Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 31.08.2023 16:47:49
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

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

УТВЕРЖДЕНО
Декан Факультета урбанистики и городского хозяйства
Марюшин Л.А.
«30» апреля 2021г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Холодильные и теплонасосные установки»

Направление подготовки
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки
Энергообеспечение предприятий

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Заочная

Москва
2021

1. Цели освоения дисциплины

К **основным целям** освоения дисциплины «Холодильные и теплонасосные установки» следует отнести:

– формирование знаний о современных принципах, методах и средствах проектирования и конструирования холодильных и теплонасосных установок, испытаний и контроля их теплотехнологических параметров;

– изучение способов повышения эффективности эксплуатации, проектирования и конструирования холодильных и теплонасосных установок, выработка навыков у студентов самостоятельно формулировать и решать задачи проектирования и конструирования теплоиспользующих установок.

– подготовка студентов к деятельности в соответствии с квалификационной характеристикой бакалавра по направлению, в том числе формирование умений по выявлению необходимых усовершенствований и разработке новых, более эффективных методов проектирования и конструирования холодильных и теплонасосных установок.

К **основным задачам** освоения дисциплины «Холодильные и теплонасосные установки» следует отнести:

– выработать навыки у студентов самостоятельно формулировать задачи проектирования и расчета холодильных и теплонасосных установок;

– научить мыслить системно на примерах повышения энергетической эффективности холодильных и теплонасосных установок с учетом технологических, экологических и экономических факторов;

– научить анализировать существующие методы оптимизации холодильных и теплонасосных установок, разрабатывать и внедрять необходимые изменения в их структуре с позиций повышения эффективности и энергосбережения;

– дать информацию о новых методах проектирования холодильных и теплонасосных установок в отечественной и зарубежной практике, развивать способности объективно оценивать преимущества и недостатки таких методов, как отечественных, так и зарубежных;

– научить анализировать результаты расчета холодильных и теплонасосных установок, производить поиск оптимизационного решения с помощью всевозможных методов.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Холодильные и теплонасосные установки» относится к числу профессиональных учебных дисциплин по выбору основной образовательной программы бакалавриата.

«Холодильные и теплонасосные установки» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами и практиками ООП:

– Технологические энергоносители и энергосистемы предприятий:

– Тепломассообменное оборудование предприятий;
– Теплоэнергетические системы промышленных предприятий;
– Установки для трансформации тепла и процессов охлаждения;
– Энергетический комплекс промышленных предприятий;
– Эксплуатация теплоэнергетических установок и систем.

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-3	способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	**знать:** • Основные методы организации метрологического обеспечения технологических процессов **уметь:** • Организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования **владеть:** • Методами организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования
ПК-3	Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов	**знать:** • Методы освоения и доводки технологических процессов **уметь:** • Проводить освоение и доводку технологических процессов **владеть:** • Методами проведения работ по освоению и доводке технологических процессов
ПК-4	Способность к разработке	**знать:**

	мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД	• Методы проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ **уметь:** • Обеспечивать проведение типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ **владеть:** • Методами проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ

4. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **4** зачетные единицы, т.е. **144** академических часов (из них 10 часов – лекции, 8 часа – практические занятия, 126 часов – самостоятельная работа студентов).

Структура и содержание дисциплины «Холодильные и теплонасосные установки» по срокам и видам работы отражены в Приложении 1.

Содержание разделов дисциплины

Тема 1. **Введение**

Предмет, задачи и содержание дисциплины. Роль холодильных и теплонасосных установок в работе теплоэнергетического комплекса РФ. Основные термины и определения. Классификация холодильных и теплонасосных установок.

Тема 2. **Принципы работы холодильной машины**

Основные понятия, связанные с работой холодильной машины. Схема компрессионного цикла охлаждения. Теоретический цикл охлаждения. Реальный цикл охлаждения. Оценка эффективности цикла охлаждения.

Тема 3. **Основные элементы холодильной машины**

Компрессор. Компрессоры поршневые. Ротационные компрессоры вращения. Спиральный компрессор SCROLL. Винтовые компрессоры.

Конденсатор. Конденсаторы с воздушным охлаждением. Конденсаторы с водяным охлаждением. Испаритель. Вентилятор. Регулятор потока.

Тема 4. **Работа холодильной машины**

Работа холодильной машины в режиме теплового насоса. Работа холодильной машины при низкой температуре окружающего воздуха.

Тема 5. **Принципиальные схемы холодильных центров с холодильными машинами с воздушным охлаждением конденсаторов**

Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами наружной установки. Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с холодильными машинами внутренней установки и выносными конденсаторными блоками. Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами внутренней установки. Двухконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами наружной установки.

Тема 6. **Термодинамические основы тепловых насосов**

История создания тепловых насосов. Области применения. Термодинамический цикл теплового насоса. Классификация тепловых насосов. Компрессионные тепловые насосы. Теплоиспользующие тепловые насосы. Источники теплоты.

Тема 7. **Отопительные теплонасосные установки**

Отопительные теплонасосные установки. Условия экономичности применения тепловых насосов. Расчет и подбор оборудования теплонасосных установок.

