

Балаковский инженерно-технологический институт - филиал федерального
государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Факультет атомной энергетики и технологий
Кафедра «Атомная энергетика»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

по дисциплине «Техническая термодинамика»

Направления подготовки

13.03.01 – Теплоэнергетика и теплотехника

Основная профессиональная образовательная программа

«Промышленная теплоэнергетика»

Квалификация выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

Цель освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Техническая термодинамика» является формирование у студентов системы научных знаний и профессиональных компетенций в области взаимного превращения теплоты и работы, изучение свойств рабочих тел и термодинамических процессов, лежащих в основе работы современных теплоэнергетических установок, а также воспитание ответственности за принимаемые инженерные решения.

Профессиональный стандарт 24.009 «Специалист по управлению проектами и программами в области производства электроэнергии атомными электростанциями».

Профессиональный стандарт 24.083 «Специалист-теплоэнергетик атомной станции».

Место дисциплины в структуре ООП ВО

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания, умения и навыки, полученные при изучении предшествующих дисциплин: «Математика», «Физика», «Химия».

Знания, умения и навыки, полученные в результате освоения дисциплины «Техническая термодинамика», являются необходимыми для изучения последующих дисциплин профессионального цикла: «Источники и системы теплоснабжения», «Котельные установки и парогенераторы», «Турбины ТЭС и АЭС», «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии», а также для прохождения учебных и производственных практик, выполнения выпускной квалификационной работы.

При освоении дисциплины студент сможет частично продемонстрировать следующие трудовые функции в соответствии с ПС:

- А/01.6. Техническая поддержка эксплуатации оборудования, технологических систем, трубопроводов горячей воды и пара
- А/02.6. Организация работ по направлению деятельности проекта
- А/02.6. Анализ технического состояния тепломеханического оборудования, технологических систем и трубопроводов

Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины у студента формируются следующие компетенции: профессиональные

Задача ПД	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
Сбор и анализ информационных исходных данных для проектирования	Тепловые и атомные электрические станции, реакторы и парогенераторы атомных электростанций, а также другое тепломеханическое оборудование согласно профессиональной деятельности; нормативно-техническая документация и системы стандартизации; системы диагностики и автоматизированного управления технологическими процессами в теплоэнергетике	ПК-1 Способен участвовать в сборе и анализе исходных данных для проектирования энергообъектов и их элементов в соответствии с нормативной документацией	З-ПК-1 Знать: документы и стандарты организации в области проектной деятельности; принципы работы эксплуатируемого оборудования, трубопроводов и технологических систем турбинного отделения У-ПК-1 Уметь: работать с информационным пространством на сервере (веб-сервере) организации для хранения, обмена и совместного использования информации по проекту В-ПК-1 Владеть: методиками составления документации с описанием объема работ по направлению проекта;

			методами контроля ключевых показателей эффективности и качества по направлению проекта
Проведение теплотехнических расчетов оборудования согласно типовым методикам	Тепловые и атомные электрические станции, реакторы и парогенераторы атомных электростанций, а также другое тепломеханическое оборудование согласно профессиональной деятельности; нормативно-техническая документация и системы стандартизации; системы диагностики и автоматизированного управления технологическими процессами в теплоэнергетике	ПК-5 Способен проводить теплотехнические, гидравлические, прочностные расчеты по типовым методикам	З-ПК-5 Знать: требования нормативных правовых актов, нормативно-технических и методических документов для проведения типовых расчетов У-ПК-5 Уметь: выполнять расчеты по типовым методикам В-ПК-5 Владеть: информационно-коммуникационными технологиями, в том числе специализированным программным обеспечением для проведения расчетов

Задачи воспитания, реализуемые в рамках освоения дисциплины

В процессе освоения данной дисциплины реализуются следующие задачи воспитания:

Направлени е/цели	Создание условий, обеспечивающих	Использование воспитательного потенциала учебных дисциплин	Вовлечение в разноплановую внеучебную деятельность
Профессион альное и трудовое воспитание	- формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.	1. Организация научно-практических конференций, круглых столов, встреч с ведущими специалистами предприятий экономического сектора города по вопросам технологического лидерства России. 2. Участие в подготовке публикаций в высокорейтинговых рецензируемых научных изданиях
Профессион альное и трудовое воспитание	– формирование профессиональной ответственности в области исследования, проектирования, конструирования и эксплуатации теплотехнического и(лil) электротехнического оборудования	1. Использование для формирования чувства личной ответственности в области исследования, проектирования, конструирования и эксплуатации теплотехнического и(лil) электротехнического оборудования воспитательного потенциала блока профессиональных дисциплин. 2. Развитие навыков творческого мышления путем содействия и	1. Организация и проведение экскурсий, научно-практических конференций, форумов, круглых столов, вебинаров по вопросам профессиональной деятельности 2. Участие в студенческих олимпиадах и конкурсах научных проектов, творческих мероприятиях,

