профессиональной деятельности</b>				
<b>Показатель</b>	<b>Критерии оценивания</b>			
	<b>Оценка «неудовлетворительно» или отсутствие сформированности компетенции</b>	<b>Оценка «удовлетворительно» или низкой уровень освоения компетенции</b>	<b>Оценка «хорошо» или повышенный уровень освоения компетенции</b>	<b>Оценка «отлично» или высокий уровень освоения компетенции</b>
<b>знать:</b> Основные методы модернизации и технологического оборудования	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: Основные методы модернизации технологического оборудования	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: Основные методы модернизации технологического оборудования. 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 модернизации технологического оборудования, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: Основные методы модернизации технологического оборудования, свободно оперирует приобретенными знаниями.
<b>уметь:</b> Формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования и систем, выполнять проектные расчеты	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования и систем, выполнять проектные расчеты	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования и систем, выполнять проектные расчеты. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений: формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования и систем, выполнять проектные расчеты. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности,	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования и систем, выполнять проектные расчеты. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в



		умениями при их переносе на новые ситуации.	затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	ситуациях повышенной сложности.
<b>владеть:</b> Методами улучшения эксплуатационных характеристик энергетического оборудования и систем, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами улучшения эксплуатационных характеристик энергетического оборудования и систем, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов	Обучающийся владеет методами улучшения эксплуатационных характеристик энергетического оборудования и систем, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийся частично владеет методами улучшения эксплуатационных характеристик энергетического оборудования и систем, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методами улучшения эксплуатационных характеристик энергетического оборудования и систем, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

**ПК-3 - способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования**

<b>знать:</b> Методы обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает затруднения при	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, но допускаются незначительные ошибки, неточности,	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, свободно оперирует приобретенными знаниями.
---	---	--	--	---

		оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	затруднения при аналитических операциях.	
<b>уметь:</b> Обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов. 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: обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов. Умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
<b>владеть:</b> методами эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования	Обучающийся владеет методами эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при	Обучающийся частично владеет методами эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических	Обучающийся в полном объеме владеет методами эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

		применении навыков в новых ситуациях.	операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	
--	--	---------------------------------------	--	--

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

**Форма промежуточной аттестации: экзамен.**

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

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем лабораторных работ, выступили с докладом на семинарском занятии)

Шкала оценивания	Описание
Отлично	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.
Хорошо	Студент показывает достаточный уровень теоретических и практических знаний, свободно оперирует категориальным аппаратом. Умеет анализировать практические ситуации, но допускает некоторые погрешности. Ответ построен логично, материал излагается грамотно.
Удовлетворительно	Студент показывает знание основного лекционного и практического материала. В ответе не всегда присутствует логика изложения. Студент испытывает затруднения при приведении практических примеров.

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

2. 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.

3. 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.

4. ГОСТ 26691-85 «Теплоэнергетика. Термины и определения».

5. ГОСТ 19431-84 «Энергетика и электрификация. Термины и определения».

6. А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов, С.Н. Смородин. Теплообменное оборудование предприятий. Учебное пособие. – СПб. 2016.

7. СНиП 11-01-95. Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и составе проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений. – М.: ГОССТРОЙ РОССИИ, 1999.

8. СП 11-101-95. Порядок разработки, согласования, утверждения и состав обоснования инвестиций в строительство предприятий, зданий и сооружений. – М.: ГОССТРОЙ РОССИИ, 1999.

