

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ И. Т. ТРУБИЛИНА»

ФАКУЛЬТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета энергетики

А.А.Шевченко
Доцент А.А.Шевченко

22 апреля 2020 г.



Рабочая программа дисциплины

«Теплотехника»

Направление подготовки
35.03.06 «Агроинженерия»

Направленность подготовки
«Электрооборудование и электротехнологии»

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Форма обучения
Очная, заочная

Краснодар
2020

Рабочая программа дисциплины «Теплотехника» разработана на основе ФГОС ВО 35.03.06 Агроинженерия утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ 23 августа 2017 г. № 813

Автор:
канд. техн. наук, доцент



А.Н. Соболь

Рабочая программа обсуждена и рекомендована к утверждению решением кафедры электротехники, теплотехники и возобновляемых источников энергии от 13.04.2020 г., протокол № 4

Заведующий кафедрой
д-р техн. наук, профессор



О.В. Григораш

Рабочая программа одобрена на заседании методической комиссии факультета энергетики от 22.04.2020 г., протокол № 8

Председатель
методической комиссии
д-р техн. наук, профессор



И.Г. Стрижков

Руководитель
основной профессиональной
образовательной программы
канд. техн. наук, доцент



С.А. Николаенко

1 Цель и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины Б1.О.17 «Теплотехника» является формирование комплекса знаний об методах получения, преобразования, передачи и использования теплоты.

Задачи дисциплины

- решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и тепломассообмена;
- использовать типовые технологии технического обслуживания, ремонта и восстановления изношенных деталей машин и электрооборудования.

2 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий

ОПК-4 Способен реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности

3 Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Б1.О.17 «Теплотехника» является дисциплиной обязательной части ОПОП ВО подготовки обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия», направленность «Электрооборудование и электротехнологии».

4 Объем дисциплины (108 часов, 3 зачетных единицы)

Виды учебной работы	Объем, часов	
	Очная	Заочная
Контактная работа	41	11
в том числе:		
— аудиторная по видам учебных занятий	40	10
— лекции	14	2
— практические	14	4
— лабораторные	12	4

Виды учебной работы	Объем, часов	
	Очная	Заочная
— внеаудиторная	1	1
— зачет	1	1
— экзамен	-	-
— защита курсовых работ (проектов)	-	-
Самостоятельная работа в том числе:	67	97
— курсовая работа (проект)*	-	-
— прочие виды самостоятельной работы	67	97
Итого по дисциплине	108	108

5 Содержание дисциплины

По итогам изучаемой дисциплины студенты сдают зачет.

Дисциплина изучается на 3 курсе, в 5 семестре (очное), а также на 3 курсе в 6 семестре (заочное).

Содержание и структура дисциплины по очной форме обучения

№ п/ п	Тема. Основные вопросы	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1	Введение и предмет теплотехники Техническая термодинамика, основные понятия и определения, параметры состояния	ОП К-1 ОП К-4	5	2	2	2	10
2	Первый закон термодинамики. Сущность, аналитическое выражение. Внутренняя энергия	ОП К-1 ОП К-4	5	2	2	2	10
3	Второй закон	ОП	5	2	2	2	10

№ п/ п	Тема. Основные вопросы	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практическ ие занятия	Лабораторн ые занятия	Самостоите льная работа
	термодинамики. Термодинамическ ие циклы тепловых машин	К-1 ОП К-4					
4	Термодинамическ ие процессы изменения состояния рабочих тел. Свойства реальных газов	ОП К-1 ОП К-4	5	2	2	2	10
5	Влажный воздух, основные величины, расчет процессов влажного воздуха	ОП К-1 ОП К-4	5	2	2	2	10
6	Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров	ОП К-1 ОП К-4	5	2	2	2	10
7	Термодинамическ ий анализ процессов в компрессорах	ОП К-1 ОП К-4	5	2	2	-	7
8	Курсовая работа			-	-		-
	Всего			14	14	12	67