	(B28)	поддержки участия студентов в научно-практических мероприятиях внутривузовского регионального и/или всероссийского уровня по электро- и(или) теплоэнергетике.	конкурсах профессионального мастерства, в том числе по стандартам WorldSkills. 3. Участие в подготовке публикаций в периодических научных изданиях; 4. Участие в деятельности студенческого научного общества
--	--------------	---	---

Структура и содержание учебной дисциплины

Дисциплина преподается студентам в 3-ем и 4-ом семестрах. Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц, 288 ак. часов.

Календарный план

№ Р а з д е л а	№ Т е м ы	Наименование раздела (темы) дисциплины	Виды учебной деятельности (в часах)					Аттес та ция раздела (форма)	Макси мальный балл за раздел
			Всего	Лекции	Лабораторные	Практические	СРС/КРС		
1	1-6	Основные законы и процессы идеальных газов	50	12	8	8	22	ПР ЛР Т1	30
2	7-16	Реальные газы, пары, влажный воздух и анализ циклов	58	20	8	8	22	ПР ЛР Т2	30
Всего			108	32	16	16	44	3	40
3	17-19	Циклы холодильных установок и компрессоры	90	8		8	61/13	ПР Т3	25
4	20-21	Эксергия и основы химической термодинамики	90	8		8	60/14	ПР Т4	25
Всего			180	16		16	121/27	Э	50

Сокращенное наименование форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Т	Тестирование
ПР	Практическое занятие (отчет/защита)
ЛР	Лабораторная работа (отчет/защита)
З	Зачет
Э	Экзамен

Содержание лекционного курса

Темы лекции. Вопросы, отрабатываемые на лекции	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
Раздел 1. Основные законы и процессы идеальных газов	12	
Лекция 1. Введение. Основные понятия и параметры состояния.	2	[1], [2]

1. Предмет технической термодинамики. Термодинамическая система, рабочее тело, параметры состояния. 2. Уравнение состояния идеального газа. Смеси идеальных газов. Законы Дальтона.		
Лекция 2. <i>Первый закон термодинамики. Энтальпия.</i> 1. Внутренняя энергия. Работа и теплота как формы передачи энергии. 2. Первый закон термодинамики. Аналитическое выражение. 3. Энтальпия. Физический смысл.	2	[1], [2]
Лекция 3. <i>Теплоёмкость. Энтропия, рабочая и тепловая диаграммы.</i> 1. Теплоёмкость (истинная, средняя, изохорная, изобарная). Формула Майера. 2. Энтропия как функция состояния.. 3. p - v - и T - s -диаграммы.	2	[1], [2]
Лекция 4. <i>Термодинамические процессы.</i> 1. Анализ термодинамических процессов: изохорный, изобарный, изотермический 2. Адиабатный процесс. Уравнение, работа, связь параметров. 3. Политропный процесс как обобщение основных процессов. Показатель политропы.	2	[1], [2]
Лекция 5. <i>Водяной пар и его свойства.</i> 1. Реальные газы. Фазовая p - v -диаграмма воды. Процесс парообразования. 2. Пограничные кривые. Влажный, сухой насыщенный и перегретый пар. Степень сухости. 3. Таблицы и h - s -диаграмма водяного пара. Определение параметров.	2	[1], [2]
Лекция 6. <i>Влажный воздух.</i> 1. Основные понятия: абсолютная и относительная влажность, влагосодержание. 2. h - d -диаграмма влажного воздуха (диаграмма Рамзина). Основные процессы изменения состояния влажного воздуха.	2	[1], [2]
Раздел 2. Реальные газы, пары, влажный воздух и анализ циклов	20	
Лекция 7. <i>Циклы термодинамических процессов.</i> 1. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы). Прямой и обратный циклы. Термический КПД. 2. Цикл Карно и его анализ. Теорема Карно.	2	[1], [2]
Лекция 8. <i>Второй закон термодинамики. Объединенное уравнение.</i> 1. Второй закон термодинамики. Необратимость цикла Карно. 2. Объединенное уравнение первого и второго законов термодинамики.	2	[1], [2]
Лекция 9. <i>Циклы поршневых ДВС.</i> 1. Общие сведения о ДВС. Идеализация цикла. 2. Цикл с подводом теплоты при $v=\text{const}$ (цикл Отто). Расчет КПД. 3. Цикл с подводом теплоты при $p=\text{const}$ (цикл Дизеля). Расчет КПД.	2	[1], [2]
Лекция 10. <i>Цикл со смешанным подводом теплоты (цикл Тринклера).</i> 1. Цикл со смешанным подводом теплоты. Расчет КПД. 2. Сравнение циклов ДВС.	2	[1], [2]
Лекция 11. <i>Истечение газов и паров.</i> 1. Первый закон термодинамики для потока. 2. Основные уравнения течения. Скорость и расход при истечении. 3. Сопло Лавала. Критическое давление и скорость. Влияние трения.	2	[1], [2]
Лекция 12. <i>Дросселирование.</i> 1. Сущность процесса дросселирования. Уравнение адиабатного дросселирования. 2. Эффект Джоуля-Томпсона. Дросселирование водяного пара.	2	[1], [2]
Лекция 13. <i>Компрессоры.</i> 1. Принцип действия поршневого компрессора. Идеальный компрессор. Работа на привод при различных процессах сжатия. 2. Реальный компрессор. Вредное пространство. Объемный КПД.	2	[1], [2]

