

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Инженерно-технический институт

*Кафедра управления в технических системах
и инновационных технологий*

Рабочая программа дисциплины
включая фонд оценочных средств и методические указания для
самостоятельной работы обучающихся

Б1.О.22 Теплотехника

Направление подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов
и производств»

Направленность (профиль) – «Системы автоматического управления»

Программа подготовки – академический бакалавриат

Квалификация - бакалавр

Количество зачётных единиц (часов) – 3 (108)

г. Екатеринбург
2022

Разработчик программы: к.т.н., доцент  /А.И. Сафронов/

Рабочая программа утверждена на заседании кафедры управления в технических системах и инновационных технологий
(протокол № 6 от «02» февраля 2022 года).

Зав. кафедрой  /А.Г. Гороховский/

Рабочая программа рекомендована к использованию в учебном процессе методической комиссией инженерно-технического института
(протокол № 7 от «03» марта 2022 года).

Председатель методической комиссии ИТИ  /А.А. Чижов /

Рабочая программа утверждена директором инженерно-технического института

Директор ИТИ  /Е.Е. Шишкина/

«24» марта 2022 года

Оглавление

1. Общие положения.	4
2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	4
3. Место дисциплины в структуре образовательной программы.	5
4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся.	5
5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов.	5
5.1 Трудоемкость разделов дисциплины.	5
5.2 Содержание занятий лекционного типа.	6
5.3 Темы и формы занятий семинарского типа.	6
5.4 Детализация самостоятельной работы.	7
6. Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине.	7
7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.	8
7.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.	8
7.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания.	9
7.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.	9
7.4 Соответствие шкалы оценок и уровней сформированных компетенций.	14
8. Методические указания для самостоятельной работы обучающихся.	15
9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	15
10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	16

1. Общие положения.

Наименование дисциплины – «Теплотехника», относится к дисциплинам (модулям) учебного плана, входящего в состав образовательной программы высшего образования 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств (профиль — Системы автоматического управления). Дисциплина «Теплотехника» является дисциплиной обязательной части учебного плана.

Нормативно-методической базой для разработки рабочей программы учебной дисциплины «Теплотехника» являются:

- Федеральный закон "Об образовании в Российской Федерации", утвержденный приказом Минобрнауки РФ № 273-ФЗ от 29.12.2012;
- Приказ Минобрнауки России № 301 от 05.04.2017 г. Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры.
- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» (уровень бакалавриата), утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ № 730 от 09.08.2021;
- Учебный план образовательной программы высшего образования направления 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств (профиль - Системы автоматического управления), подготовки бакалавров по очной форме обучения, одобренный Ученым советом УГЛТУ (протокол №3 от 24.03.2022) и утвержденный ректором УГЛТУ (24.03.2022).

Обучение по образовательной программе 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств (профиль - Системы автоматического управления) осуществляется на русском языке.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Планируемыми результатами обучения по дисциплине, являются знания, умения, владения и/или опыт деятельности, характеризующие этапы/уровни формирования компетенций и обеспечивающие достижение планируемых результатов освоения образовательной программы в целом.

Целью изучения дисциплины является теоретическая и практическая подготовка инженера, способного осуществить обоснованный выбор и грамотную эксплуатацию современного теплотехнического оборудования на основе принципов совершенствования технологических процессов, экономии и рационального использования энергоресурсов.

Задачей изучения дисциплины является формирование у студента знаний основных законов получения, преобразования, передачи и использования тепловой энергии, а также принципов действия и конструктивных особенностей теплотехнического оборудования.

Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций: **ОПК-1:** Применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.

В результате изучения дисциплины студент должен:

знать: основные законы получения, передачи и преобразования тепловой энергии, методы эффективного использования теплоты, принципы действия и области применения теплоэнергетического оборудования; методы решения проблем автоматизации производства.

уметь: производить тепловые расчеты и измерения основных теплотехнических показателей, проводить технико-экономическую оценку эффективности методов генерации, передачи и использования тепловой энергии; разрабатывать варианты решения проблем автоматизации производства.

владеть: навыками применения основных законов термодинамики и теплообмена, сравнительного анализа различных способов проведения процессов теплообмена; навыками выбора вариантов оптимального прогнозирования последствий автоматизации производства.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Данная учебная дисциплина относится к обязательной части учебного плана, что означает формирование в процессе обучения у бакалавра профессиональных знаний и компетенций в рамках выбранного направления, а также навыков производственно-технологической деятельности в подразделениях организаций.

Освоение данной дисциплины является необходимой основой для последующего изучения дисциплин ОПОП и написания выпускной квалификационной работы (см. табл.).

