

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
 «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и
 дизайна»
 (СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
 Директор ВШТЭ



Рабочая программа дисциплины

Б1.О.33

Котельные установки и парогенераторы

Учебный план: _____ ФГОС3++z130301-4_22-15.plx

Кафедра: Промышленной теплоэнергетики

Направление подготовки:
 (специальность) 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Профиль подготовки:
 (специализация) Промышленная теплоэнергетика

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: заочная

План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся			Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Практ. занятия	Лаб. занятия				
3	УП	8	6	4	153	9	5	Экзамен
	РПД	8	6	4	153	9	5	
4	УП	8	6	4	153	9	5	Экзамен, Курсовой проект
	РПД	8	6	4	153	9	5	
Итого	УП	16	12	8	306	18	10	
	РПД	16	12	8	306	18	10	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника, утверждённым приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 143

Составитель (и):

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой промышленной
теплоэнергетики

Сморозин С.Н.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Сморозин С.Н.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цель дисциплины: Сформировать компетенции обучающегося в области котельных установок промышленных предприятий, их проектирования и эксплуатации при минимальных затратах энергетических, материальных и трудовых ресурсов, соблюдения правил безопасной эксплуатации и охраны окружающей среды.

1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть устройство котельных установок и их элементов
- Рассмотреть методики выполнения теплового и конструктивного расчета котла
- Раскрыть принципы обеспечения рационального тепловосприятия, надежной и экономичной работы котла и вспомогательного оборудования, защиты окружающей среды

1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Тепломассообменное оборудование теплоэнергетических предприятий

Тепломассообмен

Водоподготовка на источниках энергии

Техническая термодинамика

Топливо и процессы горения в теплоэнергетических установках

2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

ОПК-3: Способен демонстрировать применение основных способов получения, преобразования, транспорта и использования теплоты в теплотехнических установках и системах

Знать: технологию производства пара и горячей воды; конструкции и принцип работы паровых и водогрейных котлов, их элементов и вспомогательных механизмов.

Уметь: применить теоретические знания к решению практических задач; разрабатывать и выполнять мероприятия по повышению экономичности и надежности котельной установки и парогенератора путем совершенствования и реконструкции узлов и элементов; самостоятельно принимать решения в процессе эксплуатации с целью обеспечения надежности и экономичности котельной установки, защиты окружающей среды, поддерживать оптимальный режим работы оборудования, обеспечивать безопасность работы обслуживающего персонала.

Владеть: основными способами получения, преобразования, транспорта и использования теплоты и электрической энергии; рабочие процессы в тепловых двигателях, устройство и принцип их работы; конструкции и особенности эксплуатации паровых турбин.

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа			СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)	Лаб. (часы)		
Раздел 1. Классификация котлов	3					
Тема 1. Основные термины и определения. Значение котельных установок в промышленной теплоэнергетике. Роль русских и советских ученых в развитии котельной техники. Общая схема котельной установки. Классификация котлов.		0,5			20	ИЛ
Тема 2. Материальный и тепловой баланс котла. Общее уравнение теплового баланса. Располагаемая и полезно затраченная теплота. Потери теплоты и их определение. Тепловой КПД котла.		1	2		20	ИЛ
Раздел 2. Тепловая схема котла. Характеристики и конструкции котлов и их элементов						
Тема 3. Подготовка к сжиганию газового, жидкого и твердого топлива. Сушка и размол топлива. Основные системы пылеприготовления. Углеразмольные мельницы и элементы систем пылеприготовления. Системы топливоподачи при использовании биотоплива.		0,5	1		20	ИЛ
Тема 4. Топочные процессы и устройства. Классификация, характеристики и показатели топочных устройств. Сжигание газового и особенности сжигания жидкого топлива. Конструкции горелочных и топочных устройств для сжигания газового и жидкого топлива. Сжигание угольной пыли. Пылеугольные горелки и их расположение. Топки с жидким и твердым шлакоудалением. Циклонные и вихревые топки. Классификация слоевых топков. Характеристика процесса горения топлива в слое. Топки для сжигания твердого топлива в плотном слое. Особенности организации сжигания биотоплива в плотном и кипящем слое.		2	1		20	ИЛ