Тема 8. **Применение теплонасосных установок в технологических процессах**

Перспективные области применения теплонасосных установок в промышленности. Особенности технологических режимов процессов в ТНУ. Теплонасосные сушильные установки.

5. Образовательные технологии

Методика преподавания дисциплины «Холодильные и теплонасосные установки» 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 семинарских занятиях;

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

– проведение интерактивных занятий по процедуре подготовки к интернет-тестированию на сайтах: *i-exam.ru, fepo.ru;*

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

– проведение мастер-классов экспертов и специалистов по методам расчета и проектирования холодильных и теплонасосных установок, а также эффективных методов эксплуатации теплоэнергетического оборудования.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, определен главной целью образовательной программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием дисциплины «Холодильные и теплонасосные установки» и в целом по дисциплине составляет 50% аудиторных занятий. Занятия практического типа составляют 33% от объема аудиторных занятий.

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:

- подготовка и выступление на семинарском занятии с презентацией и обсуждением на тему «Теплонасосные установки в системах отопления» (индивидуально для каждого обучающегося).

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 практическим заданиям.

Образцы тестовых заданий, заданий расчетных работ, 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-3	способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах
ПК-3	Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов

ПК-4	Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД

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-3 - способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах				
Показатель	**Критерии оценивания**			
	Оценка «неудовлетворительно» (не зачтено) или отсутствие сформированности компетенции	**Оценка «удовлетворительно» (зачтено) или низкой уровень освоения компетенции**	**Оценка «хорошо» (зачтено) или повышенный уровень освоения компетенции**	**Оценка «отлично» (зачтено) или высокий уровень освоения компетенции**
знать: Основные методы организации метрологического обеспечения технологических процессов	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: Основные методы организации метрологического обеспечения технологических процессов	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: Основные методы организации метрологического обеспечения технологических процессов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: Основные методы организации метрологического обеспечения технологических процессов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: Основные методы организации метрологического обеспечения технологических процессов, свободно оперирует приобре-тенными знаниями.

		оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.		
уметь: Организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологическог о оборудования	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: Организовывать метрологическо е обеспечение технологически х процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологическог о оборудования. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийс я демонстрируе т частичное соответствие следующих умений: Организовыва ть метрологичес кое обеспечение технологичес ких процессов при использовани и типовых методов контроля режимов работы технологичес кого оборудования . Умения освоены, но допускаются незначительн ые ошибки, неточности, затруднения при аналитически х операциях, переносе умений на новые, нестандартны е ситуации.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: Организовывать метрологическо е обеспечение технологически х процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологическо го оборудования. Свободно оперирует приобретенным и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: Методами организации метрологическог о обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологическог о оборудования	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов	Обучающийся владеет методами организации метрологическо го обеспечения технологически х процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы	Обучающийс я частично владеет методами организации метрологичес кого обеспечения технологичес ких процессов при использовани и типовых	Обучающийся в полном объеме владеет методами организации метрологическо го обеспечения технологически х процессов при использовании типовых методов контроля

	работы технологического оборудования	технологического оборудования в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	методов контроля режимов работы технологического оборудования, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	режимов работы технологического оборудования, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ПК-3 - Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов				
знать: Методы освоения и доводки технологических процессов	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний: методы освоения и доводки технологических процессов	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы освоения и доводки технологических процессов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих знаний: методы освоения и доводки технологических процессов, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях.	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы освоения и доводки технологических процессов, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: Проводить освоение и доводку технологических процессов	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет проводить освоение и доводку технологических	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: проводить	Обучающийся демонстрирует частичное соответствие следующих умений:	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: проводить

	процессов	освоение и доводку технологически х процессов. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на новые ситуации.	проводить освоение и доводку технологичес ких процессов. Умения освоены, но допускаются незначительн ые ошибки, неточности, затруднения при аналитически х операциях, переносе умений на новые, нестандартны е ситуации.	освоение и доводку технологически х процессов. Свободно оперирует приобретенным и умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
владеть: Методами проведения работ по освоению и доводке технологических процессов	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами проведения работ по освоению и доводке технологических процессов	Обучающийся владеет методами проведения работ по освоению и доводке технологически х процессов в неполном объеме, допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность владения навыками по ряду показателей, Обучающийся испытывает значительные затруднения при применении навыков в новых ситуациях.	Обучающийс я частично владеет методами проведения работ по освоению и доводке технологичес ких процессов, навыки освоены, но допускаются незначительн ые ошибки, неточности, затруднения при аналитически х операциях, переносе умений на новые, нестандартны е ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методами проведения работ по освоению и доводке технологически х процессов, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.
ПК-4 - Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД				
знать: Методы проведения типовых, плановых испытаний и	Обучающийся демонстрирует полное отсутствие или недостаточное соответствие следующих знаний:	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих знаний: методы	Обучающийс я демонстриру ет частичное соответствие следующих	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих знаний: методы