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

### **б) дополнительная литература:**

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

2. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях [Электронный ресурс] / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – Электрон. дан. – Москва: Машиностроение, 2011. – 374 с.
3. Акулич, П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Минск: , 2010. – 443 с.
4. Бакластов А. М. и др. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепло-массообменных установок: Учеб. пособие для вузов / А.М. Бакластов, В.А. Горбенко, П.Г. Удыма; Под ред. А.М. Бакластова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 336 с.
5. Пакшин А.В., Блинов Е.А. Основы инженерного проектирования теплоэнергетических систем: Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 142 с.
6. Болдин В.П. Тепломассообменное оборудование предприятий: учеб. пособие / В.П. Болдин, В.В. Сухов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т – Н. Новгород: ННГАСУ, 2018. – 113 с.
7. Ларкин Д. К. Тепломассообменное оборудование предприятий: учебное пособие для вузов / Д.К. Ларкин. – 2-е изд. – Москва: Издательство Юрайт, 2020. – 246 с.
8. Кудря С.О., Головкин В.М. Основы конструирования энергоустановок с возобновляемыми источниками энергии. 2009.
9. Гузель Огер. Конструирование узлов энергоустановок: Лабораторный практикум по дисциплине «Основы конструирования и детали машин» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. – Уфа, 2007. – 40 с.
10. Приказ Минэнерго России «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок» от 24 марта 2003 года № 115.
11. Паскарь Б.Л. Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем. Письменные лекции. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 36 с.
12. «Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок в вопросах и ответах: Пособие для изучения и подготовки к проверке знаний / Авт. – сост. В. В. Красник»: Издательство НЦ ЭНАС; Москва; 2012.
13. Поспелов А.А., Ледуховский Г.В., Михеев П.Г. Режимы работы и эксплуатация паротурбинных установок ТЭС: Учеб. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016. – 376 с.
14. ГОСТ 31842-2012 (ИСО 16812:2007) Нефтяная и газовая промышленность. Теплообменники кожухотрубчатые. Технические требования.
15. Таранова, Л.В. Теплообменные аппараты и методы их расчета: учебное пособие / Л.В. Таранова. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2009. – 152 с.
16. Портнов В.В. Выпаривание: учеб. пособие / В.В. Портнов. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. 105 с.
17. Портнов В.В. Многоступенчатые выпарные установки: учеб. пособие / В.В. Портнов. В.В. Майоров. Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. 173 с.

18. Заврин В.Г. Тепломассообменное оборудование предприятий. Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. – Томск, 2004. – 163 с.

19. Сарилов, М.Ю. Машины и аппараты массообменных процессов: учеб. пособие / М.Ю. Сарилов, П.М. Тягушев. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. – 52 с.

20. Лакомкин В.Ю., Смородин С.Н., Громова Е.Н. Тепломассообменное оборудование предприятий (Сушильные установки): учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2016. – 142 с.

21. Теоретические основы сушки: методическое пособие для студентов специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика» / В.А. Сычевский. – Минск: БНТУ, 2017. – 43 с.

22. Губарева В.В. Расчет и проектирование конвективных сушильных установок: учеб. пособие: /В.В. Губарева. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 118 с.

23. Лаптев А.Г., Конахин А.М., Минеев Н.Г. Теоретические основы и расчет аппаратов разделения гомогенных смесей: Учеб. пособие. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2007. – 426 с.

24. Ю.Я. Печенегов, Р.И. Кузьмина. Курсовое проектирование по процессам и аппаратам химической технологии. Теплообменные аппараты и ректификационные установки: Учеб. пособие / Ю.Я. Печенегов, Р.И. Кузьмина: Саратов. гос. ун-т им. Н.Г. Чернышевского. Саратов, 2010. – 110 с.

25. Ларионова Н.И. Автоматизация процессов абсорбции и адсорбции: учебное пособие / Н.И. Ларионова, В.В. Елизаров. – Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2013. – 53 с.

#### **в) программное обеспечение и интернет-ресурсы:**

Программное обеспечение не предусмотрено.

Интернет-ресурсы включают учебно-методические материалы в электронном виде, представленные на сайте (<http://lib.mami.ru/ebooks/> в разделе «Библиотека»).

Полезные учебно-методические и информационные материалы представлены на сайтах:

[http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_nr=50&p\\_rubr=2.2.75.27.7&p\\_page=3](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_nr=50&p_rubr=2.2.75.27.7&p_page=3)

<http://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-laboratornoy-ustanovki-po-spetsialnosti-promyshlennaya-teploenergetika>

### **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.), экспериментальная котельная на базе ОАО ВТИ (на основании Договора о сотрудничестве) с системой КИП и автоматики.