<p>Тема 5. Элементы и материалы котлов. Испарительные поверхности нагрева. Конструкции топочных экранов, повышение надежности их работы. Конвективные испарительные поверхности нагрева. Пароперегреватели. Компановка пароперегревателей. Методы регулирования температуры перегретого пара. Классификация систем регулирования температуры перегретого пара. Водяные экономайзеры и воздухоподогреватели. Роль и назначение водяных экономайзеров и воздухоподогревателей. Последовательность включения. Технико-экономические пределы подогрева воздуха, воды. Конструктивные схемы. Абразивный износ и коррозия поверхностей нагрева. Очистка поверхностей нагрева от наружных загрязнений. Назначение и требования к ограждениям газоходов котла. Конструкция обмуровки. Назначение и конструкции каркаса. Арматура и гарнитура. Условия работы металла котла.</p>	2	2		33	ИЛ
<p>Раздел 3. Вопросы эксплуатации котельных установок</p>					
<p>Тема 6. Эксплуатация котельных установок. Пуск и останов котла.</p>	1			20	ИЛ

<p>Тема 7. Аварийные ситуации при работе котельного оборудования. Лабораторная работа № 1. Высокий уровень воды в барабане котла +150 мм в. ст. Лабораторная работа № 2. Низкий уровень воды в барабане котла -150 мм в. ст. Лабораторная работа № 3. Погасание факела в топке Лабораторная работа № 4. Понижение давления газа < 10 кПа Лабораторная работа № 5. Повышение давления газа > 50 кПа Лабораторная работа № 6. Понижение давления мазута < 0,2 МПа Лабораторная работа № 7. Понижение давления воздуха перед горелками < 0,1 кПа Лабораторная работа № 8. Повышение давления в топке котла > 25 кПа Лабораторная работа № 9. Останов дымососа Лабораторная работа № 10. Останов вентилятора Лабораторная работа № 11. Высокая/низкая температура перегретого пара Лабораторная работа № 12. Повышение давления в барабане котла на 10 % выше разрешенного (> 4,9 МПа) Лабораторная работа № 13. Прекращение подачи электроэнергии Лабораторная работа № 14. Выход из строя всех указателей уровня воды в барабане</p>	1		4	20	ИЛ
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	8	6	4	153	
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5		6,5	
Раздел 4. Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок					
<p>Тема 8. Методика поверочного и конструктивного расчета. Выбор способа сжигания и тепловой схемы котельного агрегата. Радиационный теплообмен и выбор конечного охлаждения газов в топке. Методика расчета теплообмена в элементах котла. Расчет топки, выбор конечного охлаждения газов в топке. Конструктивный расчет радиационного, полурadiационного и конвективного пароперегревателя. Конструктивный расчет водяного экономайзера и воздухоподогревателя.</p>	4			40	
<p>Тема 9. Аэродинамический расчет котельной установки. Системы газозащитного тракта котла.</p>	1	2		30	

Раздел 5. Гидродинамика в элементах котла. Водный режим и качество пара					
Тема 10. Условия надежной работы элементов котла. Классификация испарительных систем котлов. Гидродинамика испарительных систем котлов с естественной и принудительной циркуляцией. Основы методики расчета циркуляции в элементах котла.	1			20	ИЛ
Тема 11. Физико-химические процессы при генерации пара из питательной воды. Механизм и процессы образования накипи и коррозии на поверхностях нагрева. Требования к питательной воде. Водный режим котлов. Продувка в котлах. Ступенчатое испарение. Требования к качеству пара. Сепарация пара. Показатели качества воды. Составы природных вод. Водоподготовка. Основные схемы обработки питательной воды.	1			20	ИЛ
Раздел 6. Повышение экономической эффективности котельных установок. Вспомогательное оборудование.					