Содержание и структура дисциплины по заочной форме обучения

№ п/ п	Наименование темы с указанием основных вопросов	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практическ ие занятия	Лабораторн ые занятия	Самостоите льная работа
1	Введение и предмет теплотехники Техническая	ОП К-1 ОП К-4	6	2	2	2	10

№ п/ п	Наименование темы с указанием основных вопросов	Формируемые компетенции	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			
				Лекции	Практическ ие занятия	Лабораторн ые занятия	Самостоите льная работа
	термодинамика, основные понятия и определения, параметры состояния						
2	Первый закон термодинамики. Сущность, аналитическое выражение. Внутренняя энергия	ОП К-1 ОП К-4	6	-	2	2	10
3	Второй закон термодинамики. Термодинамическ ие циклы тепловых машин	ОП К-1 ОП К-4	6	-	-	-	10
4	Термодинамическ ие изменения состояния рабочих тел. Свойства реальных газов	ОП К-1 ОП К-4	6	-	-	-	10
5	Влажный воздух, основные величины, расчет процессов влажного воздуха	ОП К-1 ОП К-4	6	-	-	-	17
6	Термодинамика потока. Истечение и дросселирование газов и паров	ОП К-1 ОП К-4	6	-	-	-	20
7	Термодинамическ ий анализ процессов в компрессорах	ОП К-1 ОП К-4	6	-	-	-	20
8	Курсовая работа			-	-	-	-
	Всего			2	4	4	97

6 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

1. Гарьковый К.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / К.А. Гарьковый, А.Н. Соболь. – Краснодар: КубГАУ, 2018. –102 с. – 978-5-6041101-4-0. – Режим доступа: https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_uchebnoe_posobie_25-09-2018_409028_v1_.PDF

2. Гарьковый К.А. Теплотехника: Применение теплоты в сельском хозяйстве [Электронный ресурс] : учебное пособие / К.А. Гарьковый, А.Н. Соболь. – Краснодар: КубГАУ, 2018. –118 с. – 978-5-6041101-6-4. –Режим доступа: https://edu.kubsau.ru/file.php/124/2_2018_Teplotekhnika_uchebnoe_posobie_2_422213_v1_.PDF

3. Соболь А.Н. Теплотехника: практикум / А. Н. Соболь. – Краснодар. - КубГАУ, 2019. – 84 с. – Режим доступа: https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_praktikum35.03.06.pdf

7 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

7.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения ОПОП ВО

Номер семестра (этап формирования компетенции соответствует номеру семестра)	Этапы формирования и проверки уровня сформированности компетенций по дисциплинам, практикам в процессе освоения ОПОП ВО
ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий	
1	Начертательная геометрия
1,2,3	Математика
1,2,3	Физика
2	Химия
2	Инженерная графика
2	Теоретическая механика
2	Информатика
2	Ознакомительная практика (в том числе получение первичных навыков научно-исследовательской работы)
2, 3	Материаловедение и технология конструкционных материалов
3	Сопротивление материалов
3	Цифровые технологии
3,4	Теоретические основы электротехники
5	Автоматика
5	Гидравлика
5	Теплотехника
6, 7	Электропривод
7	Экономика и организация производства на предприятиях АПК

Номер семестра (этап формирования компетенции соответствует номеру семестра)	Этапы формирования и проверки уровня сформированности компетенций по дисциплинам, практикам в процессе освоения ОПОП ВО
8	Основы микропроцессорной техники
8	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
ОПК-4 Способен реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности	
1	Введение в профессиональную деятельность
2	Механизация технологических процессов в АПК
2,3	Материаловедение и технология конструкционных материалов
3	Цифровые технологии
3	Основы производства продукции растениеводства
3	Электротехнические материалы
4	Основы производства продукции животноводства
4	Монтаж электрооборудования и средств автоматики
4	Эксплуатационная практика Б2.О.01.03(У)
5	Электронная техника
5	Теплотехника
5,6	Электрические машины
6	Эксплуатация электрооборудования и средств автоматики
8	Основы микропроцессорной техники
8	Экономическое обоснование инженерно-технических решений
8	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы

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

Планируемые результаты освоения компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Уровень освоения				Оценочное средство
	«неудовлетворительно» минимальный не достигнут	«удовлетворительно» минимальный (пороговый)	«хорошо» средний	«отлично» высокий	

ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий

Знать: - основные законы математических, естественнонауч	Не владеет знаниями в областях: - основных законов	Имеет поверхностные знания в областях: - основных	Знает: - основные законы математических,	Знает на высоком уровне: - основные законы	Реферат, задания лабораторных работ, тест, контрольная
---	---	--	---	---	--

Планируемые результаты освоения компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Уровень освоения				Оценочное средство
	«неудовлетворительно» минимальный не достигнут	«удовлетворительно» минимальный (пороговый)	«хорошо» средний	«отлично» высокий	
ных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно - коммуникационных технологий.	математических, естественно научных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	законов математических, естественно научных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	естественно научных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	работа
Уметь: -решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно - коммуникационных технологий	Не умеет: -решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественно научных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий	Умеет на низком уровне: -решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественно научных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий	Умеет на достаточно м уровне: - решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественно научных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий	Умеет на высоком уровне: - решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий	

Планируемые результаты освоения компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Уровень освоения				Оценочное средство
	«неудовлетворительно» минимальный не достигнут	«удовлетворительно» минимальный (пороговый)	«хорошо» средний	«отлично» высокий	
Иметь навык и (или) владеть: - способностью решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	Не владеет: - способностью решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	Владеет на низком уровне: - способностью решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	Владеет на достаточно м уровне: - способностью решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	Владеет на высоком уровне: - способностью решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий.	

ОПК-4 Способен реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности

Знать - способы реализации современных технологий; - способы обоснования применения современных технологий в профессиональной деятельности	Не владеет знаниями в областях: - способов реализации современных технологий; - способов обоснования применения современных	Имеет поверхностные знания в областях: - способов реализации современных технологий; - способов обоснования применения современных	Знает: - способы реализации современных технологий;	Знает на высоком уровне: - способы реализации современных технологий;	Реферат, задания лабораторных работ, тест, контрольная работа
---	--	---	---	---	---

Планируемые результаты освоения компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Уровень освоения				Оценочное средство
	«неудовлетворительно» минимальный не достигнут	«удовлетворительно» минимальный (пороговый)	«хорошо» средний	«отлично» высокий	
	x технологий в профессиональной деятельности	x технологий в профессиональной деятельности	льной деятельности	ьной деятельности	
Уметь - реализовывать современные технологии; - обосновывать применение современных технологий в профессиональной деятельности	Не умеет: - реализовывать современные технологии; - обосновывать применение современных технологий в профессиональной деятельности	Умеет на низком уровне: - реализовывать современные технологии;	Умеет на достаточно м уровне: - реализовывать современные технологии;	Умеет на высоком уровне: - реализовывать современные технологии;	
Иметь навык и (или) владеть: - способностью реализовывать современные технологии; - способностью обосновывать применение современных технологий в профессиональной	Не владеет: - способностью реализовывать современные технологии;	Владеет на низком уровне: - способностью реализовывать современные технологии;	Владеет на достаточно м уровне: - способностью реализовывать современные технологии;	Владеет на высоком уровне: - способностью реализовывать современные технологии;	

Планируемые результаты освоения компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Уровень освоения				Оценочное средство
	«неудовлетворительно» минимальный не достигнут	«удовлетворительно» минимальный (пороговый)	«хорошо» средний	«отлично» высокий	
деятельности.	ь применение современных технологий в профессиональной деятельности.	ю обосновывает применение современных технологий в профессиональной деятельности.	обосновывает применение современных технологий в профессиональной деятельности.	современных технологий в профессиональной деятельности.	