## **9. Методические рекомендации для самостоятельной работы студентов**

1. Корнеев С.Д. Методические указания по организации самостоятельной работы по дисциплине «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок». Направление подготовки: 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Распределенная тепловая энергетика» – 15 с.

## **10. Методические рекомендации для преподавателя**

Преподавание дисциплины «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок» имеет своей целью ознакомить студентов с достижениями в области проектирования и эксплуатации теплоэнергетических установок, добиться усвоения ими эффективных методов проектирования, моделирования и эксплуатации энергооборудования и энергосистем, порядка их применения, привить им практические навыки использования этих знаний к конкретным производственным ситуациям.

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 магистров.

*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) магистров по материалам лекций и практических работ. Подборка вопросов для тестирования осуществляется на основе изученного теоретического материала. Такой подход позволяет повысить мотивацию магистров при конспектировании лекционного материала.

Для освоения навыков поисковой и исследовательской деятельности магистр 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 магистров и конкретной темы.

*Самостоятельная работа* магистров 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 магистрами разных по форме и содержанию работ и заданий, связанных с практическим освоением содержания дисциплины. Магистры 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 магистров также осуществляется через проведение ряда промежуточных тестирований. Итоговая аттестация по дисциплине предполагает устный зачет или экзамен, на которых проверяется усвоение материала, усвоение базовых понятий дисциплины.



Программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и профилю «Распределенная тепловая энергетика».

Автор

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

С.Д. Корнеев

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 26 мая 2022 г. № 11.

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика»

к.т.н., доцент

Л.А. Марюшин

Руководитель ООП

В.С. Тимохин

**Структура и содержание дисциплины «Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок»  
по направлению подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика 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
	Третий семестр													
Тема 1	<b>Лекция. Введение</b> Выдача задания на реферат	3	1	1			4					+		
Тема 2	<b>Лекция. Теплоносители</b>	3		1			8							
Тема 3	<b>Лекция. Основы проектирования теплообменных установок</b>	3		2			10							
Тема 4	<b>Лекция. Конструкционные материалы энергетических установок</b>	3	2	1			10							
Тема 5	<b>Лекция. Конструирование энергетических установок</b>	3		1			10							
Тема 6	<b>Лекция. Монтаж и эксплуатация энергетических установок</b>	3		2			10							
Тема 7	<b>Лекция. Рекуперативные аппараты и установки</b>	3	3	2			10							
Тема 8	<b>Лекция. Выпарные аппараты и установки</b>	3		2			10							
Тема 9	<b>Лекция. Энергетические установки контактного типа</b>	3	4	2			8							
Тема 10	<b>Лекция. Сушильные установки</b>	3		2			8							
Тема 11	<b>Лекция. Ректификационные установки</b>	3	5-9	2			8							
	Практические занятия. Расчет тарельчатой ректификационной колонны с ситчатыми тарелками.	3			18							+		
Тема 12	<b>Лекция. Энергетические установки с подвижной границей раздела фаз</b>	3	10	2			8							
	Семинарское занятие. Защита контрольной работы.					2						+		
	Форма аттестации	3	11										Э	
	Всего часов по дисциплине в четвертом семестре													

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

Направление подготовки: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника  
ОП (профиль): «Распределенная тепловая энергетика»  
Форма обучения: Очная, заочная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
**ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок»**