3. Многоступенчатое сжатие.		
Лекция 14. <i>Паротурбинные установки (ПТУ).</i> 1. Паровой цикл Карно. Его недостатки для ПТУ. 2. Цикл Ренкина на перегретом паре. Изображение в h_s - и T_s - диаграммах. 3. Расчет КПД цикла Ренкина.	2	[1], [2]
Лекция 15. <i>Эффективность ПТУ.</i> 1. Способы повышения эффективности цикла ПТУ. 2. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. 3. Цикл ПТУ с регенеративным подогревом питательной воды.	2	[1], [2]
Лекция 16. <i>Эффективность ПТУ.</i> 1. Цикл ПТУ с теплофикационным отбором пара. 2. Цикл ПТУ с необратимыми потерями в турбине и насосе. Определение действительного КПД.	2	[1], [2]
Раздел 3. Циклы холодильных установок и компрессоры	8	
Лекция 17. <i>Циклы холодильных установок.</i> 1. Обратные циклы. Холодильный коэффициент. Обратный цикл Карно. 2. Цикл воздушной холодильной установки. 3. Цикл паровой компрессорной холодильной установки. Расчет.	4	[1], [2]
Лекция 18. <i>Тепловые насосы и термотрансформаторы.</i> 1. Тепловой насос. Отопительный коэффициент. Термотрансформаторы. 2. Основные понятия химической термодинамики. Тепловой эффект реакции. Закон Гесса.	2	[1], [2]
Лекция 19. <i>Тепловые насосы и термотрансформаторы. Основы химической термодинамики.</i> 1. Кондиционеры. Принцип действия. 2. Основы расчёта систем кондиционирования	2	[1], [2]
Раздел 4. Эксергия и основы химической термодинамики	8	
Лекция 20. <i>Эксергетический метод анализа.</i> 1. Понятие эксергии. Потери эксергии как мера термодинамической необратимости. 2. Эксергетический КПД. Сравнение с энергетическим КПД.	2	[1], [2]
Лекция 21. <i>Основы химической термодинамики.</i> 1. Химическое равновесие. Константа равновесия. 2. Изобарно-изотермический потенциал (энергия Гиббса) как критерий направленности процесса. 3. Расчет тепловых эффектов реакций при различных температурах (уравнение Кирхгофа).	6	[1], [2]

Перечень практических занятий

Тема практического занятия. Вопросы, отрабатываемые на практическом занятии	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
Раздел 1.	8	
ПР 1. Расчет параметров газовых смесей. Определение газовой постоянной, парциальных давлений.	2	[3], [4], [5]
ПР 2. Расчет термодинамических процессов идеальных газов (u , h , s , q , l). Построение процессов в $p-v$ - и T_s -диаграммах.	2	[3], [4], [5]
ПР 3. Расчет политропных процессов. Определение показателя политропы и теплоемкости.	2	[3], [4], [5]
ПР 4. Определение параметров водяного пара по таблицам и h_s -диаграмме. Расчет количества теплоты, работы.	2	[3], [4], [5]
Раздел 2.	8	
ПР 5. Расчет циклов ДВС (Отто, Дизеля, Тринклера). Определение параметров, работы и КПД.	2	[3], [4], [5]
ПР 6. Расчет процессов истечения и дросселирования газов и паров. Определение скорости, расхода, параметров после дросселя.	2	[3], [4], [5]