<p>Тема 12. Технико-экономическое обоснование выбора оптимальной скорости газов в конвективных поверхностях нагрева. Значение подогрева воздуха для экономического сжигания топлива. Экономическая оценка различных схем котельных установок.</p> <p>Лабораторная работа № 15. Неисправность предохранительного клапана</p> <p>Лабораторная работа № 16. Взрыв в топке котла или загорание горючих отложений в газоходах</p> <p>Лабораторная работа № 17. Обвал обмуровки и нагревание несущих балок докрасна</p> <p>Лабораторная работа № 18. Возникновение пожара</p> <p>Лабораторная работа № 19. Разрыв газопровода</p> <p>Лабораторная работа № 20. Прекращение действий всех питательных насосов</p> <p>Лабораторная работа № 21. Уравнение теплового баланса. Определение КПД котельного агрегата</p> <p>Лабораторная работа № 22. Коэффициент избытка воздуха</p> <p>Лабораторная работа № 23. Аварийные режимы котла. Выявление неисправностей</p> <p>Лабораторная работа № 24. Определение тепловой нагрузки</p> <p>Технико-экономическое обоснование выбора температуры уходящих газов при проектировании котельных установок.</p>	2	4	20	ИЛ
<p>Тема 13. Содержание вредных примесей в продуктах сгорания. Классификация и конструкция золоуловителей. Конструкции тяго-дутьевых установок. Удаление шлака, золы и газообразных продуктов. Дымовые трубы. Режим работы котлов промпредприятий. Основные направления повышения экономической работы котельных установок.</p>	1		23	ИЛ
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	8	6	4	153
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовой проект)		2,5		6,5
Всего контактная работа и СР по дисциплине		41		319

4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта): Выполнить расчеты по типовым методикам, проектировать элементы котла в соответствии с техническим заданием

4.2 Тематика курсовой работы (проекта): Тепловой и аэродинамический расчеты котельной установки

4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):

Проект выполняется обучающимися индивидуально, с использованием методик расчета парового котла, справочной литературы.

Результаты представляются в виде отчета, объемом 50 листов печатного текста, содержащего следующие обязательные элементы:

- эскизы расчётной схемы котла и его элементов,
- расчёты
- двух чертежей формата А1(продольный и поперечный разрез котла),

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ОПК-3	Имеет представление о технологии производства пара и горячей воды; конструкциях и принципах работы паровых и водогрейных котлов, их элементов и вспомогательных механизмов. Применяет теоретические знания к решению практических задач; разрабатывает и выполнять мероприятия по повышению экономичности и надежности котельной установки и парогенератора путем совершенствования и реконструкции узлов и элементов; самостоятельно принимать решения в процессе эксплуатации с целью обеспечения надежности и экономичности котельной установки, защиты окружающей среды, поддерживать оптимальный режим работы оборудования, обеспечивать безопасность работы обслуживающего персонала. Демонстрирует владение методиками расчетов котельных установок по заданным методикам	Вопросы устного собеседования Практико-ориентированные задания Курсовой проект

5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу. Практико-ориентированное задание выполнено.	Критическое и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов курсового проекта полностью соответствует всем требованиям.
4 (хорошо)	Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки. Практико-ориентированное задание выполнено.	Курсовой проект выполнена в соответствии с заданием. Имеются отдельные оформления работы несущественные ошибки или отступления от правил.
3 (удовлетворительно)	Ответ неполный, основанный только на лекционных материалах. При понимании сущности предмета в целом – существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов. Практико-ориентированное задание с несущественными ошибками.	Курсовой проект выполнено полностью, но с многочисленными существенными ошибками. При этом нарушены правила оформления или сроки представления работы.
2 (неудовлетворительно)	Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки). Практико-ориентированное задание не выполнено.	Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов курсового проекта, либо многочисленные грубые ошибки в проекте, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления проекта. Представление чужого проекта, плагиат, либо отказ от представления проекта.

