Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 15.06.2026 17:10:46
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

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

Факультет урбанистики и городского хозяйства

УТВЕРЖДАЮ
Декан _____ /К.И. Лушин/
26 февраля 2026 года

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Холодильные и теплонасосные установки»

Направление подготовки
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Профиль
Интеллектуальные тепловые энергосистемы

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Москва, 2026 г.

Разработчик:

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

Согласовано:

Заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика», к.т.н., доцент _____ / Л.А. Марюшин /
И.О. Фамилия

Содержание

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине 4
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы 5
3. Структура и содержание дисциплины 5
   3.1 Виды учебной работы и трудоемкость 5
   3.2 Тематический план изучения дисциплины 6
   3.3 Содержание дисциплины 6
   3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий 7
4. Учебно-методическое и информационное обеспечение 7
   4.1 Нормативные документы и ГОСТы 7
   4.2 Основная литература 8
   4.3 Дополнительная литература 8
   4.4 Электронные образовательные ресурсы 9
   4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение 9
   4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы 9
5. Материально-техническое обеспечение 10
6. Методические рекомендации 10
   6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения 10
   6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины 11
7. Фонд оценочных средств 11
   7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения 11
   7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения 12
   7.3 Оценочные средства 12

1. Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

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.

Обучение по дисциплине «Холодильные и теплонасосные установки» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

Код и наименование компетенций	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-4. Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах	ИОПК-4.1. Демонстрирует понимание основных законов механики жидкости и газа и применяет их для расчета элементов теплотехнических установок и систем; ИОПК-4.2. Демонстрирует понимание основ термодинамики, основных законов термодинамики и применяет их для расчетов термодинамических процессов, циклов и их показателей; ИОПК-4.3. Демонстрирует понимание основных законов тепломассообмена и применяет их для расчетов элементов теплотехнических установок и систем.
ПК-3. Способность к выполнению расчетов и построению схем ОПД с	ИПК-3.1. Участвует в разработке схем размещения ОПД в соответствии с технологией производства

использованием современных программных средств	ИПК-3.2. Соблюдает правила технологической дисциплины при эксплуатации ОПД ИПК-3.3. Выполняет тепловые и гидравлические расчеты технологических систем, процессов и оборудования
ПК-4. Способность к разработке мероприятий по энерго- и ресурсосбережению на ОПД с оценкой их энергетической, экономической и экологической эффективности	ИПК-4.1. Демонстрирует знание нормативов по энерго- и ресурсосбережению на ОПД ИПК-4.2. Разрабатывает мероприятия по энерго- и ресурсосбережению на ОПД

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

«Холодильные и теплонасосные установки» взаимосвязаны 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. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет **3** зачетные единицы (**108** часов).

3.1 Виды учебной работы и трудоемкость

3.1.1. Очная форма обучения

№ п/п	Вид учебной работы	Количество часов	Семестр
			6
1	**Аудиторные занятия**	**54**	**54**
	В том числе:		
1.1	Лекции	18	18
1.2	Семинарские/практические занятия	36	36
1.3	Лабораторные занятия	-	-
2	**Самостоятельная работа**	**54**	**54**
	В том числе:		
2.1	Тестирование	5	5
2.2	Самостоятельное изучение	49	49
3	**Промежуточная аттестация**		
	Зачет/диф.зачет/экзамен	**зачет**	зачет
	Итого	**108**	**108**

3.2 Тематический план изучения дисциплины

3.2.1. Очная форма обучения

№ п/п	Разделы/темы дисциплины	Трудоемкость, час					
		Всего	Аудиторная работа				Самостоятельная работа
			Лекции	Семинарские/ практические занятия	Лабораторные занятия	Практическая подготовка	
1	Раздел 1. Введение.	**8**	2	2			4
2	Раздел 2. Принципы работы холодильной машины.	**13**	2	4			7
3	Раздел 3. Основные элементы холодильной машины.	**14**	2	5			7
4	Раздел 4. Работа холодильной машины.	**16**	3	6			7
5	Раздел 5. Принципиальные схемы холодильных центров с холодильными машинами с воздушным охлаждением конденсаторов.	**13**	2	4			7
6	Раздел 6. Термодинамические основы тепловых насосов.	**17**	3	6			8
7	Раздел 7. Отопительные теплонасосные установки.	**14**	2	5			7
8	Раздел 8. Применение теплонасосных установок в технологических процессах.	**13**	2	4			7
	Итого	**108**	**18**	**36**			**54**

3.3 Содержание дисциплины

Раздел 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.

Раздел 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.

Раздел 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.

Раздел 4. Работа холодильной машины.