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

Пример теста

1. Уравнения политропного и изотермического процессов, имеют вид...
- a) $pVn=const$
 б) $V=const$
 в) $p=const$
 г) $T=const$
 д) $pV^k=const$

Структура реферата:

- 1) титульный лист;
- 2) план работы с указанием страниц каждого вопроса, подвопроса (пункта);
- 3) введение;
- 4) текстовое изложение материала, разбитое на вопросы и подвопросы (пункты, подпункты) с необходимыми ссылками на источники, использованные автором;
- 5) заключение;
- 6) список использованной литературы;

7) приложения, которые состоят из таблиц, диаграмм, графиков, рисунков, схем (необязательная часть реферата). Приложения располагаются последовательно, согласно заголовкам, отражающим их содержание.

Темы рефератов

- 1 Схема автоматического регулирования котельной установки.
- 2 Отопление и вентиляция жилых и общественных зданий.
- 3 Тепловой расчет блока электростанции.
- 4 Анализ экономических показателей ТЭС (ДВ регион).
- 5 Паровая турбина к-800-240.
- 6 Тепловой расчет котла Е-75-40ГМ.
- 7 Вихревые горелки.
- 8 Паровой котел.
- 9 Теплогазовентиляция.
- 10 Второй закон термодинамики.
- 11 Проектирование главной схемы электрических соединений подстанции.
- 12 Теплопередача.
- 13 Выбор теплообменника.
- 14 Развитие децентрализованного теплоснабжения.
- 15 Энергоэкономическая эффективность применения авиационных двигателей на ТЭС.
- 16 Расчет кожухотрубчатого теплообменника.
- 17 Гидравлический расчёт.
- 18 Расчет паровой турбины Т-100-130, расчет ступени.
- 19 Горизонтальный кожухотрубный испаритель.
- 20 Расчет радиаторов.
- 21 Деаэрационная колонка.
- 22 Измерение температуры.
- 23 Решение обратных задач теплопроводности для элементов конструкций простой геометрической формы.
- 24 К вопросу о вентиляции.
- 25 Огнетрубные парогенераторы.
- 26 Водогрейные котлы на жидком и газовом топливе.
- 27 Инфракрасное отопление.
- 28 Основы энергосбережения.
- 29 Сжигание топлив в кипящем слое.
- 30 Турбулентное движение вдоль бесконечной пластины Структура пограничного слоя.
- 31 Усовершенствование очистки сточных вод ТЭЦ

Примеры лабораторных работ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

«ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ ВОЗДУХА»

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Экспериментальное определение средней объемной теплоемкости в процессе при постоянном давлении.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Определить с помощью экспериментальной установки среднюю объемную теплоемкость воздуха при постоянном давлении в интервале температур от комнатной до 50°C.

2.2 Вычислить средние массовые и молярные теплоемкости воздуха в процессах при $P=const$ и $V=const$ и сопоставить их с табличными данными.

2.3 Рассчитать средний показатель адиабаты для воздуха.

2.4 Определить с помощью полученных теплоемкостей изменение энталпии и внутренней энергии в процессе при постоянном давлении. Вычислить работу, процесса, составить энергетический баланс процесса.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Сообщение телу теплоты в каком-либо процессе вызывает изменение его состояния, в частности, температуры. Поэтому о количестве подведенной энергии в форме теплоты можно судить по изменению температуры, т.е. $\Delta Q = C dT$. Отношение количества теплоты ΔQ , сообщаемой телу при бесконечно малом изменении его состояния, к соответствующему изменению температуры dT называют истинной теплоемкостью тела

$$C = \frac{\Delta Q}{dT} \quad (1)$$

Теплоемкость, отнесенную к единице количества вещества, т. е. к единице массы (1 кг) тела, называют удельной теплоемкостью (c), Дж/(кг · К);

$$c_x = \left(\frac{dq}{dt} \right)_x$$

В общем случае истинная теплоемкость, где через x обозначен тот параметр, который сохраняется постоянным в данном процессе.