ремонтов технологическог о оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ	методы проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ	проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологическог о оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность знаний, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями при их переносе на новые ситуации.	знаний: методы проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологичес кого оборудовани я, монтажных, наладочных и пусковых работ, но допускаются незначительн ые ошибки, неточности, затруднения при аналитически х операциях.	проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологическог о оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, свободно оперирует приобретенными знаниями.
уметь: Обеспечивать проведение типовых, плановых испытаний и ремонтов технологическог о оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ	Обучающийся не умеет или в недостаточной степени умеет обеспечивать проведение типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ	Обучающийся демонстрирует неполное соответствие следующих умений: обеспечивать проведение типовых, плановых испытаний и ремонтов технологическог о оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ. Допускаются значительные ошибки, проявляется недостаточность умений, по ряду показателей, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании умениями при их переносе на	Обучающийс я демонстриру ет частичное соответствие следующих умений: обеспечивать проведение типовых, плановых испытаний и ремонтов технологичес кого оборудовани я, монтажных, наладочных и пусковых работ. Умения освоены, но допускаются незначительн ые ошибки, неточности, затруднения при аналитически х операциях,	Обучающийся демонстрирует полное соответствие следующих умений: обеспечивать проведение типовых, плановых испытаний и ремонтов технологическог о оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ. Свободно оперирует приобретенными умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.

		новые ситуации.	переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	
владеть: Методами проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ	Обучающийся не владеет или в недостаточной степени владеет методами проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ	Обучающийся владеет методами проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ 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 проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, навыки освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе умений на новые, нестандартные ситуации.	Обучающийся в полном объеме владеет методами проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ, свободно применяет полученные навыки в ситуациях повышенной сложности.

Шкалы оценивания результатов промежуточной аттестации и их описание:

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

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

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей

программой по дисциплине «Холодильные и теплонасосные установки» (прошли промежуточный контроль, выполнили весь объем заданий на семинарских занятиях, 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. Комарова Н.А. Холодильные установки. Основы проектирования [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Кемерово:

КемТИПП, 2012. — 368 с.

2. Цветков О.Б. Расчет горизонтального кожухотрубного испарителя холодильной установки [Электронный ресурс] / О.Б. Цветков, Ю.А. Лаптев, Г.Л. Пятаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2008. — 31 с.

3. Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин, тепловых насосов и термотрансформаторов. Ч. 2. Расчет роторных компрессоров холодильных машин: учебное пособие [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Н. Носков [и др.]. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. — 95 с.

4. Ширяев Ю.Н. Расчет воздушного конденсатора холодильной установки: Метод. указания к самостоятельной работе для студентов всех спец. факультетов холодильной техники, криогенной техники и кондиционирования воздуха очной формы обучения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.Н. Ширяев, К.В. Гусев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2010. — 22 с.

5. Фомичев А.В. Трансформация теплоты в компрессорных установках холодильной и криогенной техники. Часть 1 [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 34 с.

б) дополнительная литература:

1. Дзино А.А. Тепловые насосы и термотрансформаторы: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие / А.А. Дзино, О.С. Малинина. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2015. — 68 с.

2. Ширяев Ю.Н. Расчет горизонтального кожухотрубного конденсатора холодильной установки: Метод. указания к самостоятельной работе для студентов всех спец. факультетов холодильной техники, криогенной техники и кондиционирова-ния очной формы обучения [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Ю.Н. Ширяев, К.В. Гусев, И.А. Арсеньев. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. — 30 с.

3. Ширяев Ю.Н. Расчет горизонтального кожухо-трубного конденсатора холодильной установки: Учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Ю.Н. Ширяев, В.В. Митропов. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. — 58 с.

4. Крупененков Н.Ф. Электронные регуляторы температуры (контроллеры) фирм Danfoss, Eliwell, AKO. Настройка параметров и алгоритма работы холодильной установки [Электронный ресурс]: учеб.-метод. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2014. — 44 с.

5. Пигарев В.Е. Холодильные машины и установки кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]: учеб. / В.Е. Пигарев, П.Е. Архипов. — Электрон. дан. — Москва: УМЦ ЖДТ, 2003. — 424 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://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. Марюшин Л.А., Сенникова О.Б., Савельев И.Л. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов. Направление подготовки: 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», профиль «Теплоэнергетические установки, системы и комплексы». – М.: Изд-во Московского политеха, - 46 с.

10. Методические рекомендации для преподавателя

Преподавание дисциплины «Холодильные и теплонасосные установки» имеет своей целью ознакомить студентов с достижениями в области прикладной теплоэнергетики, добиться уяснения ими основных методов проектирования и расчета холодильных и теплонасосных установок, 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 бакалавров.

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 бакалавров при конспектировании лекционного материала.

Для освоения навыков поисковой и исследовательской деятельности бакалавр 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 бакалавров и конкретной темы.

Самостоятельная работа бакалавра 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 бакалаврами разных по форме и содержанию работ и заданий, связанных с практическим освоением содержания дисциплины. Бакалавры 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 бакалавров 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 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» и профилю «Энергообеспечение предприятий».