Перечень обеспечивающих, сопутствующих и обеспечиваемых дисциплин

Обеспечивающие	Сопутствующие	Обеспечиваемые
Математика; Физика; Химия; Учебная практика (ознакомительная)	Соппротивление материалов; Гидравлика и гидро- пневмопривод; Материаловедение. Технология конструкционных материалов; Начертательная геометрия; Инженерная графика; Метрология, стандартизация и сертификация; Теоретическая механика	Физические основы микроэлектроники; Теория механизмов и машин; Детали машин; Электротехника и электроника; Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Математика в системах управления; Теория автоматического управления

Указанные связи дисциплины «Теплотехника» дают обучающемуся системное представление о комплексе изучаемых дисциплин в соответствии с ФГОС ВО, что обеспечивает требуемый теоретический уровень и практическую направленность в системе обучения и будущей деятельности выпускника.

4. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего академических часов	
	очная форма	заочная форма
Контактная работа с преподавателем*:	52,25	12,25
лекции (Л)	18	4
практические занятия (ПЗ)	18	4
лабораторные работы (ЛР)	16	4
промежуточная аттестация (ПА)	0,25	0,25
Самостоятельная работа обучающихся	55,75	95,75
изучение теоретического курса	33	57
подготовка к текущему контролю знаний	11	19
подготовка к промежуточной аттестации	11,75	19,75
Вид промежуточной аттестации:	Зачет	Зачет
Общая трудоемкость	3/108	3/108

**Контактная работа обучающихся с преподавателем, в том числе с применением дистанционных образовательных технологий, включает занятия лекционного типа, и (или) занятия семинарского типа, лабораторные занятия, и (или) групповые консультации, и (или) индивидуальную работу обучающегося с преподавателем, а также аттестационные испытания промежуточной аттестации. Контактная работа может включать иные виды учебной деятельности, предусматривающие групповую и индивидуальную работу обучающихся с преподавателем. Часы контактной работы определяются Положением об организации и проведении контактной работы при реализации образовательных программ высшего образования, утвержденным Ученым советом УГЛТУ от 25 февраля 2020 года.*

5. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов

5.1 Трудоемкость разделов дисциплины

Очная форма обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	Всего контактной работы	Самостоятельная работа
1	Техническая термодинамика	6	4	8	18	14

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	Всего контактной работы	Самостоятельная работа
2	Основы теории теплообмена	8	8	8	24	20
3	Промышленная теплотехника	4	6	-	10	10
Итого по разделам:		18	18	16	52	44
Промежуточная аттестация		-	-	-	0,25	11,75
Всего:		108				

Заочная форма обучения

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Л	ПЗ	ЛР	Всего контактной работы	Самостоятельная работа
1	Техническая термодинамика	1	2	2	5	25
2	Основы теории теплообмена	2	2	2	6	35
3	Промышленная теплотехника	1	-	-	1	16
Итого по разделам:		4	4	4	12	76
Промежуточная аттестация		-	-	-	0,25	19,75
Всего:		108				

5.2 Содержание занятий лекционного типа

Тема 1. Техническая термодинамика.

Предмет теплотехники, связь с другими отраслями знаний. Основные понятия и определения технической термодинамики. Первый закон термодинамики, энтальпия, $p-v$ - диаграмма. Теплоемкость газов. Второй закон термодинамики, энтропия, $T-s$ - диаграмма. Понятие о циклах, термический КПД цикла. Циклы Карно, холодильных машин, тепловых насосов. Основные термодинамические процессы идеальных газов. Реальные газы - водяной пар. Процессы парообразования в $p-v$, $T-s$ и $h-s$ - диаграммах. Влажный воздух. Термодинамика открытых систем: уравнение первого закона термодинамики для потока, течение газа в соплах и диффузорах, дросселирование газов и паров. Термодинамический анализ процессов в компрессорах. Циклы теплосиловых установок: двигателей внутреннего сгорания, газотурбинных и паротурбинных установок.

Тема 2. Основы теории теплообмена

Виды и количественные характеристики переноса тепла. Теплопроводность: закон Фурье, коэффициент теплопроводности, передача тепла теплопроводностью через плоскую и цилиндрическую стенки. Конвективный теплообмен: закон Ньютона - Рихмана, коэффициент теплоотдачи. Понятие теплового пограничного слоя и начального участка. Основные критериальные уравнения для расчета коэффициентов теплоотдачи. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния вещества (кипение, конденсация). Передача тепла излучением: основные определения, законы Стефана - Больцмана и Кирхгофа, теплообмен излучением между двумя телами. Теплопередача через плоскую и цилиндрическую стенки, коэффициент теплопередачи. Методы интенсификации теплопередачи. Основы расчета теплообменных аппаратов: уравнения теплового баланса и теплопередачи, схемы движения теплоносителей, средний температурный напор. Типовые конструкции теплообменных аппаратов.

Тема 3. Промышленная теплотехника

Виды и характеристики топлива, основы горения. Котельные установки: классификация, принципиальная технологическая схема. Устройство парового котла. Охрана окружающей среды от вредных выборов котельных установок. Тепловой баланс и КПД котельного агрегата. Типы и конструкции паровых и водогрейных котлов, основы водоподготовки. Тепловые электрические станции: принципиальные схемы конденсационной ТЭС и ТЭЦ.