Москва  
2022

# 1. Паспорт фонда оценочных средств

Проектирование и эксплуатация теплоэнергетических установок					
ФГОС ВО 13.04.01 Теплотехника и теплоэнергетика					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технология формирования	Форма оценочного средства	Степени уровней освоения компетенций
ИНДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				
ПК-1	Способность к разработке концепций и проведению теплотехнических расчетов объектов профессиональной деятельности	<p>Знать: основные методы монтажа и модернизации технологического оборудования</p> <p>Уметь: формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования и систем, выполнять проектные расчеты</p> <p>Владеть: методами улучшения эксплуатационных характеристик энергетического оборудования и систем, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов</p>	Лекция, семинарские занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	<p>Базовый уровень: способен формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов.</p> <p>Повышенный уровень: способен формулировать задания на разработку нестандартных проектных решений, связанных с модернизацией технологического оборудования в сложных условиях, мероприятиями по улучшению эксплуатационных характеристик, повышению экологической безопасности, экономии ресурсов в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом</p>
ПК-3	способность к организации работ по эксплуатации тепломеханического оборудования	<p>Знать: правила обеспечения бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов</p> <p>Уметь: обеспечивать соблюдение бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов</p> <p>Владеть: способами бесперебойной работы, правильной эксплуатации, ремонта и модернизации энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, средств автоматизации и защиты.</p>	Лекция, семинарские занятия, решение ситуационных задач, СРС	Экзамен, тестирование, решение ситуационных задач	<p>Базовый уровень: способен обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов в стандартных производственных ситуациях</p> <p>Повышенный уровень: способен обеспечивать бесперебойную работу, правильную эксплуатацию, ремонт и модернизацию энергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования, средств автоматизации и защиты, электрических и тепловых сетей, воздухопроводов и газопроводов в нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом</p>

## 2. Перечень практических работ по дисциплине

1. Расчет тарельчатой ректификационной колонны с ситчатыми тарелками (рассчитано на 20 часов).  
ИЛИ
1. Методы расчета теплоэнергетических установок.
2. Расчет параметров теплоносителей для утилизационных установок.
3. Макетное проектирование энергообъекта на примере тепломассообменной промышленной установки.
4. Применение методов интенсификации теплообмена в промышленных энергетических установках.
5. Проектирование и оптимизация многоступенчатых выпарных установок.
6. Проектирование и расчет контактных теплообменных аппаратов. Моделирование процессов переноса.
7. Проектирование и расчет параметров сушильных установок, определение параметров энергоэффективности.
8. Задачи оптимизации параметров ректификационных установок, моделирование гидродинамики процессов.
9. Проектирование и расчет химических реакторов. Моделирование технологических процессов.
10. Моделирование параметров конструкционных материалов. Расчет теплофизических параметров с помощью модели релаксации.
11. Моделирование процессов в энергоустановках с учетом прочности. Надежность, деформационная нагрузка.
12. Методики испытаний энергоустановок. Анализ результатов тепловых и гидравлических испытаний.

### 3. Вопросы для самопроверки

1. Нормативная база инженерного проектирования.
2. ГОСТ, СНиП, ведомственная нормативная документация, территориальная нормативная документация. ЕСКД, ЕСПД.
3. Условные графические изображения типовых элементов и узлов теплоэнергетического оборудования.
4. Инженерное проектирование. Проект. Этапы инженерного проектирования.
5. Техническое задание, научно-исследовательская работа, эскизный проект, технический проект, рабочий проект, технология изготовления и испытания опытного образца.
6. Системы автоматизированного проектирования.
7. САПР в инженерном проектировании.
8. Автоматизированная система научных исследований (АСНИ) .
2. Автоматизация этапов проектирования.
3. Группы САПР: САД, САЕ, САМ.
4. Классы САПР: тяжелые, средние, легкие.
5. Классификация систем автоматизированного проектирования. Классификация по назначению, уровню автоматизации, сложности, комплексности.
6. Перечень СНиП используемый при инженерном проектировании теплоэнергетических установок.
7. Принципы математического моделирования теплоэнергетических установок и процессов.
8. Структурные и функциональные математические модели.
9. Разработка графической и табличной документации на теплоэнергетическое оборудование и тепловые схемы с применением прикладных программ Microsoft Word и Microsoft Excel.
10. Подбор исходной информации для создания базы данных и выполнения графической документации.
11. Изучение блочной системы построения в графическом редакторе AutoCAD. Использование стандартных библиотек типовых изделий.
12. Математическое обеспечение САПР.
13. Техническое обеспечение САПР.
14. Программное обеспечение САПР.
15. Информационное обеспечение САПР.
16. Лингвистическое обеспечение САПР;
17. Методическое обеспечение САПР.
18. Организационное обеспечение САПР.