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

Раздел 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.

Раздел 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.

Раздел 7. Отопительные теплонасосные установки.

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

Раздел 8. Применение теплонасосных установок в технологических процессах.

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

3.4 Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

Семинарское занятие 1. «Введение».

Семинарское занятие 2. «Принципы работы холодильной машины».

Семинарское занятие 3. «Основные элементы холодильной машины».

Семинарское занятие 4. «Работа холодильной машины».

Семинарское занятие 5. «Принципиальные схемы холодильных центров с холодильными машинами с воздушным охлаждением конденсаторов».

Семинарское занятие 6. «Термодинамические основы тепловых насосов».

Семинарское занятие 7. «Отопительные теплонасосные установки».

Семинарское занятие 8. «Применение теплонасосных установок в технологических процессах».

4. Учебно-методическое и информационное обеспечение

4.1 Нормативные документы и ГОСТы

1. ГОСТ EN 378-4-2014. Системы холодильные и тепловые. Требования безопасности и охраны окружающей среды.

Часть 1: Основные требования, определения, классификация и критерии выбора.

Часть 2: Проектирование, конструкция, изготовление, испытания, маркировка и документация.

Часть 3: Размещение оборудования и защита персонала.

Часть 4: Эксплуатация, техническое обслуживание, ремонт и восстановление.

2. ГОСТ Р 51743-2001. Машины холодильные. Машины для охлаждения жидкости на базе турбокомпрессоров. Методы испытаний.

3. ГОСТ Р 58644-2019. Компрессоры и компрессорно-конденсаторные агрегаты холодильные. Методы испытаний по определению основных характеристик. Часть 2. Компрессорно-конденсаторные агрегаты холодильные.

4. ГОСТ 12.2.233-2012. Системы холодильные холодопроизводительностью свыше 3,0 кВт.

5. ГОСТ Р 54381-2011. Компрессоры холодильные.

6. ГОСТ 32968-2014. Оборудование холодильное. Агенты холодильные. Требования по применению и извлечению.

7. ГОСТ 5546-86. Масла для холодильных машин. Технические условия.

8. ГОСТ 28547-90. Компрессоры холодильные объемного действия. Методы испытаний.

9. ГОСТ 28564-90. Машины и агрегаты холодильные на базе компрессоров объемного действия. Методы испытаний.

10. ГОСТ Р 59510-2021. Инженерные сети зданий и сооружений внутренние. Монтаж и пусковая наладка теплонасосных систем теплохладоснабжения зданий. Правила и контроль выполнения работ.

4.2 Основная литература

1. Комарова Н.А. Холодильные установки. Основы проектирования [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Кемерово: КемТИПП, 2012. — 368 с.

2. 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.

3. 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.

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.

4.3 Дополнительная литература

6. 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.

7. 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.

8. Ширяев Ю.Н. Расчет горизонтального кожухотрубного 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.

9. 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.

10. 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.

4.4 Электронные образовательные ресурсы

Проведение занятий и аттестаций возможно в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО-LMS) на основе разработанных кафедрой электронных образовательных ресурсов (ЭОР) по всем разделам программы:

Название ЭОР	
Установки для трансформации тепла и процессов охлаждения	https://online.mospolytech.ru/local/crw/course.php?id=12976

Разработанный ЭОР включают промежуточный и итоговый тесты.

Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

Каждый студент обеспечен индивидуальным неограниченным доступом к электронным библиотекам университета (http://lib.mami.ru/lib/content/elektronnyy-katalog).

Ссылка на электронную библиотеку:

https://online.mospolytech.ru/course/view.php?id=7621&section=1

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

4.5 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. МойОфис – российская компания-разработчик безопасных офисных решений для общения и совместной работы с документами (Альтернатива MS Office) https://myoffice.ru/
2. Платформа nanoCAD – это российская платформа для проектирования и моделирования объектов различной сложности. Поддержка форматов *.dwg и IFC делает ее отличным решением для совмещения САПР- и BIM-технологий. Функционал платформы может быть расширен с помощью специальных модулей https://www.nanocad.ru/support/education/
3. Система трехмерного моделирования «КОМПАС-3D» https://edu.ascon.ru/main/download/freeware/
4. VALTEC.PRG.3.1.3. Программа для теплотехнических и гидравлических расчетов https://valtec.ru/document/calculate/
5. Онлайн расчеты АВОК-СОФТ https://soft.abok.ru/help_desk/

4.6 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Российская национальная библиотека http://www.nlr.ru
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» https://biblioclub.ru/index.php
3. Научная электронная библиотека http://www.elibrary.ru
4. Российская государственная библиотека http://www.rsl.ru
5. Образовательная платформа ЮРАЙТ http://www.urait.ru
6. «Техэксперт» – справочная система, предоставляющая нормативно-техническую, нормативно-правовую информацию https://техэксперт.сайт/