5.3 Темы и формы занятий семинарского типа

Учебным планом по дисциплине предусмотрены практические и лабораторные занятия.

№	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Форма проведения занятия	Трудоёмкость, час	
			Очная	Заочная
1	Тема 1. Техническая термодинамика. (Расчет политропного процесса идеального газа.)	Практическое занятие	2	2

№	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Форма проведения занятия	Трудоёмкость, час	
			Очная	Заочная
2	Тема 1. Техническая термодинамика. (Расчет паротурбинной установки, работающей по циклу Ренкина.)	Практическое занятие	2	-
3	Тема 1. Техническая термодинамика. (Определение изобарной теплоемкости воздуха.)	Лабораторное занятие	2	2
4	Тема 1. Техническая термодинамика. (Определение показателя адиабаты.)	Лабораторное занятие	2	-
5	Тема 1. Техническая термодинамика. (Определение теплоты парообразования воды.)	Лабораторное занятие	4	-
6	Тема 2. Основы теории теплообмена. (Расчет передачи тепла теплопроводностью через многослойную плоскую стенку.)	Практическое занятие	2	-
7	Тема 2. Основы теории теплообмена. (Расчет теплоотдачи при свободном движении жидкости.)	Практическое занятие	2	2
8	Тема 2. Основы теории теплообмена. (Расчет теплообменного аппарата.)	Практическое занятие	4	-
9	Тема 2. Основы теории теплообмена. (Определение коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов и коэффициента теплопередачи.)	Лабораторное занятие	-	2
10	Тема 2. Основы теории теплообмена. (Исследование теплоотдачи при движении воздуха в пучке труб.)	Лабораторное занятие	4	-
11	Тема 2. Основы теории теплообмена. (Исследование теплоотдачи при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве.)	Лабораторное занятие	4	-
12	Тема 3. Промышленная теплотехника. (Расчет производственно-отопительной котельной.)	Практическое занятие	6	-
Итого часов:			34	8

5.4 Детализация самостоятельной работы

№	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Вид самостоятельной работы	Трудоёмкость, час	
			очная	заочная
1	Техническая термодинамика	Подготовка к текущему контролю, защита практических и лабораторных работ	16	26
2	Основы теории теплообмена	Подготовка к текущему контролю, защита практических и лабораторных работ	20	37
3	Промышленная теплотехника	Подготовка к текущему контролю, защита практических и лабораторных работ	8	13
Подготовка к промежуточной аттестации			11,75	19,75
Итого:			55,75	95,75

6. Перечень учебно-методического обеспечения по дисциплине **Основная и дополнительная литература**

№	Автор, наименование	Год издания	Примечание
Основная литература			
1	Круглов, Г. А. Теплотехника : учебное пособие / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова. — Челябинск : ИАИ ЮУрГАУ, 2008. — 229 с. — ISBN 978-5-87039-163-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/9747 — Режим доступа: для авториз. пользователей.	2008	*полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю
2	Путилин, Ю. В. Теплотехника : метод. указания по подготовке к интернет-экзамену для студентов очной формы обучения / Ю. В. Путилин ; Урал. гос. лесотехн. ун-т, Каф. энергетики. - Екатеринбург : УГЛТУ, 2012. - 39 с. : ил. - Библиогр.: с. 39. https://elar.usfeu.ru/handle/123456789/1086	2012	Электронный ресурс УГЛТУ
Дополнительная литература			

№	Автор, наименование	Год издания	Примечание
3	Теплотехника. Практический курс : учебное пособие / Г. А. Круглов, Р. И. Булгакова, Е. С. Круглова, М. В. Андреева. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 192 с. — ISBN 978-5-8114-2575-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167462 — Режим доступа: для авториз. пользователей.	2021	*полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю
4	Введение в специальность : учебное пособие / А. Ф. Смоляков, И. В. Иванова, И. Н. Дюкова, А. А. Куликов. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2016. — 68 с. — ISBN 978-5-9239-0829-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/74031 — Режим доступа: для авториз. пользователей.	2016	*полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю
5	Общая теплотехника : учебное пособие / И. В. Иванова, А. Ф. Смоляков, А. А. Куликов, И. Н. Дюкова. — Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2016. — 88 с. — ISBN 978-5-9239-0811-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/74024 — Режим доступа: для авториз. пользователей.	2016	*полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю
6	Сборник задач по теплотехнике и теплоснабжению : учебное пособие / Ю. П. Семенов, А. Б. Левин, В. А. Дмитроц [и др.] ; под редакцией Ю. П. Семёно. — 2-е изд. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 245 с. — ISBN 5-8135-0324-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/104628 — Режим доступа: для авториз. пользователей.	2006	*полнотекстовый доступ при входе по логину и паролю

*- *прежде чем пройти по ссылке, необходимо войти в систему.*

Функционирование электронной информационно-образовательной среды обеспечивается соответствующими средствами информационно-коммуникационных технологий.