Теплоемкость зависит от температуры. При небольшом пределе изменения температуры, а также в приближенных расчетах зависимостью теплоемкости от температуры пренебрегают и принимают ее усредненное постоянное значение в данном интервале температур. Теплоемкость тела, соответствующую изменению температуры на конечную величину $\Delta t = t_2 - t_1$, называют средней теплоемкостью данного процесса

$$c_r|_{t_1}^{t_2} = \frac{q_{1-2}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

где q_{1-2} – количество теплоты, подведенной к 1 кг, 1 м³ или киломолю вещества в данном процессе.

В зависимости от способа задания единицы количества вещества различают теплоемкость массовую, объемную и мольную.

Теплоемкость 1 кг газа или пара называется массовой и обозначается $c|_{t_1}^{t_2}$ кДж/(кг·К)

Теплоемкость 1 м³ газа или пара, отнесённого к нормальным физическим условиям НФУ, называется объемной и обозначается c' или $c|_{t_1}^{t_2}$, кДж/(м³·К)

Теплоемкость 1 киломоля газа или пара называется мольной и обозначается μc_x или $\mu c_x|_{t_1}^{t_2}$ кДж/(кмоль·К) Между этими теплоемкостями существует зависимость

$$c_x = c'_x \cdot V_0 = \frac{\mu c_x}{\mu}, \text{ кДж/(кг·К)} \quad (3)$$

где V – удельный объем газа или пара при НФУ, м³/кг.

Связь между истинной теплоемкостью c_x в данном процессе и средней устанавливается соотношением

$$c_{xr}|_{t_1}^{t_2} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} c_x dt \quad (4)$$

Обычно средние теплоемкости в таблицах даются в интервале температур от 0 до t °C, тогда средняя теплоемкость $c_{xm}|_{t_1}^{t_2}$ в заданном интервале температур t_1, t_2 может быть определена следующим образом:

$$c_{xr}|_{t_1}^{t_2} = \frac{c_x|_0^{t_2} \cdot t_2 - c_x|_0^{t_1} \cdot t_1}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

4 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В основе экспериментального исследования лежит метод проточного калориметра.

Изменение теплоемкости невозможно производить в калориметре непроточного типа, так как масса исследуемого газа, заполняющего калориметр, получается небольшой и при подведении к ней теплоты большая часть ее уходит на тепловые потери и нагревание деталей калориметра. В проточном калориметре этих потерь меньше, так как в единицу времени прокачивается значительная масса газа, разогрев установки не учитывается и измерения проводят при стационарном режиме.

Расчетное уравнение для определения средней объемной теплоемкости воздуха при постоянном давлении может быть записано следующим образом

$$c_p \left|_{t_1}^{t_2} \right. = \frac{3,6Q}{V_0 \Delta t}, \text{ кДж/(м}^3 \cdot \text{К}) \quad (6)$$

где Q – тепловой поток, подводимый к воздуху, Вт,
 Δt – разность температур на входе и выходе в калориметр, $^{\circ}\text{C}$;
 V_0 – расход воздуха через калориметр, приведенный к нормальным физическим условиям, $\text{м}^3/\text{ч}$.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Основным элементом экспериментальной установки является проточный калориметр (рисунок 1). Он состоит из стеклянной трубы, в которой смонтирован электронагреватель 5. Для уменьшения потерь теплоты в окружающую среду калориметр окружен стеклянной оболочкой 4. Воздух из пространства между калориметром и оболочкой удален.

Постоянный расход воздуха через калориметр создается пылесосом 2. Исследуемый воздух засасывается из помещения лаборатории, проходит через ротаметр 3 и пылесосом выбрасывается наружу. Температура на выходе замеряется с помощью хромель-алюмелевой термопары 1. Термопара подключается к милливольтметру.