Авторы

Профессор кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент О.Ю. Усанова

Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
к.т.н., доцент Л.А. Марюшин

Программа обсуждена на заседании кафедры «Промышленная теплоэнергетика». Протокол от 30 августа 2021 г. № 1

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

Руководитель ООП Е.А. Чугаев

Приложение 1

Структура и содержание дисциплины «Холодильные и теплонасосные установки» по направлению подготовки 13.03.01 «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	Реф.	К/р	Э	З
	Восьмой семестр														
Тема 1	**Лекция. Введение**			1			16								
	Семинарское занятие				1										
Тема 2	**Лекция. Принципы работы холодильной машины**			1			16								
	Семинарское занятие				1										
Тема 3	**Лекция. Основные элементы холодильной машины**			1			16					+			
	Семинарское занятие				1										
Тема 4	**Лекция. Работа холодильной машины**			1			16								
	Семинарское занятие Выборочный приемочный и текущий контроль.				1								+		
Тема 5	**Лекция. Принципиальные схемы холодильных центров с холодильными машинами с воздушным охлаждением конденсаторов**			1			16								
	Семинарское занятие				1										

Тема 6	**Лекция. Термодинамические основы тепловых насосов**			1			15								
	Семинарское занятие				1										
Тема 7	**Лекция. Отопительные теплонасосные установки**			2			16					+			
	Семинарское занятие				1										
Тема 8	**Лекция. Применение теплонасосных установок в технологических процессах**			2			15								
	Семинарское занятие				1										
	Форма аттестации													Э	
	Всего часов по дисциплине в седьмом семестре			10	8		126								

Приложение 2

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

Направление подготовки: 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника
ОП (профиль): «Энергообеспечение предприятий»
Форма обучения: заочная

Кафедра: «Промышленная теплоэнергетика»

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«Холодильные и теплонасосные установки»

Москва
2021

Таблица 1
к приложению 2

Паспорт фонда оценочных средств

Холодильные и теплонасосные установки					
ФГОС ВО **13.03.01 Теплотехника и теплоэнергетика**					
КОМПЕТЕНЦИИ		**Перечень компонентов**	**Технология формирования**	**Форма оценочного средства**	**Степени уровней освоения компетенций**
ИНДЕКС	**ФОРМУЛИРОВКА**				
ОПК-3	способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	**знать:** Основные методы организации метрологического обеспечения технологических процессов **уметь:** Организовывать метрологическое обеспечение технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования **владеть:** Методами организации метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы тех. оборудования	Лекция, семинарские занятия, лабораторные занятия, решение ситуационных задач, СРС	Зачет, выполнение расчетной работы по индивидуальному заданию	Базовый уровень: способен формулировать задания на разработку проектных решений, связанных с организацией метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования. Повышенный уровень: способен формулировать задания на разработку нестандартных проектных решений, связанных с организацией метрологического обеспечения технологических процессов при использовании типовых методов контроля режимов работы технологического оборудования с их последующим анализом

ПК-3	Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД при использовании типовых методов	**знать:** Методы освоения и доводки технологических процессов **уметь:** Проводить освоение и доводку технологических процессов **владеть:** Методами проведения работ по освоению и доводке технологических процессов	Лекция, семинарские занятия, лабораторные занятия, решение ситуационных задач, СРС	Зачет, выполнение расчетной работы по индивидуальному заданию	Базовый уровень: способен к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов серийного и разработки нового теплоэнергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования Повышенный уровень: способность к участию в работах по освоению и доводке технологических процессов по проектам с усложненными условиями, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности нестандартных проектных решений, с использованием прикладного программного обеспечения для расчета параметров и выбора серийного и разработки нового теплоэнергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудованияв нестандартных производственных ситуациях с их последующим анализом

ПК-4	Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД	**знать:** Методы проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ **уметь:** Обеспечивать проведение типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ **владеть:** Методами проведения типовых, плановых испытаний и ремонтов технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работ	Лекция, семинарские занятия, лабораторные занятия, решение ситуационных задач, СРС	Зачет, выполнение расчетной работы по индивидуальному заданию	Базовый уровень: способен участвовать в типовых, плановых испытаниях и ремонтах технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работах в стандартных производственных ситуациях Повышенный уровень: способен участвовать в типовых, плановых испытаниях и ремонтах технологического оборудования, монтажных, наладочных и пусковых работах в нестандартных производственных 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. Построение рабочего цикла одноступенчатого хладонового теплового насоса с регенеративным теплообменником и его расчет.
2. Расчет затрат тепла на холодильную камеру.
3. Расчет и подбор оборудования системы воздухоподготовки теплонасосной сушильной установки (ТНСУ).
4. Расчет и подбор оборудования системы подогрева подпитывающей воды для установки замкнутого водообеспечения предприятий.
5. Расчет воздушного конденсатора холодильной установки.
6. Расчет горизонтального кожухотрубного конденсатора холодильной установки.
7. Расчет горизонтального кожухотрубного испарителя холодильной установки.
8. Расчет ТНУ для системы отопления.
9. Расчет воздушного холодильника.

Приложение 4

Вопросы к экзамену

1. Роль холодильных и теплонасосных установок в работе теплоэнергетического комплекса РФ.
2. Классификация холодильных и теплонасосных установок.
3. Принципы работы холодильной машины.
4. Основные понятия, связанные с работой холодильной машины.
5. Схема компрессионного цикла охлаждения.
6. Теоретический цикл охлаждения.
7. Реальный цикл охлаждения.
8. Оценка эффективности цикла охлаждения.
9. Основные элементы холодильной машины
10. Компрессор, его конструкция и место в холодильной установке.
11. Компрессоры поршневые.
12. Ротационные компрессоры вращения.
13. Спиральный компрессор SCROLL.
14. Винтовые компрессоры.
15. Конденсатор, его конструкция и место в холодильной установке.
16. Конденсаторы с воздушным охлаждением.
17. Конденсаторы с водяным охлаждением.