Электронные библиотечные системы

Каждый обучающийся обеспечен доступом к электронно-библиотечной системе УГЛТУ (<http://lib.usfeu.ru/>), ЭБС Издательства Лань <http://e.lanbook.com/> ЭБС Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru/>, содержащих издания по основным изучаемым дисциплинам и сформированных по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы. Электронная база периодических изданий ИВИС <https://dlib.eastview.com/>

Справочные и информационные системы

1. Справочно-правовая система «Консультант Плюс».
2. Информационно-правовой портал Гарант. Режим доступа: <http://www.garant.ru/>
3. База данных Scopus компании Elsevier B.V. <https://www.scopus.com/>
4. Информационная система «ТЕХНОРМАТИВ» - (<https://www.technormativ.ru/>)
5. «Техэксперт» - профессиональные справочные системы – (<http://техэксперт.рус/>);

Профессиональные базы данных

1. Научная электронная библиотека eLibrary. Режим доступа: <http://elibrary.ru/> .
2. Экономический портал (<https://instituciones.com/>);
3. Информационная система РБК (<https://ekb.rbc.ru/>);
4. Государственная система правовой информации (<http://pravo.gov.ru/>);
5. База данных «Единая система конструкторской документации» - (<http://eskd.ru/>);
6. База стандартов и нормативов – (<http://www.tehlit.ru/list.htm>);

7. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

7.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Формируемые компетенции	Вид и форма контроля
ОПК-1: Применять естественнонаучные и инженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности.	Промежуточный контроль: контрольные вопросы к зачету; Текущий контроль: защита практических и лабораторных работ

7.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Критерии оценивания устного ответа на контрольные вопросы к зачету (промежуточный контроль формирование компетенции ОПК-1):

Зачтено - дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний об объекте, доказательно раскрыты основные положения темы; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Знание об объекте демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Ответ изложен литературным языком в терминах науки, показана способность быстро реагировать на уточняющие вопросы;

Зачтено - дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен в терминах науки. Однако допущены незначительные ошибки или недочеты, исправленные обучающимся с помощью «наводящих» вопросов;

Зачтено - дан неполный ответ, логика и последовательность изложения имеют существенные нарушения. Допущены грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, теорий, явлений, вследствие непонимания обучающимся их существенных и несущественных признаков и связей. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть конкретные проявления обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции;

Не зачтено - обучающийся демонстрирует незнание теоретических основ предмета, не умеет делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает слабое владение монологической речью, не владеет терминологией, проявляет отсутствие логичности и последовательности изложения, делает ошибки, которые не может исправить, даже при коррекции преподавателем, отказывается отвечать на занятии.

Критерии оценивания защиты практических и лабораторных работ (текущий контроль формирования компетенций ОПК-1):

Зачтено: выполнены все задания, обучающийся четко и без ошибок ответил на все контрольные вопросы.

Зачтено: выполнены все задания, обучающийся с небольшими ошибками ответил на все контрольные вопросы.

Зачтено: выполнены все задания с замечаниями, обучающийся ответил на все контрольные вопросы с замечаниями.

Не зачтено: обучающийся не выполнил или выполнил неправильно задания, ответил на контрольные вопросы с ошибками или не ответил на конкретные вопросы.

7.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Контрольные вопросы к зачету (промежуточный контроль)

1. Основные понятия технической термодинамики, параметры и уравнения состояния, термодинамический процесс.
2. Первый закон термодинамики и его аналитические выражения.
3. Второй закон термодинамики, энтропия, T-s-диаграмма.
4. Круговые термодинамические процессы (прямые и обратные циклы). Цикл Карно. Термический КПД цикла.
5. Теплоемкость: определение, c_p и c_v и связь между ними.
6. Водяной пар как рабочее тело, закономерности парообразования.
7. Термодинамические процессы идеальных газов.
8. Термодинамика смеси идеальных газов. Влажный воздух.
9. Основные закономерности течения газа в соплах и диффузорах.
10. Дросселирование газов и паров.
11. Термодинамический анализ процессов в компрессорах.
12. Термодинамические циклы поршневых двигателей внутреннего сгорания.