5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 3	
1	Парообразующие поверхности нагрева котлоагрегата.
2	Схема котлоагрегата с жидким шлакоудалением.
3	Разомкнутая схема пылеприготовления.
4	Замкнутая схема пылеприготовления.
5	Схема котла с кипящим слоем.
6	Выбор способа сжигания топлива(камерный, слоевой).
7	Способы сжигания топлива.
8	Показатели' работы топочных устройств.
9	Схема прямоточного котлоагрегата.
10	Схема жаротрубного котлоагрегата.
11	Схема котлоагрегата с принудительной циркуляцией.
12	Схема котлоагрегата "под наддувом".
13	Способы циркуляции воды в паровых котлах.
14	Типы котлоагрегатов. Маркировка котлоагрегатов.
15	Выбор температуры уходящих газов.
16	Выбор температуры воздуха на входе в воздухоподогреватель.
17	Низкотемпературная коррозия поверхностей нагрева.
18	Низкотемпературная коррозия поверхностей нагрева.
19	Расчёт КПД котлоагрегата по прямому и обратному балансу.
20	Потери теплоты с химическим и механическим недожогом.
21	Потери теплоты с уходящими газами.
22	Тепловой баланс котлоагрегата. Расход топлива.
23	Схема коельной установки с естественной циркуляцией на твердом топливе.
24	Основные термины и определения.
25	Поверхностные пароохладители.
26	Золовой унос из топки
27	Слоевая топка для сжигания кородревесных отходов
28	Топочные устройства для сжигания газа и мазута
29	Компоновка хвостовых поверхностей нагрева котлоагрегата
30	Выбор температуры горячего воздуха на выходе из воздухоподогревателя
31	Регенеративные воздухоподогреватели.
32	Рекуперативные воздухоподогреватели.
33	Водяные экономайзеры.
34	Выбор схемы пароперегревателей котлоагрегатов.
35	Газовое регулирование температуры перегретого пара.
36	Схемы включения пароохладителей.
37	Паровое регулирование температуры пара.
38	Факторы, влияющие на изменение температуры перегретого пара.
39	Конвективные пароперегреватели.
40	Радиационные и ширмовые пароперегреватели.
41	Назначение и классификация пароперегревателей.
Курс 4	
42	Котельные стали. Требования, предъявляемые к котельным сталям. Расчёт на прочность
43	Коррозия поверхностей нагрева. Химическая и электрохимическая коррозия.
44	Продувка котлоагрегата. Балансовое уравнение солей
45	Ступенчатое испарение воды
46	Удельные нагрузки зеркала испарения и парового объёма барабанакотлоагрегата
47	Требования к чистоте пара. Причины загрязнения пара
48	Внутрибарабанные устройства.

49	Закономерности уноса капельной влаги паром. Скорость витания капель.
50	Требования к качеству питательной воды. Докотловая обработка воды.
51	Мероприятия по повышению надежности циркуляции.
52	Схемы циркуляции.
53	Расчёт циркуляционного контура. Движущий и полезный напоры.
54	Простые и сложные циркуляционные контуры котлов с естественной циркуляцией.
55	Электрофильтры.
56	"Мокропрутковый" золоуловитель МП-ВТИ.
57	Инерционные золоуловители.
58	Выбор тягодутьевых установок. Характеристики тягодутьевых установок
59	Регулирование тягодутьевых установок.
60	Тягодутьевые установки. Конструкции. Принцип действия.
61	Аэродинамический расчёт воздушного тракта котельной установки.
62	Аэродинамический расчёт газового тракта котельной установки.
63	Цель аэродинамического расчёта котельных установок. Виды сопротивлений и их определение.
64	Расчёт воздухоподогревателя.
65	Расчёт водяного экономайзера.
66	Расчёт конвективного пароперегревателя.
67	Расчет фестона.
68	Расчёт топки (поверочный тепловой).
69	Методика конструктивного теплового расчёта котлоагрегата.
70	Методика поверочного расчёта котлоагрегата.
71	Каркас и обмуровка котла.
72	Арматура котла
73	Самотяга в котельной установке
74	Натрий-катионный метод умягчения воды
75	Деаэрация воды. Конструкции деаэратора
76	Тепловой баланс котлоагрегата.
77	Дымовые трубы
78	Промывка пара
79	Расчет ширмового пароперегревателя
80	Аварийные ситуации при работе котельного оборудования
81	Порядок останова котла
82	Порядок пуска котла