ПР 7. Расчет идеального компрессора. Определение работы сжатия при различных процессах, температуры.	2	[3], [4], [5]
ПР 8. Цикл Ренкина на перегретом паре. Расчет с использованием h -диаграммы и таблиц.	2	[3], [4], [5]
Раздел 3.	8	
ПР 9. Расчет цикла холодильной компрессорной установки	2	[3], [4], [5]
ПР 10. Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара	2	[3], [4], [5]
ПР 11. Цикл Ренкина с регенеративным отбором пара (один отбор)	4	[3], [4], [5]
Раздел 4.	8	[3], [4], [5]
ПР 12. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара и двумя регенеративными отборами пара	4	[3], [4], [5]
ПР 13. Цикл ПТУ с регулируемым теплофикационным отбором пара	2	[3], [4], [5]
ПР 14. Цикл ПТУ с необратимыми потерями в турбине и насосе. Определение действительного КПД.	2	[3], [4], [5]

Перечень лабораторных работ

Темы лабораторных работ. Вопросы, отрабатываемые на лабораторном занятии	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
Раздел 1.	8	
ЛР 1. Изучение конструкции одноступенчатой паровой турбины. (Изучение устройства, основных элементов, принципа работы).	4	[7]
ЛР 2. Изучение зависимости расхода пара через сопло от давления в парогенераторе. (Проведение эксперимента, построение графика $G=f(p)$, анализ результатов).	4	[7]
Раздел 2.	8	
ЛР 3. Изучение зависимости давления насыщенного пара от температуры в парогенераторе. (Проведение эксперимента, построение кривой $p=f(T)$, определение теплоты парообразования).	4	[7]
ЛР 4. Исследование потерь давления (напора) при течении через местное сопротивление в виде резкого сужения потока. (Проведение эксперимента, расчет коэффициента местного сопротивления).	4	[8]

Задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Всего часов	Учебно-методическое обеспечение
Подготовка к лекциям, проработка конспекта	11	[1], [2]
Подготовка к практическим занятиям, оформление отчетов	11	[1], [2], [3], [4], [5]
Подготовка к лабораторным работам, оформление отчетов и подготовка к защите	11	[7], [8]
Выполнение расчетных заданий по темам разделов 1 и 2	11	[3], [4], [5]
Подготовка к лекциям, проработка конспекта	41	[1], [2]
Подготовка к практическим занятиям, оформление отчетов	40	[1], [2], [3], [4], [5]
Выполнение расчетных заданий по темам разделов 3 и 4	40	[3], [4], [5]
Подготовка к экзамену	27	[1], [2], [3], [4], [5], [6]

Расчетно-графическая работа не предусмотрена учебным планом

Курсовая работа не предусмотрена учебным планом

Образовательные технологии

При реализации учебного материала курса используются различные образовательные технологии, способствующие формированию профессиональных компетенций.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций с использованием ПК и компьютерного проектора, что позволяет визуализировать сложные термодинамические процессы и циклы.

Практические занятия направлены на освоение методик расчета и анализа. Лабораторные работы выполняются на действующем оборудовании, что позволяет студентам получить практические навыки экспериментального исследования.

Самостоятельная работа студентов включает проработку теоретического материала, подготовку к практическим и лабораторным занятиям, выполнение домашних расчетных заданий, а также подготовку к тестированию и промежуточной аттестации.

Фонд оценочных средств

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

№ п/п	Наименование контролируемых разделов (темы)	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Наименование оценочного средства
Входной контроль			
1	Входной контроль (свойства газов, основные законы физики)	ПК-1, ПК-5	Вопросы входного контроля (письменно)
3 семестр			
Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости			
2	Раздел 1	ПК-1, ПК-5	Тест №1, Отчет по ПР 1-4, Отчет по ЛР 1-2
3	Раздел 2	ПК-1, ПК-5	Тест №2, Отчет по ПР 5-8, Отчет по ЛР 3-4
Промежуточная аттестация			
4	Зачет	ПК-1, ПК-5	Вопросы к зачету (устно)
4 семестр			
Аттестация разделов, текущий контроль успеваемости			
5	Раздел 3	ПК-1, ПК-5	Тест №3, Отчет по ПР 9-11
6	Раздел 4	ПК-1, ПК-5	Тест №4, Отчет по ПР 12-14
Промежуточная аттестация			
7	Экзамен	ПК-1, ПК-5	Вопросы к экзамену (устно)

Входной контроль предназначен для выявления пробелов в знаниях студентов и готовности их к получению новых знаний. Оценочные средства для входного контроля представляют собой вопросы, которые задаются студентам в **письменной/устной** форме.