13. Термодинамические циклы паротурбинных установок.
14. Термодинамический цикл газотурбинной установки.
15. Виды и количественные характеристики переноса тепла, понятие теплоотдачи и теплопередачи.
16. Передача тепла теплопроводностью: закон Фурье, физический смысл коэффициента теплопроводности.
17. Конвективный теплообмен: закон Ньютона-Рихмана, коэффициент теплоотдачи и факторы, влияющие на его величину.
18. Тепловой пограничный слой и термический начальный участок.
19. Виды критериальных уравнений конвективного теплообмена. Физический смысл критериев подобия Nu , Re , Gr , Pr .
20. Теплоотдача при конденсации и кипении.
21. Передача тепла излучением: основные понятия и определения, закон Стефана-Больцмана.
22. Теплопередача и методы ее интенсификации, физический смысл коэффициента теплопередачи.
23. Уравнения теплового баланса теплообменных аппаратов «жидкость-жидкость» и «пар-жидкость».
24. Основы методики расчета теплообменных аппаратов.
25. Типовые конструкции теплообменных аппаратов.
26. Виды и характеристики энергетического топлива, основы горения.
27. Основные конструкции паровых и водогрейных котлов, их классификация по производительности.
28. Котельные установки: классификация, принципиальные технологические схемы.
29. Тепловой баланс котельного агрегата. КПД котла и КПД ТЭС.

Примеры практических работ (текущий контроль)

Практическая работа №1 «Расчет политропного процесса идеального газа»

Цель работы: рассчитать политропный процесс идеального газа с определением начальных и конечных параметров (P , v , T), теплоемкости c_p и c_v , процесса, величин работы ℓ , теплоты q , изменения: внутренней энергии Δu , энтальпии Δh , энтропии Δs . Данные для расчета взять из табл. 1

Расчеты проводятся для 1 кг газа. По результатам построить графики процессов в p, v - и T, s -координатах.

Исходные данные к практической работе №1

Таблица 1

№ задания	Газ	P_1 , МПа	P_2 , МПа	n	t_1 , °C
1	Воздух	1,0	0,60	1,2	227
2		1,0	0,65	1,25	207
3		1,0	0,70	1,3	247
4		1,0	0,75	1,35	267
5		1,0	0,80	1,38	277
6	O_2	0,95	0,65	1,27	187
7		0,90	0,60	1,33	177
8		0,85	0,55	1,22	167
9		0,80	0,50	1,15	157
10		0,75	0,45	1,1	147
11	N_2	0,10	0,6	1,12	0
12		0,15	0,6	1,18	10
13		0,20	0,6	1,25	20
14		0,25	0,6	1,33	30
15		0,30	0,6	1,4	40
16	CO_2	0,08	0,4	1,15	-5
17		0,12	0,45	1,20	5
18		0,18	0,5	1,25	15
19		0,22	0,55	1,30	25
20		0,28	0,6	1,35	35
21		0,14	0,54	1,2	7

22	H ₂	0,16	0,52	1,15	17
23		0,18	0,50	1,1	27
24		0,20	0,48	1,0	37
25		0,22	0,46	1,3	47

Порядок (методика) выполнения расчетов

1. Теплоемкость процесса, кДж/(кг·К)

$$C_n = C_v \frac{n - k}{n - 1} \quad (1.1)$$

где $k = c_p / c_v$ - показатель адиабаты; c_p, c_v - теплоемкости в процессах при постоянном давлении и постоянном объеме соответственно, кДж/(кг·К).

Последние величины могут быть определены в соответствии с молекулярно-кинетической теорией в зависимости от атомности газа по выражениям:

$$c_v = \mu c_{v0} / \mu; \quad c_p = \mu c_{p0} / \mu. \quad (1.2)$$

Значения μc_{v0} и μc_{p0} приведены в табл.2, а значения μ – в Приложении

Значения молярных теплоемкостей μc_p и μc_v идеального газа

Таблица 2

Атомность газа	μc_v кДж/(кмоль·К)	μc_p , кДж/(кмоль·К)	$k = c_p / c_v$
Одноатомные	12,47	20,78	1,67
Двухатомные	20,78	29,10	1,40
Трех- и многоатомные	24,94	33,25	1,33

2. Определение температуры T_2 .

Для идеального газа справедливо следующее соотношение параметров:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}. \quad (1.3)$$

Учитывая, что значения P_2, P_1, T_1 заданы в исходных данных, из (1.3) можно определить T_2 , подставляя значения температуры в градусах К.

3. Определение удельных объемов v , м³/кг.

Используя уравнение состояния $Pv = RT$, получаем соотношения

$$v_1 = RT_1 / P_1; \quad v_2 = RT_2 / P_2. \quad (1.4)$$

Значения газовой постоянной R приведены ниже в Приложении, давления P_1 и P_2 подставляются в (1.4) в кПа.