Установка подключена к сети с напряжением 220 В. Сила тока в цепи электронагревателя измеряется амперметром, напряжение на зажимах электронагревателя регулируется регулятором напряжения 6 и измеряется вольтметром.

6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

6.1 Выписать в бланк отчета по лабораторной работе цель работы, задание, краткую методику проведения эксперимента. Заготовить таблицу для записей показаний прибора.

6.2 Включить пылесос и электронагреватель. Установить заданое преподавателем напряжение для проведения первого режима.

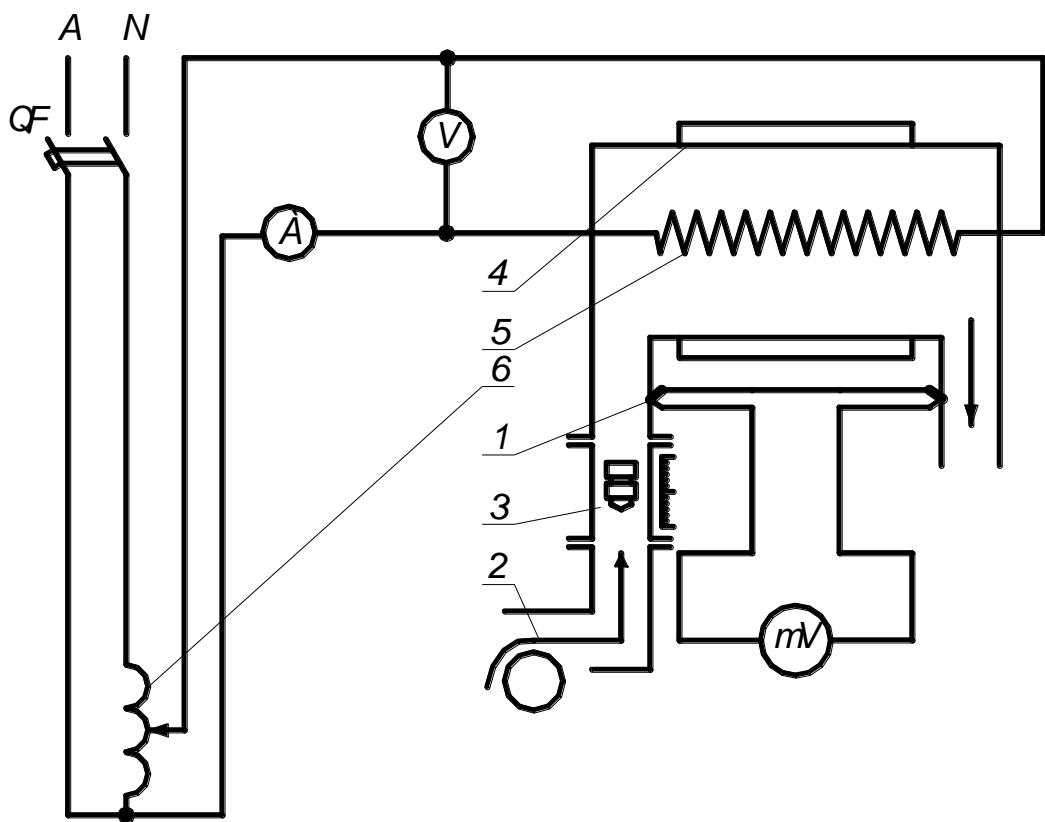


Рисунок 1 – Установка для определения средней теплоемкости воздуха

6.3 После достижения стационарного режима, о наступлении которого судят по постоянству положения стрелки милливольтметра (по истечении 4-5 минут), измерить показания воздуха по показаниям амперметра и вольтметра. С помощью милливольтметра сделать три замера термопары с интервалом в 3 минуты с записью значения в таблицу 1. Измерить температуру окружающего воздуха с помощью ртутного термометра.