18. Испаритель, его конструкция и место в холодильной установке.

19. Вентилятор, его конструкция и место в холодильной установке.

20. Регулятор потока, его конструкция и место в холодильной установке.

21. Работа холодильной машины.

22. Работа холодильной машины в режиме теплового насоса.

23. Работа холодильной машины при низкой температуре окружающего воздуха.

24. Принципиальные схемы холодильных центров с холодильными машинами с воздушным охлаждением конденсаторов.

25. Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами наружной установки.

26. Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с холодильными машинами внутренней установки и выносными конденсаторными блоками.

27. Одноконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами внутренней установки.

28. Двухконтурная принципиальная схема холодильного центра с моноблочными холодильными машинами наружной установки.

29. Термодинамические основы тепловых насосов.

30. История создания тепловых насосов.

32. Области применения ТНУ.

33. Термодинамический цикл теплового насоса.

34. Классификация тепловых насосов.

35. Компрессионные тепловые насосы.

36. Теплоиспользующие тепловые насосы.

37. Источники теплоты ТНУ.

38. Отопительные теплонасосные установки.

39. Отопительные теплонасосные установки.

40. Условия экономичности применения тепловых насосов.

41. Расчет и подбор оборудования теплонасосных установок.

42. Применение теплонасосных установок в технологических процессах.

43. Перспективные области применения теплонасосных установок в промышленности.

44. Особенности технологических режимов процессов в ТНУ.

45. Теплонасосные сушильные установки.

46. Кондиционирование воздуха и тепловые насосы.

47. Основные процессы и принцип работы оборудования теплонасосных установок.

48. Методики расчета машин и аппаратов теплонасосных установок при заданных параметрах и тепловых нагрузках.

49. Основные понятия о теоретических и действительных термодинамических циклах работы теплонасосных установок.

50. Методы проектирования систем с использованием теплонасосных установок.

Приложение 5

Примеры задач для практических занятий

Задача 1. Рассчитать горизонтальный грунтовый теплообменник и подобрать тепловой насос для отопления здания. Расчетная нагрузка на систему отопления составляет 80 кВт, теплопроводность грунта равна 3 Вт/(м·°С).

При работе системы отопления при наружной температуре ниже +8°С, значение числа часов максимума равно 2320 (рассчитано в программе МОДЭН), при этом коэффициент загрузки равен 0,264. Определяем требуемую мощность тепловых насосов по формуле:

$Q_{тн}$ =120·0,264·2=63,3кВт.

Для того, чтобы принять наиболее эффективный вариант установки, проведем ряд расчетов на различные значения числа труб в траншее (1, 2 и 4) и температуры антифриза (-10, -6 и -2°С). Покажем как проводится один из расчетов: одна труба в траншее и температура антифриза -10°С

Принимаем к установке тепловой насос фирмы CIAT марки LGN. Для таких тепловых насосов выбираем COP, который будет равен 2.35. Мощность грунтового теплообменника составит:

$Q_{гт}$ = 63,3·(2,35-1)/2,35=36,36 кВт.

Нет данных по теплоотдаче в траншее с одиночной трубой. Поэтому берем аналогичную траншею, но с 2-мя трубами. Среднее значение отобранной теплоты со 100 м траншеи, за отопительный период равно 2391 Вт. На 100 м трубы теплосъем составит:

2391/2=1196 Вт/100 м

Если в траншее лежит не 2, а только одна труба, то теплосъем с учетом $К_{тр}$ составит:

1196·1,45=1730 Вт/100 м

Общая длина труб и траншеи составит:

$L_{тр}$= $L_{тран}$ = 36360·100/1730=2098 м.

Результаты расчета заносим в таблицу 6.

Расход электрической энергии определяем по формуле

$N_{год}$ = $N_{у}$·2320·2

Анализ результатов расчета показывает, что наиболее экономичным, по статье капитальных затрат, являются варианты с температурой антифриза равной -10°С. Это варианты с минимальным количеством труб и большим типоразмером теплового насоса. Такие проекты наиболее популярны в Центральной Европе, что связано с недостатком площадей. Несмотря на большие капитальные затраты, вариант с температурой антифриза раной -2°С имеет меньшие эксплуатационные затраты, что связано с меньшим типоразмером теплового насоса. Большее количество труб требует значительных площадей для их размещения. Такие проекты наиболее популярны в США и Канаде. Сказать о том, какой вариант имеет безоговорочные преимущества, не представляется возможным. Отклонения

между затратами вполне укладываются в рамки точности проведения вычислительного эксперимента.