4. Удельное количество теплоты, кДж/кг

$$q = C_n (T_2 - T_1) \quad (1.5)$$

1. Удельная работа расширения (сжатия), кДж/кг

$$\ell = \frac{R}{n-1} (T_1 - T_2) \quad (1.6)$$

2. Изменение удельной внутренней энергии, кДж/кг

$$\Delta u = u_2 - u_1 = c_v (T_2 - T_1) \quad (1.7)$$

3. Изменение удельной энтальпии, кДж/кг

$$\Delta h = h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1) \quad (1.8)$$

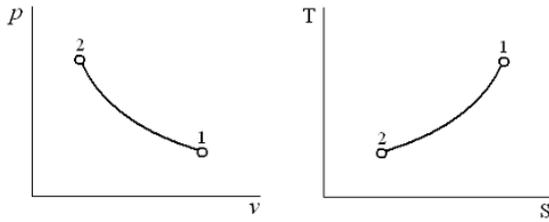
4. Изменение удельной энтропии, кДж/кг·К

$$\Delta s = s_2 - s_1 = c_p \ln(T_2/T_1) - R \ln(P_2/P_1) \quad (1.9)$$

Результаты расчетов должны (**с погрешностью не более 5%**) удовлетворять первому закону термодинамики:

$$q = \Delta u + \ell \quad (1.11)$$

По результатам построить графики процессов в P, v - и T, s - координатах (без масштаба). Значения μ и R приведены в приложении.



Особенности расчета частных случаев политропного процесса (основных процессов) приведены в табл.3.

Расчет термодинамических процессов идеального газа

Таблица 3

	Изохора	Изобара	Изотерма	Адиабата
Показатели политропы	∞	0	1	k
Связь между параметрами	$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$\frac{v_2}{v_1} = \frac{T_2}{T_1}$	$\frac{p_2}{p_1} = \frac{v_1}{v_2}$	$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^k = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$
c_n	c_v	c_p	∞	0
q	$c_v = (T_2 - T_1) = \Delta u$	$c_p = (T_2 - T_1) = \Delta h$	ℓ	0
ℓ	0	$p(v_2 - v_1) = R(T_2 - T_1)$	$RT \ln \frac{v_2}{v_1}$	$\frac{R}{k-1}(T_1 - T_2)$
Δu	$u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1)$	$u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1)$	0	$u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1)$
Δh	$h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$	$h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$	0	$h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$
ΔS	$c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$	$c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$	$R \ln \frac{v_2}{v_1}$	0
	$c_v \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1} = c_v \ln \frac{p_2}{p_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$			

Молекулярная масса μ и газовая постоянная R для различных газов

Приложение

Газы	Воздух	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂
μ , кг/кмоль	28,97	32,0	28,01	44,01	2,016
R, кДж/кг·К	0,287	0,260	0,297	0,189	4,124
R, Дж/кг·К	287	260	297	189	4124

Вопросы, выносимые на опрос по теме практической работы:

1. Для каких процессов политропный процесс имеет обобщающее значение ?
2. Чему равна площадь под кривой политропного процесса в p-v диаграмме ?
3. Чему равна площадь под кривой политропного процесса в T-s диаграмме ?
4. В чем смысл проверки правильности расчетов по первому закону термодинамики ?
5. Диапазон значений показателя политропы ?
6. Каков диапазон значений показателя политропы для реальных процессов ?

Практическая работа №2

«Расчет теплоотдачи при свободном движении жидкости»

Цель работы: определить тепловой поток от неизолированного трубопровода наружным диаметром d и длиной L к окружающему воздуху. Температура стенки – t_c , температура воздуха – $t_{ж}$. Данные для расчета взять из таблицы 1.

Исходные данные к практической работе №2

Таблица 1

№ п/п варианта	d, мм	L, м	t_c , °C	$t_{ж}$, °C	Расположение трубопровода
1	60	4	100	0	Вертикальное
2	70	5	110	5	
3	80	6	120	10	
4	90	7	130	15	
5	100	8	140	20	

6	110	9	150	25	
7	130	10	160	30	
8	140	12	170	2	
9	150	14	180	4	
10	160	16	190	6	
11	170	18	200	8	
12	180	20	220	12	
13	200	25	240	14	Горизонтальное
14	190	30	250	16	
15	220	35	260	- 2	
16	240	40	270	- 4	
17	260	28	280	- 6	
18	280	23	290	- 8	
19	290	37	300	0	
20	300	12	320	18	
21	320	17	210	20	
22	340	38	230	22	
23	360	22	165	24	
24	380	24	145	26	
25	400	16	125	28	
26	420	11	350	4	
27	440	21	370	10	

Свободное движение (естественная конвекция) обусловлено разностью плотностей нагретых и холодных частиц жидкости. Оно характеризуется числом Грасгофа

$$Gr_{ж} = g \cdot \beta (T_c - T_{ж}) \cdot \ell^3 / \nu_{ж}^2, \quad (2.1)$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение силы тяжести;

β – коэффициент объемного расширения (для газов $\beta = \frac{1}{T_{ж}}$), $\frac{1}{\text{К}}$;

T_c и $T_{ж}$ – температуры нагретой поверхности и неподвижной жидкости вдали от поверхности соответственно, К;

ℓ – характерный размер, м: для вертикального расположения поверхностей $\ell = L$ (длина), для горизонтального - $\ell = d$ (диаметр);

$\nu_{ж}$ – коэффициент кинематической вязкости жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$.