6.4 Увеличить мощность электродвигателя через 5 минут произвести измерения на втором стационарном режиме.

Таблица 1 – Показания приборов и обработка экспериментальных данных

Режим	Повторность	Сила тока I, А	Напряжение U, В	Тепловой поток Q, Вт	Температура на входе t_1 , °C	Температура на выходе t_2 , °C	Расход		Теплоемкость		
							л/мин	$m^3/\text{ч}$	$C_p _{t_1}^{t_2}$ $\frac{\text{кДж}}{m^3 \cdot K}$	$C_p _{t_1}^{t_2}$ $\frac{\text{кДж}}{kg \cdot K}$	$C_o _{t_1}^{t_2}$ $\frac{\text{кДж}}{kg \cdot K}$

7 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

7.1 С помощью градуированной таблицы термопар по значению термо-Э.д.с. определить разность температур воздуха на выходе и входе в калориметр холодный спай термопары находится при температуре окружающего воздуха, а рабочий на выходе из колориметра подогретого воздуха.

7.2 Вычислить объем воздуха, приведенного к нормальным физическим условиям

$$V_0 = V_T \frac{P_T}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_T}, (\text{м}^3/\text{ч}) \quad (7)$$

где V_T – объем воздуха, проходящий через калориметр, замеренный с помощью ротаметра в относительных единицах и переведенный в $\text{м}^3/\text{ч}$ с помощью тарировочного графика;

P_0 , T_0 – давление и температура при нормальных физических условиях

$$P_0=760 \text{ мм рт. ст.}; T_0=273\text{K}$$

$P_T=751,5 \text{ мм рт. ст.}; T_T=290,45 \text{ К}$ – давление и температура, при которых был получен тарировочный график.

7.3 Вычислить среднюю объемную теплоемкости, по формуле (6), принимая тепловой поток равным мощности электронагревателя $Q=I \cdot U$, Вт.

7.4 Определить величину средней массовой теплоемкости при постоянном давлении

$$c_p|_{t_1}^{t_2} = \frac{c_p|_{t_1}^{t_2} \cdot 22,4}{\mu}, \text{кДж/(кг·К)} \quad (8)$$

где 22,4 – объем киломоля идеального газа при НФУ, $\text{м}^3/\text{моль}$;

μ – масса киломоля. Для воздуха $\mu=28,97 \text{ кг/моль}$

7.5 Рассчитать среднюю массовую теплоемкость при постоянном объеме в том же интервале температур. Так как в данном случае воздух по своим свойствам весьма близок к идеальному газу, то связь между теплоемкостями выражается формулой Майера

$$c_v|_{t_1}^{t_2} = c_p|_{t_1}^{t_2} - R, \text{кДж/(кг·К)} \quad (9)$$

где R – газовая постоянная для воздуха, $R=0,287 \text{ кДж/(кг·К)}$.

7.6 Вычислить величину показателя адиабаты для воздуха

$$k = \frac{c_p|_{t_1}^{t_2}}{c_v|_{t_1}^{t_2}} \quad (10)$$

7.7 Определить изменение энталпии воздуха в процессе при постоянном давлении

$$\Delta i = c_p|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1), \text{кДж/кг} \quad (11)$$

Численно Δi равно количеству теплоты, подведенной к каждому килограмму воздуха в изобарном процессе, т.е.

$$Q_p = \Delta i_{1-2}$$

7.8 Вычислить изменение внутренней энергии воздуха в данном процессе

$$\Delta u = c_v|_{t_1}^{t_2} (t_2 - t_1), \text{кДж/(кг)} \quad (12)$$

7.9 Рассчитать работу газа в изобарном процессе.

$$l = R(T_2 - T_1) \text{ кДж/кг.}$$

7.10 Составить энергетический баланс процесса $q = \Delta u + l$ кДж/кг.

Определить невязку в процентах.

ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет о выполненной работе должен содержать:

1 Цель работы, задание.

2 Методику экспериментального определения теплоемкости.