Таблица 1

Сводная таблица результатов расчета

Параметры	Размерность	1 труба в траншее			2 трубы в траншее			4 трубы в траншее		
		Температура антифриза			Температура антифриза			Температура антифриза		
		-10	-6	-2	-10	-6	-2	-10	-6	-2
Общая мощность котельной	кВт	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Требуемая тепло-производи-тельность теплового насоса	кВт	63.30	63.30	63.30	63.30	63.30	63.30	63.30	63.30	63.30
Мощность пиковых электрокотлов	кВт	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7	56.7
COP		2.35	2.65	2.90	2.35	2.65	2.90	2.35	2.65	2.90
Мощность грунтового теплообмен-ника	кВт	36.36	39.41	41.47	36.36	39.41	36.36	39.41	41.47	41.47
Отобранная теплота на 100 м траншеи	кВт	1.73	1.20	0.65	2.39	1.66	0 .90	3.52	2.44	1.32
Длина траншеи	м	2097.74	3274.88	6355.93	1520.86	2374.29	4608.05	1033.14	1612.88	3130.29
Длина труб	м	2097.74	3274.88	6355.93	3041.73	4748.58	9216.09	4132.55	6451.52	12521.17
Марка теплонасоса		350z	300z	250z	350z	300z	2 50z	3 5 0z	30 0z	250z
Паспортная мощность ТН		125.00	107.00	90.00	125.00	107.00	90 .00	125 .00	107 .00	90.00
N	кВт	26.94	23.89	21.83	26.94	23.89	21.83	26.94	23.89	21.83
Стоимость ТН	$	18750.00	18190.00	17100.00	18750.00	18190.00	17100.0	18750.0	18190.0	17100.00
Стоимость труб	$	1048.87	1637.44	3177.96	1520.86	2374.29	4608.05	2066.28	3225.76	6260.59
Стоимость траншеи	$	559.4	873.3	1637.44	608.35	949.72	1843.22	619.88	967.73	1878.18
Стоимость пикового котла	$	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Прочие кап. затраты	$	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Итого капитальных затрат	$	29858	30200	3147.3	30379	31014	33051	31879	31014	33051
Экономия электрической энергии	кВт·час	0	14149	23703	0	14149	23703	0	14149	23703

Задача 2. Пользуясь *h*, *s* - диаграммой водяного пара, посчитать КПД цикла Ренкина на насыщенном паре при давлении перед турбиной 9,8 МПа. Сравнить с КПД цикла Карно, имеющего те же параметры, а также цикла Ренкина при перегреве пара до 540 °С. Давление за турбиной 4 кПа.

Решение:

Температура насыщения при p = 0,8 МПа равна 309 °С, а при $p = 4 \cdot 10^{-3}$ МПа – 29 °С. КПД цикла Карно в этом диапазоне температур равен 0,48. КПД циклов Ренкина – 0,4 и 0,43.

Задача 3. Расчет термодинамического цикла парокомпрессионного теплового насоса Waterkotte DS 5010.5 Ai NC.

Исходные данные:

Хладогент: R410A.

Мощность потребляемая/отдаваемая: 1,5/7,3 кВт.

1. температура рассола на входе в тепловой насос: $t_{н1}$=12, 1°С;
2. температура рассола после теплового насоса: $t_{н2}$=8,7 °С;
3. температура горячей воды на входе в тепловой насос: $t_{в1}$=31,9 °С;
4. температура горячей воды после теплового насоса: $t_{в2}$=36,8 °С;
5. температура окружающей среды: t_0=19 °С;
6. перепады температуры на выходе и выходе из: испарителя: $\Delta t_и$=3,4 °С,
7. перепады температуры на выходе и выходе из конденсатора: $\Delta t_к$=4,9 °С.

Решение:

1. Температура испарения фреона:

$t_и = t_{н2} - \Delta t_и = 5{,}3$ °С.

2. По температуре испарения $t_и = 5{,}3$ °С по таблицам термодинамических свойств хладагента R410a в состоянии насыщения или по *p*, *h*-диаграмме (Приложение 1) определяются параметры в точке *1* – энтальпия на правой пограничной кривой *h*'' и давление *p*:

h_1 =430 кДж/кг;

$p_и$ = 0,92 МПа, точка *1* отмечается на *p*, *h*-диаграмме.

3. Температура конденсации фреона:

$t_к = t_{в2} + \Delta t_к = 41{,}7$ °С.

4. По температуре конденсации $t_к$ по таблицам термодинамических свойств или по *p*,*h*-диаграмме определяются параметры в точке *3* – энтальпия на левой пограничной кривой *h*' и давление *p*:

$h_3 = 275$ кДж/кг;

$p_к$ =2,5 МПа, точка *3* отмечается на *p*, *h*-диаграмме.

5. На *p*,*h*-диаграмме на пересечении линии постоянной энтропии S_1, проходящей через точку *1*, и линии изобары $p_к$, проходящей через точку *3*, определятся точка *2a,* затем по диаграмме определяется энтальпия в этой точке:

h_{2a}= 450 кДж/кг. S = 2,22

6. Адиабатный КПД компрессора η_a:

$$\eta_a = 0{,}98\,\frac{273 + t_0}{273 + t_к} = 91\ \%.$$

Энтальпия фреона после сжатия с учетом потерь:

$$h_2 = h_1 + \frac{h_{2a} - h_1}{\eta_a} = 451{,}98\ \text{кДж/кг}.$$

По значению энтальпии h_2= 451,98 кДж/кг и давлению $p_к$ = 2,5 МПа на диаграмме отмечается точка *2*. Температура в этой точке

$t_2 = 60$ °С.