За определяющую температуру принята температура жидкости вдали от нагретой поверхности.

Свободное движение жидкости у вертикальных поверхностей (пластины, трубы) может быть ламинарным или турбулентным. Характер движения определяет механизм теплообмена, поэтому получены различные критериальные зависимости для расчета средних коэффициентов теплоотдачи вдоль поверхности.

Для ламинарного движения жидкости ($10^3 < Gr_{ж} \cdot Pr_{ж} < 10^9$)

$$Nu_{ж} = 0,76(Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,25} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25} \quad (2.2)$$

где $Pr_{ж}$ и $Pr_{ст}$ – числа Прандтля, определяемые в таблице для жидкости (приложение) по температурам жидкости и стенки соответственно;

Для турбулентного движения жидкости ($Gr_{ж} \cdot Pr_{ж} > 10^9$)

$$Nu_{ж} = 0,15(Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,33} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25} \quad (2.3)$$

Средние коэффициенты теплоотдачи при свободном движении жидкости около горизонтальных труб определяются по следующей зависимости :

$$Nu_{ж} = 0,5(Gr_{ж} \cdot Pr_{ж})^{0,25} \left(\frac{Pr_{ж}}{Pr_{ст}}\right)^{0,25} \quad (2.4)$$

В формулах (2.2) - (2.4) за определяющую температуру принята температура жидкости (капельной жидкости или газа) вдали от поверхности, за определяющий размер – высота поверхности в (2.2) и (2.3) и диаметр трубы в (2.4).

Средний коэффициент теплоотдачи α , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ определяется по числу Нуссельта:

$$\alpha = (Nu_{ж} \cdot \lambda_{ж}) / \ell \quad (2.5)$$

Применительно к теплоотдаче к воздуху значения его невелики и составляют величину $\alpha = 5-10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Тепловой поток в процессе теплоотдачи находится по уравнению Ньютона – Рихмана:

$$Q = \alpha \cdot F(T_c - T_j), \text{ Вт}, \quad (2.6)$$

где $F = \pi d L$ - площадь поверхности теплообмена, м^2 .

Решение задачи заключается в выполнении расчетов по формулам (2.1) -(2.6) с обязательным наименованием входящих в формулу величин и их размерностей.

Физические свойства сухого воздуха при $P = 760 \text{ мм.рт.ст.}$

Приложение

t, °C	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr	t, °C	$\lambda \cdot 10^2$, Вт/(м·К)	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	Pr
-40	2,12	10,04	0,728	120	3,34	25,45	0,686
-20	2,28	12,79	0,716	140	3,49	27,80	0,684
0	2,44	13,28	0,707	160	3,64	30,09	0,682
20	2,59	15,06	0,703	180	3,78	32,49	0,681
40	2,76	16,96	0,699	200	3,93	34,85	0,680
60	2,90	18,97	0,696	250	4,27	40,61	0,677
80	3,05	21,09	0,692	300	4,60	48,33	0,674
100	3,21	23,13	0,688				

Вопросы, выносимые на опрос по теме практической работы:

1. Что называется процессом теплоотдачи ?
2. В чем заключается физический смысл коэффициента теплоотдачи ?
3. Причины возникновения свободной конвекции ?
4. Какой критерий определяет интенсивность движения среды при свободной конвекции ?
5. Как увеличить интенсивность движения среды при свободной конвекции ?

Пример лабораторный работ (текущий контроль)

«Исследование теплоотдачи при движении жидкости в пучке труб»

Цель работы: 1. Экспериментально исследовать зависимости коэффициента теплоотдачи и гидравлического сопротивления пучка труб от скорости движения теплоносителя.

2. Сравнить опытные данные с расчетными.

7.4 Соответствие шкалы оценок и уровней сформированных компетенций

Уровень сформированных компетенций	Оценка	Пояснения
Высокий	Зачтено	Обучающийся демонстрирует полное понимание проблемы, умение систематизировать, структурировать и аргументировать материал, обосновывать свою точку зрения. Обучающийся способен самостоятельно проводить расчеты и эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять отчеты по выполненной работе и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций; участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области теплообмена, теплоснабжения и энергосбережения.
Базовый	Зачтено	Обучающийся демонстрирует частичное понимание проблемы, некоторые знания и практические навыки по дисциплине. Обучающийся способен участвовать в проведении расчетов и экспериментов по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять отчеты по выполненной работе и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций; участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области теплообмена, теплоснабжения и энергосбережения.
Пороговый	Зачтено	Обучающийся демонстрирует частичное понимание проблемы, отрывочные знания и навыки по дисциплине. Обучающийся способен под руководством делать расчеты и проводить эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, под руководством составлять отчеты по выполненной работе и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций; участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области теплообмена, теплоснабжения и энергосбережения.
Низкий	Не зачтено	Обучающийся демонстрирует отсутствие систематических знаний и навыков по дисциплине. Однако некоторые элементарные знания по основным вопросам

Уровень сформированных компетенций	Оценка	Пояснения
		изучаемой дисциплины присутствуют. Обучающийся не демонстрирует способность проводить расчеты и эксперименты по заданным методикам с обработкой и анализом их результатов, составлять отчеты по выполненной работе и подготавливать данные для разработки научных обзоров и публикаций; не демонстрирует способность составлять отчеты по выполненному заданию и участвовать во внедрении результатов исследований и разработок в области теплообмена, теплоснабжения и энергосбережения.