7. НП «АВОК» – помощник инженера по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике https://www.abok.ru/

8. Е-ДОСЬЕ – Электронный эколог. Независимая информация о российских организациях, база нормативных документов и законодательных актов https://e-ecolog.ru/

9. Инженерная сантехника VALTEC (каталог продукции и нормативная документация) https://valtec.ru/

5. Материально-техническое обеспечение

Для проведения лекционных занятий используются аудитории, оснащенные компьютерами, интерактивными досками, мультимедийными проекторами и экранами: АВ2404, АВ2415 и аудитории общего фонда. Для проведения семинарских и лабораторных работ используются аудитории: АВ2406, АВ1101 и аудитории корпуса УРБАН.ТЕХНОГРАД Инновационно-образовательного комплекса «Техноград», который расположен на территории ВДНХ.

6. Методические рекомендации

6.1 Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

6.1.1 Преподаватель организует преподавание дисциплины в соответствии с требованиями «Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете и его филиалах», утверждённым ректором университета.

6.1.2 На первом занятии преподаватель доводит до сведения студентов содержание рабочей программы дисциплины (РПД).

6.1.3 Преподаватель особенно обращает внимание студентов на:

- виды и формы проведения занятий по дисциплине, включая порядок проведения занятий с применением технологий дистанционного обучения и системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха);
- виды, содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости в соответствии с фондом оценочных средств;
- форму, содержание и порядок проведения промежуточной аттестации в соответствии с фондом оценочных средств, предусмотренным РПД.

6.1.4 Преподаватель доводит до сведения студентов график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД.

6.1.5 Преподаватель рекомендует студентам основную и дополнительную литературу.

6.1.6 Преподаватель предоставляет перед промежуточной аттестацией (экзаменом или зачётом) список вопросов для подготовки.

6.1.7 Преподаватели, которые проводят лекционные и практические (семинарские) занятия, согласуют тематический план практических занятий, чтобы использовать единую систему обозначений, терминов, основных понятий дисциплины.

6.1.8 При подготовке к семинарскому занятию по перечню объявленных тем преподавателю необходимо уточнить план их проведения, согласно РПД, продумать формулировки и содержание учебных вопросов, выносимых на обсуждение, ознакомиться с перечнем вопросов по теме семинара.

В ходе семинара во вступительном слове раскрыть практическую значимость темы семинарского занятия, определить порядок его проведения, время на обсуждение каждого

учебного вопроса. Использовать фронтальный опрос давая возможность выступить всем студентам, присутствующим на занятии.

В заключительной части семинарского занятия следует подвести итоги: дать оценку выступлений каждого студента и учебной группы в целом. Раскрыть положительные стороны и недостатки проведенного семинарского занятия. Ответить на вопросы студентов. Выдать задания для самостоятельной работы по подготовке к следующему занятию.

6.1.9 Целесообразно в ходе защиты рефератов, лабораторных работ, курсовых работ и проектов задавать выступающим и аудитории дополнительные и уточняющие вопросы с целью выяснения их позиций по существу обсуждаемых проблем.

Возможно проведение занятий и аттестаций в дистанционном формате с применением системы дистанционного обучения университета (СДО Московского Политеха).

6.1.10 Порядок проведения работ в дистанционном формате устанавливается отдельными распоряжениями проректора по учебной работе и/или центром учебно-методической работы.

6.2 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

6.2.1 Студенту необходимо составить для себя график выполнения учебных работ, предусмотренных РПД с учётом требований других дисциплин, изучаемых в текущем семестре.

6.2.2 При проведении занятий и процедур текущей и промежуточной аттестации с использованием инструментов информационной образовательной среды дистанционного образования университета (СДО Московского Политеха), как во время контактной работы с преподавателем, так и во время самостоятельной работы студент должен обеспечить техническую возможность дистанционного подключения к системам дистанционного обучения. При отсутствии такой возможности обсудить ситуацию с преподавателем дисциплины.

6.2.3 К промежуточной аттестации допускаются только обучающиеся, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой дисциплины (РПД).

7. Фонд оценочных средств

7.1 Методы контроля и оценивания результатов обучения

Контроль успеваемости и качества подготовки проводится в соответствии с требованиями "Положения об организации образовательного процесса в Московском политехническом университете".

Для контроля успеваемости и качества освоения дисциплины настоящей программой предусмотрены следующие виды контроля:

– контроль текущей успеваемости (текущий контроль);

– промежуточная аттестация.