7. По значению энтальпии $h_3 = h_4 = 275$ кДж/кг и давлению $p_и$= 0,92 МПа на диаграмме отмечается точка 4.

8. Удельные тепловые нагрузки в узлах теплового насоса:

$q_и = h_1 - h_4 = 155$ кДж/кг;

$q_к = h_2 - h_3 = 176{,}95$ кДж/кг;

$l_{сж} = h_2 – h_1 = 21{,}95$ кДж/кг.

Правильность расчета определяется проверкой теплового баланса

$q_и + l_{сж} = q_к$ кДж/кг.

155 + 21,92 = 176,92 кДж/кг.

Тепловая нагрузка теплового насоса:

$q_{тн} = q_к = 176{,}92$ кДж/кг.

10. Показатель энергетической эффективности теплового насоса:

– коэффициент трансформации теплоты:

$$COP = \frac{q_к}{l_{сж}} = 8{,}06;$$

Результаты расчетов термодинамических циклов по данным проведенных экспериментов занести в табл. 1:

Таблица 2

Параметр	Ед. измерения	Значение
Температура окружающей среды t_0	°С	19
Температура низкопотенциального теплоносителя на входе в тепловой насос $t_{н1}$	°С	12,1
Температура низкопотенциального теплоносителя после теплового насоса $t_{н2}$	°С	8,7
Температура высокопотенциального теплоносителя на входе в тепловой насос $t_{в1}$	°С	31,9
Температура горячей воды после теплового насоса $t_{в2}$	°С	36,8
Коэффициент трансформации теплоты (по датчику)	-	8
Коэффициент трансформации теплоты (расчетный)	-	8,06

Таблица термодинамических свойств хладагента R410a в состоянии насыщения и *p*,*h*-диаграмма:

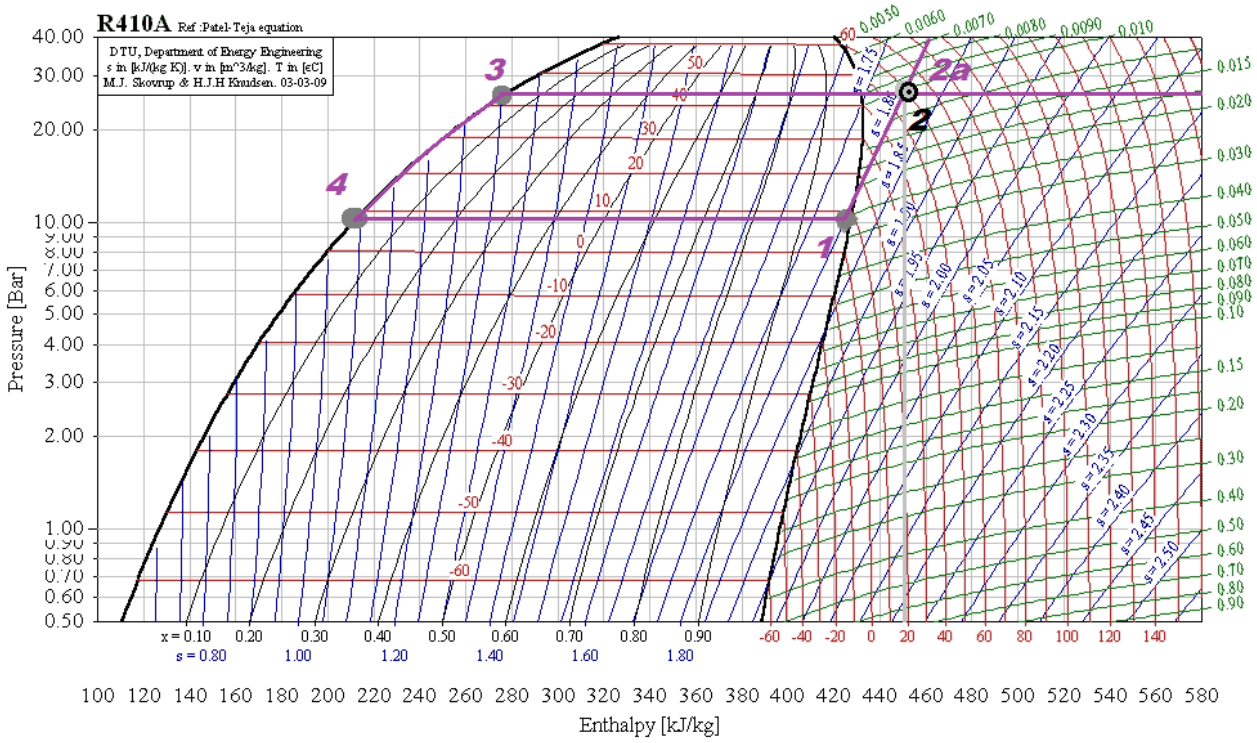


Таблица 3

Термодинамические свойства хладагента R410a в состоянии насыщения

Температура, ^{0} С	Насыщенная жидкость				Насыщенный пар				
	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м^3	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг* К)	Давление насыщения, 10^5 Па	Плотность, кг/м^3	Удельная энтальпия, кДж/кг	Удельная энтропия, кДж/(кг* К)	Удельная теплота парообразования, кДж/кг
-50	1,123	1339,761	131,4	0,726	1,122	4,526	401,5	1,936	270,1
-45	1,417	1325,036	137,8	0,754	1,415	5,616	404,6	1,924	266,8
-40	1,770	1309,941	144,2	0,782	1,767	6,909	407,5	1,913	263,4
-35	2,191	1294,45	150,7	0,809	2,187	8,435	410,5	1,902	259,8
-30	2,689	1278,534	157,3	0,837	2,683	10,224	413,3	1,891	256,0
-25	3,273	1262,162	164,0	0,864	3,265	12,312	416,1	1,882	252,0
-20	3,954	1245,297	170,9	0,891	3,944	14,738	418,8	1,872	247,8
-15	4,743	1227,897	177,9	0,918	4,730	17,546	421,3	1,863	243,4
-10	5,651	1209,914	185,1	0,945	5,635	20,785	423,8	1,854	238,7
-5	6,690	1191,292	192,5	0,973	6,670	24,511	426,1	1,846	233,6
0	7,872	1171,968	200,0	1,000	7,849	28,79	428,3	1,837	228,3
5	9,211	1151,863	207,7	1,028	9,184	33,696	430,2	1,829	222,5
10	10,719	1130,887	215,7	1,055	10,688	39,317	432,0	1,821	216,3
15	12,410	1108,928	223,9	1,084	12,375	45,759	433,6	1,812	209,6
20	14,299	1085,849	232,5	1,112	14,260	53,149	434,8	1,803	202,4
25	16,399	1061,481	241,3	1,141	16,357	61,643	435,8	1,794	194,5
30	18,725	1035,603	250,5	1,171	18,681	71,44	436,4	1,785	185,9
35	21,293	1007,926	260,2	1,202	21,247	82,798	436,6	1,774	176,4
40	24,116	978,057	270,4	1,233	24,070	96,062	436,2	1,763	165,9
45	27,211	945,435	281,2	1,266	27,165	111,722	435,2	1,750	154,0
50	30,592	909,218	292,8	1,301	30,549	130,504	433,4	1,736	140,6

Задача 4. Найти мощность теплонасосной установки, работающей по идеальному циклу на фреоне R12B1, если температура верхнего источника равна 65°С, степень повышения давления компрессора 5, мощность компрессора 10кВт.

Задача 5. Определить мощность теплонасосной установки, работающей по реальному циклу без переохладителя на фреоне R12B1, задаваясь минимальной разностью температур в конденсаторе, если температура верхнего источника равна 60°С, электромеханический к.п.д. компрессора $\eta_{эм}$=0,92, степень повышения давления 5, мощность на привод компрессора 12кВт.

Задача 6. Мощность теплового насоса, работающего по идеальному циклу на фреоне R12B1 равна 15кВт на температурном уровне +65 °С. Необходимо определить мощность на привод компрессора, если степень повышения давления равна 5.

Задача 7. Мощность теплонасосной установки, работающей по реальному циклу без переохладителя на фреоне фреоне R12B1, составляет 20кВт. Температурный уровень верхнего источника составляет 60°С. Степень повышения давления компрессора 5,3. Найти мощность на привод компрессора, задаваясь его электромеханическим к.п.д. и минимальной разностью температур в конденсаторе.

Задача 8. Тепловой насос работает по идеальному циклу на фреоне R502. Температура верхнего источника равна +60°С, степень повышения давления в компрессоре 4,2, необходимо определить коэффициент трансформации теплоты.

Задача 9. Тепловой насос работает по реальному циклу без переохладителя на фреоне R502. Температура верхнего источника составляет +60°С, степень повышения давления в компрессоре 5,8. Задаваясь минимальной разностью температур в конденсаторе, необходимо найти коэффициент трансформации теплоты.

Задача 10. Температура нижнего источника составляет +5°С, мощность испарителя 10Квт, степень повышения давления 3,5. Определить мощность теплового насоса, работающего по идеальному циклу на фреоне R13B1.

Задача 11. Температура нижнего источника составляет 10°С, мощность испарителя 10кВт, степень повышения давления 5,5, электромеханический к.п.д. компрессора 0,9. Определить мощность теплового насоса, работающего по реальному циклу на фреоне R12, задаваясь минимальной разностью температур в испарителе.

Задача 12. Температура верхнего источника составляет 60°С, мощность испарителя 10кВт, степень повышения давления 4,0. Определить мощность теплового насоса, работающего по идеальному циклу на фреоне R12.

Приложение 6

Вопросы для самостоятельного изучения

1. Теплонасосные установки нового поколения и их использование в качестве высокоэффективной энергосберегающей и экологически чистой энерготехнологии для горячего водоснабжения.
2. Использование теплонасосных установок (ТНУ) для энергетики, промышленности и предприятий ЖКХ.
3. Принципиальная схема работы ТНУ на водяном паре и ее конструктивные особенности.
4. ТНУ в качестве альтернативного источника ГВС потребителей централизованного теплоснабжения в отопительный период.
5. Основы термодинамики циклов теплоэнергетических установок.