Перечень вопросов входного контроля

1. Что такое рабочее тело и окружающая среда?
2. Перечислите основные термодинамические параметры состояния. В каких единицах СИ они измеряются?
3. Дайте определение абсолютной температуры.
4. Сформулируйте законы Бойля–Мариотта, Гей-Люссака и Шарля.
5. Запишите уравнение Клапейрона–Менделеева.
6. В чём отличие модели идеального газа от реального?
7. Что такое теплота и работа как формы передачи энергии? В чём их принципиальное отличие?
8. Что такое теплоёмкость?
9. Что такое тепловой двигатель?
10. Дайте определение коэффициента полезного действия (КПД).

Текущий контроль – это непрерывно осуществляемый мониторинг уровня усвоения знаний и формирования умений и навыков в течение семестра. Текущий контроль знаний, умений и навыков студентов осуществляется в процессе аудиторных учебных занятий, проводимых по

расписанию. Формами текущего контроля выступают опросы/отчеты на практических/лабораторных занятиях, тестирование.

Критерии и шкала оценивания практических занятий:

Параметр оценивания	Балл	
	3 семестр	4 семестр
Студент решил задачу в полном объёме в установленные сроки, результаты решения коррелируются с теорией, при ответе на вопросы по решению задачи даны полные и исчерпывающие ответы.	3	5
Студент решил задачу в полном объёме с нарушением сроков, результаты решения коррелируются с теорией, при ответе на вопросы по решению задачи даны полные и исчерпывающие ответы.	2	4
Студент решил задачу в полном объёме с нарушением сроков, результаты решения коррелируются с теорией, в ходе решения задачи студент допускал ошибки, связанные с пониманием физического смысла рассматриваемых процессов.	1	3

Критерии и шкала оценивания лабораторных работ:

Параметр оценивания	Балл
Студент выполнил и отчитался по лабораторной работе в полном объёме в установленные сроки, результаты измерений достоверны, выводы по выполнению лабораторной работы обоснованы и характеризуются полнотой лабораторного исследования.	4
Студент выполнил и отчитался по лабораторной работе в полном объёме с нарушением сроков, результаты измерений достоверны, выводы по выполнению лабораторной работы обоснованы и характеризуются полнотой лабораторного исследования.	3
Студент выполнил и отчитался по лабораторной работе в полном объёме с нарушением сроков, результаты измерений достоверны, при формулировке выводов по выполнению лабораторной работы студент допускал ошибки, искажающие физический смысл исследуемых процессов. Окончательные выводы по лабораторной работе сформулированы корректно.	2

Аттестация раздела по дисциплине проводится в форме тестирования. Тест содержит от 10 вопросов. Тест – это форма контроля, направленная на проверку уровня освоения контролируемого теоретического и практического материала по дидактическим единицам дисциплины.

Примерный перечень тестовых заданий:

Вопросы	Варианты ответов
1. Под идеальным газом понимают газ	1. характеризующийся постоянным объёмом и давлением. 2. который состоит из конечного числа упругих молекул 3. состоящий из упругих молекул, между которыми отсутствуют силы взаимодействия. 4. любой реальный при повышенном давлении.
2. Газ совершает адиабатное расширение в пустоту без изменения внутренней энергии. Что произойдёт с температурой?	1. Повысится 2. Понизится 3. Не изменится 4. Изменится неоднозначно в зависимости от природы газа
3. Изменяется ли теплоёмкость при изменении температуры?	1. Теплоёмкость является постоянной величиной. 2. Теплоёмкость не зависит от температуры. 3. Изменяется незначительно. 4. Изменяется, причём в некоторых случаях весьма значительно.
4. Удельная изобарная теплоёмкость идеального газа	1. На величину газовой постоянной. 2. На величину изотермической теплоёмкости.