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

Оценочные средства текущего контроля успеваемости включают контрольные вопросы и задания в форме бланкового тестирования, для контроля освоения обучающимися разделов дисциплины – решение задач.

Образцы тестовых заданий, контрольных вопросов и заданий для проведения текущего контроля, вопросов для зачета, приведены в приложении.

7.2 Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Показателем оценивания компетенций на различных этапах их формирования является достижение обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю).

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

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

К промежуточной аттестации допускаются только студенты, выполнившие все виды учебной работы, предусмотренные рабочей программой по дисциплине «Холодильные и теплонасосные установки».

Шкала оценивания	Описание
Зачтено	Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные РПД. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
Не зачтено	Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных РПД. 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 приложении к рабочей программе.

7.3 Оценочные средства

7.3.1. Текущий контроль

Для проведения текущего контроля применяются следующие формы: разноуровневые задачи и задания; устный опрос, собеседование; тест.

7.3.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится на соответствующих формам обучения семестрах в форме зачета.

Зачет проводится по билетам, ответы предоставляются письменно с последующим устным собеседованием. Билеты формируются из вопросов представленного ниже перечня. В

билет включается один вопрос из разных разделов дисциплины и одно практическое задание. Перечень вопросов соответствует темам, изученным на лекционных и семинарских занятиях (прилагается). Время на подготовку письменных ответов – до 20 мин, устное собеседование – до 10 минут.

Приложение

Список вопросов для подготовки к зачету

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.

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.

Примерный перечень вопросов для промежуточного тестирования

1) Охлаждение — это:
1. процесс отвода тепла или отдачи работы, сопровождающийся повышением температуры;
2. процесс подвода тепла и отдачи работы, сопровождающийся понижением температуры
3. процесс, сопровождающийся понижением температуры
4. процесс отвода тепла или отдачи работы, сопровождающийся понижением температуры.

2) Охлаждающие смеси образуются из веществ, которые в процессе растворения:
1. нет правильных ответов;
2. поглощают тепло;
3. поглощают энергию;
4. выделяют тепло.

3) Для охлаждения до температуры –21,2 °С используется:
1. хлористый калий со льдом;
2. хлористый натрий;
3. хлористый натрий со льдом;
4. хлористый магний.

5) Для охлаждения выше – 55 °С используется:
1. бромистый кальций со льдом;
2. нет правильных ответов;
3. хлористый кадмий со льдом;
4. хлористый кальций со льдом.

6) С понижением температуры плавления компонента в растворе холодопроизводительность 1 кг охлаждающей смеси:

1. уменьшается;
2. увеличивается;
3. не изменяется;
4. остается постоянной.

7) Процесс парообразования чистых веществ протекает при:
1. постоянных температуре и давлении;
2. постоянных температуре и энтальпии;
3. нет правильных ответов;
4. постоянных относительном объеме и давлении.

8) Внутренняя теплота парообразования, затрачиваемая на придание необходимой энергии молекулам при переходе из жидкости в пар:
1. $P = H'' - H'$;
2. $P = U'' - U'$;
3. нет правильных ответов;
4. $P = U'' + U'$.

9) Внешняя теплота парообразования, расходуемая на преодоление внешнего давления:
1. $\varphi = A\ d\ (\nu'' - \nu')$;
2. $\varphi = C\ P\ (\nu'' - \nu')$;
3. $\varphi = G\ (\nu'' - \nu')$;
4. $\varphi = A\ P\ (\nu'' - \nu')$.

10) Температура кипения и теплота парообразования каждого вещества зависят от:
1. удельного объема;
2. нет правильных ответов;
3. энтальпии;
4. давления.

11) При увеличении давления температура кипения:
1. повышается;
2. понижается;
3. не повышается;
4. сначала повышается, затем резко падает.

12) При увеличении давления теплота парообразования
1. не уменьшается;
2. нет правильных ответов;
3. увеличивается;
4. уменьшается.

13) Состояние вещества, в котором обе предельные точки переходной области из жидкости в пар совмещаются в одну с теплотой парообразования, равной 0, называется:
1. предельным;
2. критическим;
3. максимальным;
4. нулевым.

14) При температурах выше критических ни при каких условиях невозможен переход:
1. нет правильных ответов;

2. газов в твердую фазу;
3. газов в жидкость;
4. твердого состояния в жидкость.

15) Интенсивное испарение воды для получения охлаждающего эффекта наблюдается при:
1. низкой абсолютной влажности воздуха;
2. низкой относительной влажности воздуха;
3. низкой относительной температуре воздуха;
4. низком давлении воздуха.