#### 4. Темы рефератов

1. Классификация основных типов теплоэнергетических установок.
2. Тепловое потребление.
3. Классификация и свойства теплоносителей.
4. Многокомпонентные теплоносители.
5. Проектное задание. Технический проект установки.
6. Макетное проектирование.
7. Основы моделирования и оптимизации тепломассообменных установок.
8. Математические методы при проектировании тепломассообменных установок.
9. Рекуперативные теплообменные аппараты.
10. Конструктивный и поверочный методы расчета теплообменных аппаратов.
11. Методы интенсификации теплообмена в энергетических установках.
12. Электронагревательные энергетические установки.
13. Многоступенчатые выпарные установки.
14. Переходные режимы и динамические характеристики многоступенчатых выпарных установок.
15. Типовые конструкции выпарных аппаратов.
16. Оптимизация выпарных установок и технико-экономические показатели ее работы.
17. Теплообменники контактного типа, выбор конструкции.
18. Математическое моделирование процессов гидродинамики и теплообмена в контактных аппаратах.
19. Аппараты с погружными горелками.
20. Классификация сушимых материалов, сушильных установок и сушильных агентов.
21. Выбор и обоснование оптимального способа и режимов сушки.
22. Сушка жидкотекучих материалов.
23. Сушка жидких и пастообразных материалов.
24. Ректификационные установки периодического действия.
25. Тепловой баланс ректификационных установок.
26. Гидродинамика и гидравлическое сопротивление барботажных колонн.
27. Оптимизация ректификационных установок.
28. Процессы теплообмена при химических превращениях. Абсорбционные установки.
29. Требования к материалам энергоустановок.
30. Неметаллические материалы для энергетического аппаратостроения.
31. Основы конструирования энергоустановок.

32. Сборка и сварка узлов энергоустановок.
33. Испытания теплообменных аппаратов.
34. Монтаж и эксплуатация энергетических установок.
35. Организация монтажных работ на теплоэнергетических установках.
36. Испытания энергоустановок.
37. Эксплуатация энергоустановок.
38. Система планово-предупредительных ремонтов.
39. Виды ремонта энергоустановок, планирование и потребность в ремонте.



## 5. Примеры задач для семинарских занятий

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

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

**Задача 3.** В топке котельного агрегата паропроизводительностью  $D = 5,6 \text{ кг/с}$  сжигается уголь с низшей теплотой сгорания  $Q_{\text{н}}^{\text{p}} = 13997 \text{ кДж}/\text{кг}$ . Определить экономию топлива в процентах, получаемую за счет предварительного подогрева конденсата в регенеративных подогревателях, если известны температура топлива на входе в топку  $t_{\text{T}} = 20^\circ\text{C}$ , удельная теплоемкость топлива  $c_{\text{T}} = 2,1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{K})$ , КПД котлоагрегата  $\eta_{\text{ка}}^{\text{бр}} = 91,5 \%$ , давление перегретого пара  $p_{\text{мп}} = 4,0 \text{ МПа}$ , температура перегретого пара  $t_{\text{мп}} = 430 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура конденсата  $t_{\text{к}} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура питательной воды после регенеративных подогревателей  $t_{\text{пв}} = 130 \text{ }^\circ\text{C}$  и величина непрерывной продувки  $p = 3\%$ .

**Задача 4.** Определить количество теплоты, отдаваемое уходящими газами котельной завода водяному экономайзеру (утилизатору), для получения горячей воды, если температура газов на выходе из экономайзера  $t_{\text{вых}}^{\text{г}} = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура газов на входе в экономайзер  $t_{\text{вх}}^{\text{г}} = 320 \text{ }^\circ\text{C}$ , коэффициент избытка воздуха за экономайзером  $\alpha_{\text{эк}} = 1,4$ , средняя объемная теплоемкость газов  $C_{\text{гр}}^1 = 1,415 \text{ кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{K})$  и расчетный расход топлива одного котла  $V_{\text{p}} = 0,25 \text{ кг/с}$ . В котельной установлены два одинаковых котла ( $p = 2$ ),

работающих на донецком каменном угле марки D состава:  $C^P=49,3\%$ ;  $H^P=3,6\%$ ;  $S^P=3\%$ ;  $N^P=1\%$ ;  $O^P=8,3\%$ ;  $A^P=21,8\%$ ;  $W^P=13\%$ .