больше его удельной изохорной теплоёмкости	3. Указанные теплоёмкости в практических расчётах допускается принимать равными. 4. На величину коэффициента адиабаты.
5. Энтропия	1. Характеризует изолированность термодинамической системы. 2. Это количество энергии, которой недостаточно для приведения системы в термодинамическое состояние. 3. Характеризует разницу энергии отдельных частей изолированной термодинамической системы при приращении температуры. 4. Это количество энергии системы или материального тела, которая доступна для преобразования в теплоту при определенной температуре и давлении.
6. В изохорном процессе вся теплота	1. Тратится на изменение энтальпии газа. 2. «уходит» на изменение внутренней энергии газа. 3. Идёт на совершение работы. 4. Рассеивается.
7. В изотермическом процессе вся теплота	1. Тратится на изменение энтальпии газа. 2. «Уходит» на изменение внутренней энергии газа. 3. Идёт на совершение работы. 4. Рассеивается.
8. При повышении внешнего давления температура кипения воды смеси (например, в парогенераторе паровой турбины):	1. Зависит только от чистоты воды 2. Остаётся неизменной (100 °C) 3. Понижается по линейному закону 4. Повышается
9. Термический КПД прямого цикла можно снизить	1. Уменьшением q_2 . 2. Увеличением q_2 . 3. Увеличением q_1 . 4. Является величиной постоянной для прямых циклов.
10. Вечный двигатель первого рода невозможен, поскольку:	1. Не может быть КПД > 1 2. Работа не может производиться периодически без затрат энергии извне 3. Теплота сама не переходит от холодного тела к горячему 4. Противоречит второму закону термодинамики
11. Выберите неверное утверждение о цикле Карно:	1. КПД не зависит от рода рабочего тела 2. КПД увеличивается при уменьшении разности $T_1 - T_2$ 3. КПД максимален среди всех циклов в заданном интервале температур 4. Цикл состоит из двух изотерм и двух адиабат
12. Второй закон термодинамики утверждает	1. в цикле нельзя полностью преобразовать теплоту в работу. 2. теплоту возможно полностью превращать в работу. 3. невозможно создать тепловой двигатель, который бы бесконечно совершал работу без подвода теплоты. 4. возможно создать тепловой двигатель, который бы не отдавал теплоту холодной среде.
13. Отличительной особенностью ДВС от других тепловых двигателей является	1. Наличие камеры сгорания. 2. Подвод теплоты осуществляется потоком рабочего тела. 3. Подвод теплоты осуществляется внутри самого двигателя. 4. Все тепловые двигатели идентичны по конструкции.
14. В ДВС процессы сжатия и рабочий ход близки	1. К изохорным. 2. К изобарным. 3. К изотермическим. 4. К адиабатным.
15. Укажите основные параметры, влияющие на КПД	1. Степень сжатия. 2. Степень сжатия и коэффициент адиабаты.

цикла с изобарным подводом теплоты (цикл Дизеля)	3. Степень сжатия, коэффициент адиабаты и степень предварительного расширения. 4. Степень сжатия, коэффициент адиабаты, степень предварительного расширения и степень повышения давления при изохорном сгорании.
16. Почему степень сжатия в бензиновом двигателе ограничена (обычно не выше 10–12)?	1. Из-за детонации (самовоспламенения смеси) 2. Из-за резкого падения механического КПД 3. Из-за теплопередачи через стенки 4. Из-за ограниченной прочности шатунно-поршневой группы
17. Чем ограничено увеличение КПД при завышении температуры пара T_1 в паровом цикле Карно?	1. Температурой критической точки. 2. Температурой окружающей среды. 3. Громоздкостью компрессора. 4. Рисками работы турбины на влажном паре.
18. Чем ограничено увеличение КПД при снижении температуры холодного источника T_2 ?	1. Температурой критической точки. 2. Температурой окружающей среды. 3. Громоздкостью компрессора. 4. Рисками работы турбины на влажном паре.
19. Промежуточный перегрев пара в циклах ТЭС позволяет:	1. Повысить степень сухости пара на выходе из ЦНД и дополнительно увеличить КПД 2. Уменьшить количество ступеней турбины 3. Заменить регенеративный подогрев 4. Работать на низкосортном топливе
20. Коэффициент обратного цикла холодильной машины может быть	1. >1 . 2. <1 . 3. $=1$. 4. Больше, меньше или равным 1.

Количество вопросов в тесте за каждый раздел – 10, время написания – 10 минут. За каждый правильный ответ – 1 балл, максимальное количество баллов -10.

Критерии оценки тестовых заданий:

1. Полнота знаний теоретического контролируемого материала.
2. Количество правильных ответов.

Шкала оценивания:

Параметр оценивания	Балл
Студент ответил на 90 % (и более) вопросов	9-10
Студент ответил на 70-80 % вопросов	7-8
Студент ответил на 60 % вопросов	6
Студент ответил менее чем на 60 % вопросов (не зачтено)	0-5

Промежуточная аттестация осуществляется в форме зачета (3 семестр), экзамена (4 семестр).