5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Определить количество тепла полученное паром в пароперегревателе.

Исходные данные:

паропроизводительность котла 17,5 кг/с;

давление перегретого пара 40 бар

температура перегретого пара 440°С

приращение энтальпии в пароохладителе $\Delta i_{по} = 63$ КДж/кг

Определить поверхность нагрева экономайзера.

Исходные данные:

расход воды 20 кг/с

температурный напор 120°С

давление воды 40 бар

температура воды на входе 150°С

температура воды на выходе 200°С

коэффициент теплопередачи 60 Вт/м²°С

5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная + Письменная + Компьютерное тестирование Иная

5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Время на подготовку к экзамену 45 мин, в это время входит подготовка ответа на теоретические вопросы и решение практическо-ориентированного задания. Для расчетов студенту необходимо иметь калькулятор, также ему предоставляется справочная информация.

В течение семестра выполняются контрольные работы.

Время, отводимое на защиту курсового проекта не должно превышать 15 мин, включая краткий доклад по результатам курсового проекта и ответы на вопросы

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
6.1.1 Основная учебная литература				
С.Н. Смородин, А.Н. Иванов, В.Н. Белоусов	Котельные установки и парогенераторы [Текст] : учеб.пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. - 2-е изд., испр. - СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2018	https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/2019_01_14_01.pdf
6.1.2 Дополнительная учебная литература				
И.В. Каляшова, С.Н. Смородин	Котельные установки и парогенераторы [Текст]: методические указания для выполнения контрольных работ для студентов IV курса заочного факультета	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2007	http://www.nizrp.narod.ru/mu0131.htm
С.Н. Смородин, В.Н. Белоусов, В.Ю. Лакомкин	Методы энергосбережения в энергетических, технологических установках и строительстве [Текст]: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2014	http://www.nizrp.narod.ru/metod/kpte/10.pdf
С.Н. Смородин, В.Д. Цимбал, В.Н. Белоусов	Котельные установки и парогенераторы. Компьютерный тренажер БКЗ-75-39 [Текст] : методические указания к лабораторным работам	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. - СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2018	https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/2019_03_02_02.pdf
С.Н. Смородин, В.Д. Цимбал, В.Н. Белоусов	Котельные установки и парогенераторы. Автономная автоматизированная котельная на жидком и газообразном топливе АК-5 [Текст] : методические указания к лабораторным работам	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД.- СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2018	https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/2019_03_02_01.pdf
С.Н. Смородин [и др.]	Тепловой и аэродинамический расчеты котельных установок [Текст] : учеб.пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. - 5-е изд., перераб. и доп. - СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2018	https://nizrp.narod.ru/metod/kpte/2019_01_19_01.pdf

6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>
Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>

6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8

MicrosoftOfficeProfessional 2013

AutoCADDesign

6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска
А-203	Лабораторные установки для определения влажности, зольности и выхода летучих веществ топлива, лабораторная установка для определения теплоты сгорания топлива, стенд учебный "Автоматизированная котельная на газообразном и жидком топливе", лабораторная установка Тепловой насос с МПСО, компьютерные тренажеры