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

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

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

## 6. Примеры тестовых заданий

1. Теплосиловая установка – это
  - a) устройство для прямого преобразования тепла в электрическую энергию с использованием термоэлектрических явлений
  - b) установка, предназначенная для преобразования энергии пара в механическую, включающая паровую турбину и вспомогательное оборудование
  - c) устройство для производства тепла с использованием обратного термодинамического цикла
  - d) установка, предназначенная для преобразования тепла в механическую или электрическую энергию с использованием прямого термодинамического цикла
  
2. Масса, приходящаяся на единицу объёма вещества это –
  - a) плотность
  - b) вязкость
  - c) теплоемкость
  - d) теплота фазового перехода
  
3. К высокотемпературным теплоносителям относят
  - a) дымовые или топочные газы
  - b) капельные жидкости
  - c) холодильные агенты
  - d) водяной пар
  - e) воду
  - f) воздух
  
4. Для магистралей, по которым будет транспортироваться вода и другие замерзающие при отрицательных температурах жидкости, предусматривается возможность
  - a) быстрого слива в случае неполадок
  - b) быстрого подогрева
  - c) медленного слива в случае неполадок
  - d) медленного подогрева
  
5. При проектировании и конструировании теплообменного оборудования следует учитывать, что температура оказывает существенное влияние на ... свойства материалов, из которых изготовлены установки
  - a) механические
  - b) химические
  - c) биологические
  - d) экологические

6. Перед приемкой в эксплуатацию тепловых энергоустановок проводятся

- a) приемосдаточные испытания оборудования и пусконаладочные работы отдельных элементов тепловых энергоустановок и системы в целом
- b) пусконаладочные работы отдельных элементов тепловых энергоустановок и системы в целом
- c) приемосдаточные испытания оборудования отдельных элементов тепловых энергоустановок и системы в целом
- d) приемосдаточные испытания оборудования и пусконаладочные работы только отдельных элементов тепловых энергоустановок

7. Теплообменники поверхностного типа – аппараты, в которых

- a) обмен тепловой энергией между средами осуществляется путём непосредственного их контакта
- b) обмен тепловой энергией между средами осуществляется путём подогрева сред
- c) два и более потока с носителями тепловой энергии разделены перегородками, то есть, смешивание теплоносителей не происходит
- d) два потока с носителями тепловой энергии разделены перегородками, то есть, смешивание теплоносителей не происходит

8. Конструктивные особенности выпаривателей с естественной циркуляцией является

- a) равенство суммарной площади сечения трубок для кипячения раствора и площади сечения трубы для пара
- b) не равенности суммарной площади сечения трубок для кипячения раствора и площади сечения трубы для пара (первая площадь больше)
- c) не равенство суммарной площади сечения трубок для кипячения раствора и площади сечения трубы для пара (вторая площадь больше)

9. В теплообменном оборудовании смесительного типа конденсация пара из газовой фазы осуществляется

- a) посредством осушения и охлаждения газообразного вещества и нагревание жидкости
- b) путём охлаждения газа и нагревания жидкости, либо наоборот
- c) путём охлаждения газа и нагревания жидкости
- d) путём нагревания газа и охлаждения жидкости

10. Капиллярно-пористые материалы при насыщении водой или обезвоживании ... меняют свой изначальный объём

- a) практически не
- b) очень сильно

11. Ректификационные колонны в первую очередь делятся на ... и ....

- a) неравномерные и равномерные
- b) периодические и непрерывные
- c) прямоточные и противоточные
- d) первичные и вторичные

12. Для расчёта абсорбционных установок, которые применяются в современной промышленности, за основу берутся две ключевые характеристики

- a) удельная поверхность и порозность насадки
- b) удельная поверхность жидкости и порозность насадки
- c) удельный объём жидкости и порозность насадки
- d) удельная поверхность и объём жидкости