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Предмет технической термодинамики. Термодинамическая система, параметры состояния.
2. Уравнение состояния идеального газа. Газовая постоянная.
3. Внутренняя энергия, работа и теплота как формы передачи энергии. Первый закон термодинамики.
4. Энтальпия. Физический смысл.
5. Теплоемкость газов (истинная, средняя, массовая, объемная, мольная). Зависимость от температуры.
6. Теплоемкости при постоянном объеме и давлении. Формула Майера.
7. Энтропия. Изменение энтропии в основных процессах идеального газа.
8. Изохорный процесс. Уравнение, графики, расчет параметров.
9. Изобарный процесс. Уравнение, графики, расчет параметров.
10. Изотермический процесс. Уравнение, графики, расчет параметров.
11. Адиабатный процесс. Уравнение, графики, расчет параметров.
12. Политропный процесс. Обобщение основных процессов.

13. Обратимые и необратимые процессы. Круговые процессы (циклы). Термический КПД прямого цикла.
14. Цикл Карно и его термический КПД. Теорема Карно.
15. Второй закон термодинамики. Различные формулировки.
16. Первый закон термодинамики для потока. Работа проталкивания.
17. Скорость и расход при истечении газов и паров.
18. Дросселирование газов и паров. Эффект Джоуля-Томпсона.
19. Работа идеального поршневого компрессора при различных процессах сжатия.
20. Реальный компрессор. Вредное пространство и объемный КПД.
21. Многоступенчатое сжатие в компрессорах.
22. Цикл Отто. Расчет КПД.
23. Цикл Дизеля. Расчет КПД.
24. Цикл Тринклера. Расчет КПД.
25. Паровой цикл Карно и его недостатки для ПТУ.

Критерии и шкала оценивания зачёта:

Параметр оценивания	Балл
Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, качество изложения теоретического материала оценено числом баллов, близким к максимальному.	36-40
Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, качество изложения теоретического материала снижено по причине нарушений в порядке изложения.	28-35
Теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера.	24-27
Очень слабые знания, недостаточные для понимания курса.	Ниже 24

Примерный перечень вопросов к экзамену

Вопросы включают материал всего курса (3 и 4 семестры).

1. Первый закон термодинамики, его аналитическое выражение и применение к различным системам.
2. Энтальпия и энтропия как функции состояния. Физический смысл.
3. Второй закон термодинамики. Понятие об обратимых и необратимых процессах.
4. Цикл Карно и его значение для теории тепловых машин. КПД цикла Карно.
5. Анализ основных термодинамических процессов идеальных газов (изохорный, изобарный, изотермический).
6. Анализ адиабатного и политропного процессов идеальных газов.
7. Термодинамика потока. Уравнение первого закона для потока.
8. Истечение газов и паров из сопел. Расчет скорости и расхода.
9. Сопло Лаваля. Условия возникновения сверхзвукового течения.
10. Дросселирование газов и паров. Применение в технике.
11. Термодинамика компрессоров. Работа идеального и реального компрессора.
12. Многоступенчатое сжатие в компрессорах. Преимущества.
13. Водяной пар. Свойства и процесс парообразования. Таблицы и h - s -диаграмма.
14. Цикл Ренкина для насыщенного и перегретого пара. Расчет КПД.
15. Влияние начальных и конечных параметров пара на КПД цикла Ренкина.
16. Цикл ПТУ с промежуточным перегревом пара. Схема и термодинамический анализ.
17. Регенеративный цикл ПТУ. Схема и расчет с одним отбором пара.
18. Циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Общая характеристика.
19. Термодинамический анализ цикла с подводом теплоты при постоянном объеме (Отто).
20. Термодинамический анализ цикла с подводом теплоты при постоянном давлении (Дизеля).
21. Термодинамический анализ цикла со смешанным подводом теплоты (Тринклера).
22. Сравнение циклов ДВС.
23. Циклы холодильных установок. Холодильный коэффициент.
24. Цикл паровой компрессорной холодильной установки.

25. Тепловой насос и термотрансформатор. Принцип работы и оценка эффективности.
26. Влажный воздух. Основные параметры и h -диаграмма.
27. Процессы обработки влажного воздуха (нагрев, охлаждение, сушка) на h -диаграмме.
28. Основы химической термодинамики. Тепловой эффект реакции. Закон Гесса.
29. Энергия Гиббса как критерий направленности химических процессов.
30. Понятие об эксергии и эксергетическом методе анализа.