8. Методические указания для самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская работа студентов, выполняемая во внеаудиторное (аудиторное) время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия (при частичном непосредственном участии преподавателя, оставляющем ведущую роль в контроле за работой студентов).

Самостоятельная работа студентов в вузе является важным видом их учебной и научной деятельности. Самостоятельная работа играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. Государственным стандартом предусматривается, как правило, 50% часов из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу обучающихся. В связи с этим, обучение в вузе включает в себя две, практически одинаковые по объему и взаимовлиянию части – процесса обучения и процесса самообучения. Поэтому самостоятельная работа должна стать эффективной и целенаправленной работой студентов.

Формы самостоятельной работы студентов разнообразны. Они включают в себя:

- изучение и систематизацию официальных государственных документов: законов, постановлений, указов, нормативно-инструкционных и справочных материалов с использованием информационно-поисковых систем «Консультант Плюс», «Гарант», глобальной сети «Интернет»;
- изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств официальной, статистической, периодической и научной информации;
- участие в работе конференций, комплексных научных исследованиях.

В процессе изучения дисциплины «Теплотехника» обучающимися направления 27.03.02 *основными видами самостоятельной работы* являются:

- подготовка к аудиторным занятиям (лекциям, практическим занятиям) и выполнение соответствующих заданий;
- самостоятельная работа над отдельными темами учебной дисциплины в соответствии с учебно-тематическим планом;
- подготовка к защите практических и лабораторных занятий;
- подготовка к зачету.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Для успешного овладения дисциплиной используются следующие информационные технологии обучения:

- При проведении лекций используются презентации материала в программе Microsoft Office (PowerPoint).
- Практические занятия по дисциплине проводятся с использованием платформы MOODLE.

Практические занятия по дисциплине проводятся с использованием методической литературы. В процессе изучения дисциплины учебными целями являются первичное восприятие учебной информации о теоретических основах и принципах проведения научных

экспериментов и обработки их данных, структурирование полученных знаний и развитие интеллектуальных умений, ориентированных на способы деятельности репродуктивного характера. Посредством использования этих интеллектуальных умений достигаются узнавание ранее усвоенного материала в новых ситуациях, применение абстрактного знания в конкретных ситуациях.

Для достижения этих целей используются в основном традиционные информативно-развивающие технологии обучения с учетом различного сочетания пассивных форм (лекция, практическое занятие, консультация, самостоятельная работа) и репродуктивных методов обучения (повествовательное изложение учебной информации, объяснительно-иллюстративное изложение) и практических методов обучения (выполнение практических работ).

Университет обеспечен необходимым комплектом лицензионного программного обеспечения:

- семейство коммерческих операционных систем семейства Microsoft Windows;
- офисный пакет приложений Microsoft Office;
- программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах "Антиплагиат.ВУЗ".

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

Реализация учебного процесса осуществляется в специальных учебных аудиториях университета для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Все аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории. При необходимости обучающимся предлагаются наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий, обеспечивающие тематические иллюстрации.

Самостоятельная работа обучающихся выполняется в специализированной аудитории, которая оборудована учебной мебелью, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду УГЛТУ.

Есть помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования.

Требования к аудиториям

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
<i>Помещение для лекционных, практических занятий, лабораторных работ, групповых и индивидуальных консультаций, текущей и промежуточной аттестации.</i>	Переносная мультимедийная установка (проектор, экран, ноутбук). комплект электронных учебно-наглядных материалов (презентаций) на флеш-носителях, обеспечивающих тематические иллюстрации. Учебная мебель. Определение показателей адиабаты «К» для воздуха с измерением по диаграмме. Стенд определения теплоты парообразования воды. Стенд по исследованию процессов во влажном воздухе. Весы аналоговые (механические). Термостатический сушильный шкаф. Печь сушильная. Исследование теплообмена при движении жидкости внутри труб и каналов. Определения коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов и коэффициента теплопередачи. Исследование теплопередачи при свободном движении жидкости в неограниченном пространстве. Исследование теплопередачи при движении воздуха в пучке труб. Измерение скорости и напора воздуха.
<i>Помещения для самостоятельной работы</i>	Столы компьютерные, стулья. Персональные компьютеры. Выход в Интернет, в электронную информационно-образовательную среду УГЛТУ.
<i>Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования</i>	Стеллажи. Раздаточный материал.