16) Испарительное охлаждение водой применяется при:
1. относительно высоких температурах;
2. относительно высоких давлениях;
3. нет правильных ответов;
4. относительно высоких степенях сухости.

17) Фреон R11 имеет нормальную температуру кипения:
1. –24,05 °С;
2. нет правильных ответов;
3. –23,7 °С;
4. –28,7 °С.

18) Хладон R12 имеет нормальную температуру кипения:
1. –29,8 °С;
2. –30,8 °С;
3. –29,17 °С;
4. –49,8 °С.

19) Аммиак имеет нормальную температуру кипения:
1. –23,04 °С;
2. –33,4 °С;
3. –22,4 °С;
4. –33,12 °С.

20) Фреон R22 имеет нормальную температуру кипения:
1. – 42,8 °С;
2. нет правильных ответов;
3. – 148 °С;
4. – 40,8 °С.

Примерный перечень задач для семинарских 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 Ктр 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 = 4·10-3 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:

Хладагент: 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 tк 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 2а, затем по диаграмме определяется энтальпия в этой точке:

$h_{2а} = 450$ кДж/кг. $S = 2{,}22$

6. Адиабатный КПД компрессора η_a:

$\eta_a = 0{,}98\ 273 + t0273 + t_к = 91$ %.

Энтальпия фреона после сжатия с учетом потерь:

$h_2 = h_1 + h_{2a} - h_1\ \eta_a = 451{,}98$ 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:

$COP = q_к / l_{сж} = 8{,}06$;

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

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:

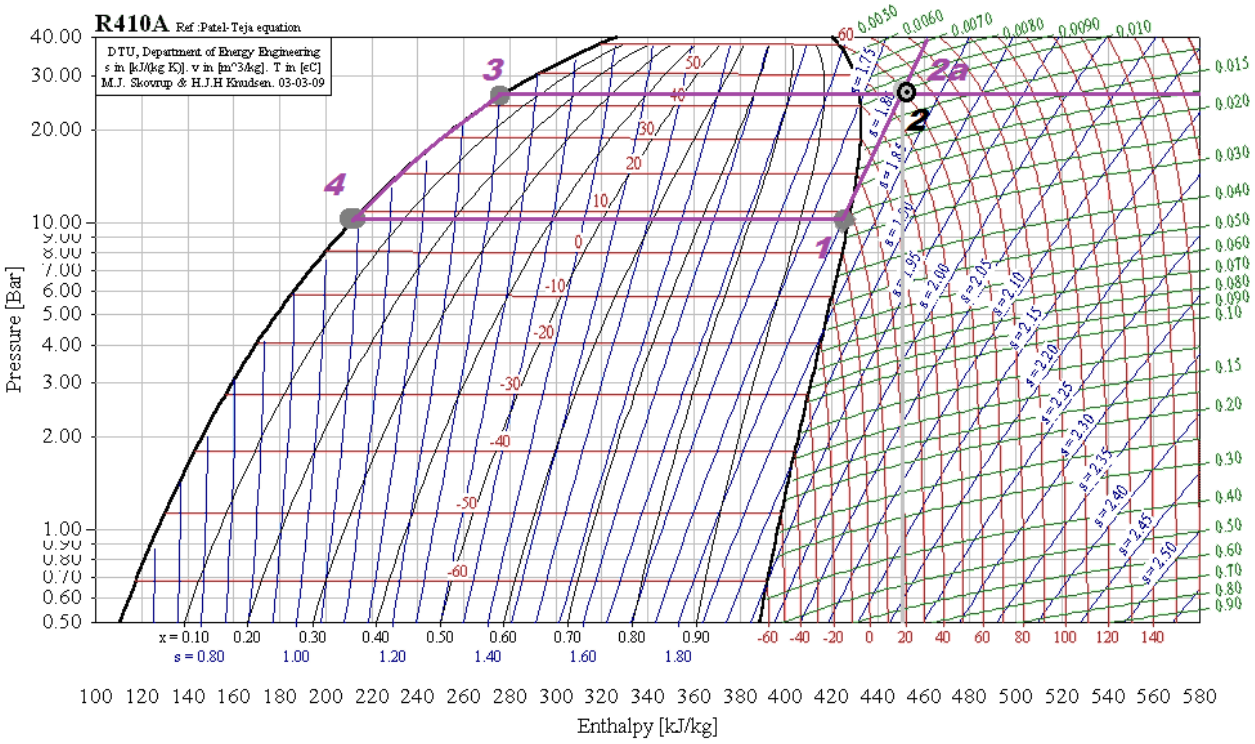


Таблица 3

Термодинамические свойства хладагента R410a в состоянии насыщения

Температура, ^{0}C	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