Критерии и шкала оценивания экзамена:

Параметр оценивания	Балл
Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, качество изложения теоретического материала оценено числом баллов, близким к максимальному.	45-50
Теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, качество изложения теоретического материала снижено по причине нарушений в порядке изложения.	35-44
Теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера.	30-34
Очень слабые знания, недостаточные для понимания курса.	Ниже 30

Шкалы оценки образовательных достижений

- **Зачет (3 семестр):** Итоговая оценка «зачтено» выставляется студенту, если он набрал в сумме за семестр (текущий контроль + баллы на зачете) не менее 60 баллов. Оценка «не зачтено» — менее 60 баллов.
- **Экзамен (4 семестр):** Итоговая оценка выставляется по сумме баллов за семестр (текущий контроль, макс. 50 баллов) и баллов, полученных на экзамене (макс. 50 баллов).
 - **90-100 баллов** — «отлично»
 - **70-89 балла** — «хорошо»
 - **60-69 баллов** — «удовлетворительно»
 - Менее 60 баллов — «неудовлетворительно»

Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

Основная литература:

1. Петров, А. И. Техническая термодинамика и теплопередача / А. И. Петров. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. - 428 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/362333>
2. Цирельман, Н. М. Техническая термодинамика: учебное пособие для вузов / Н. М. Цирельман. - 4-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2025. - 352 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/447362>

Дополнительная литература:

3. Белозеров, В. И. Сборник задач по курсу «Техническая термодинамика»: учебное пособие / В. И. Белозеров. - Москва: НИЯУ МИФИ, 2021. - 92 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/284327>
4. Морозов, В. В. Техническая термодинамика: учебное пособие / В. В. Морозов, Н. М. Максимов. - Великие Луки: Великолукская ГСХА, 2022. - 172 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/261638>
5. Соколов, В. Ю. Техническая термодинамика: учебное пособие / В. Ю. Соколов, Т. Ю. Соколова. - Оренбург: ОГУ, 2023. - 132 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/422837>
6. Техническая термодинамика: учебник / В. В. Карнаух, А. Б. Бирюков, К. А. Ржесик, А. Н. Лебедев. - Донецк: ДонНУЭТ имени Туган-Барановского, 2021. - 480 с. - URL: <https://e.lanbook.com/book/202715>
7. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Техническая термодинамика» и «Котельные установки и парогенераторы» для студентов направления «Теплоэнергетика и теплотехника» всех форм обучения.
8. Типовой комплект учебного оборудования «Механика жидкости» ТМЖ-2В-09-12ЛР-01. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ, ТМЖ-2В-09-12ЛР-01.000 ПЗ.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»: <https://mephi.ru/>
- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <https://elibrary.ru/>
- Электронно-библиотечная система «Лань»: <https://e.lanbook.com/>

Материально-техническое обеспечение учебной дисциплины

Занятия проводятся в учебной аудитории, предназначенной для проведения занятий лекционного и практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Аудитория оснащена необходимым оборудованием. Лабораторные занятия проводятся в специализированных лабораториях, оснащенных действующими лабораторными стендами:

- Лабораторный стенд «Паровая турбина».
- Лабораторный стенд «Исследование процессов истечения».

В распоряжении обучающихся студентов имеются электронно-библиотечные системы.

Учебно-методические рекомендации для студентов

Изучение дисциплины требует систематической работы. Рекомендуется посещать все лекционные и практические занятия, своевременно выполнять лабораторные работы и домашние задания. При подготовке к практическим занятиям необходимо разобрать решения типовых задач. Для успешного выполнения лабораторных работ следует заранее ознакомиться с методическими указаниями и изучить теоретический материал по теме. Большое внимание следует уделить работе со справочными материалами: таблицами водяного пара, h_s - и h_d -диаграммами.

Методические рекомендации для преподавателей

Основное внимание при чтении лекций следует уделять разъяснению физической сущности термодинамических законов и процессов, их взаимосвязи. На практических занятиях необходимо добиваться от студентов уверенного владения методиками расчета и навыками работы с диаграммами и таблицами. Лабораторные работы должны способствовать закреплению теоретических знаний и приобретению практических навыков экспериментальной работы. В процессе обучения целесообразно использовать активные и интерактивные формы проведения занятий, поощрять самостоятельную работу студентов.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС НИЯУ МИФИ и учебным планом основной образовательной программы по направлению подготовки 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника.

Рабочую программу составил профессор В.М. Земсков

Рецензент: доцент Т.А. Ефремова

Программа одобрена на заседании УМКН 13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника.

Председатель учебно-методической комиссии Разуваев А.В.