3 Рисунок 1 и таблицу 1.

4 Обработку результатов эксперимента с необходимыми расчетами.

5 Сопоставление результатов эксперимента с табличными данными.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать определение массовой, объемной и мольной теплоемкостей.
2. Какой объем газа имеют ввиду, говоря об объемной теплоемкости? В каких единицах измеряются теплоемкости?
3. Какая функциональная зависимость положена в основу изменения теплоемкости от температуры? Показать графически зависимость теплоемкости от температуры.
4. Что такое истинная теплоемкость?
5. Дать определение средней теплоёмкости.
6. Написать уравнение количества теплоты через среднюю теплоемкость.
7. Как определить, среднюю теплоемкость в интервале от t до t' пользуясь таблицами теплоемкостей от 0 до t градусов Цельсия?
8. Что такое теплоемкость при постоянном объеме и теплоемкость при постоянном давлении?
9. Почему, теплоемкость газа при постоянном давлении всегда больше теплоемкости при постоянном объеме?
10. Какая связь между теплоемкостями при подводе теплоты к газу при постоянном давлении и постоянном объеме? Объяснить смысл всех величин, входящих в уравнение Майера.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА»

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является экспериментальное определение коэффициента теплопроводности материала методом трубы.

2 ЗАДАНИЕ

2.1 Определить экспериментально коэффициент теплопроводности для двух стационарных режимов.

2.2 Найти аналитическую зависимость коэффициента теплопроводности от температуры.

3 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Явление теплопроводности представляет собой процесс распространения тепловой энергии, при непосредственном соприкосновении отдельных частиц тела или отдельных тел, имеющих различные температуры. Теплопроводность обусловлена движением микрочастиц вещества. При этом в газах перенос энергии осуществляется путем диффузии молекул и атомов, а в жидкостях и в твердых телах – диэлектриках путем упругих волн, в металлах – путем диффузии свободных электронов. Согласно-основному закону теплопроводности – закону Фурье плотность теплового потока (количество теплоты, прошедшее в единицу времени через единицу изотермической поверхности) прямо пропорциональна градиенту температур.

$$q = -\lambda \text{grad}t, \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (1)$$

где λ – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплопроводности, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, который является физическим параметром вещества, характеризующим его способность проводить теплоту. Численно коэффициент теплопроводности равен количеству теплоты, проходящему в единицу времени через единицу изотермической поверхности при условии $\text{grad}t=1$.

Температурный градиент является мерой интенсивности изменения температуры в направлении по нормали к изометрической поверхности. Направлен он в сторону возрастания температуры. Численно равен производной от температуры по этому направлению

$$\text{grad}t = \lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right) = \frac{dt}{dn} \quad (2)$$

Знак минус в законе Фурье указывает на то, что теплота передается в направлении уменьшения температуры.

4 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

При определении коэффициента теплопроводности материалов методом трубы исследуемому материалу придают форму цилиндрического слоя. При стационарном тепловом режиме коэффициент теплопроводности определяется из формулы теплового потока, полученной из закона Фурье для цилиндрической стенки

$$\lambda = \frac{Q \cdot 2.3Lg(d_2/d_1)}{2\pi L(t_{c1} - t_{c2})}, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К}) \quad (3)$$

где l – длина трубы, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

d_2, d_1 – внутренний и наружный диаметры цилиндрического слоя материала, м;

t_{c1}, t_{c2} – средние температуры внутренней и наружной поверхности слоя материала, °С.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Исследуемый материал 4 (рисунок 2) (кварцевый песок) находится, в пространстве между трубами 2 и 3. Во внутренней трубе расположен электронагреватель 6, тепловой поток от которого передается через, внутреннюю трубу, слой материала и наружную трубу в окружающую среду. При установившемся (стационарном) режиме через каждый слой проходит одно и то же количество теплоты, которое определяют по показаниям ваттметра. Потребляемая мощность регулируется регулятором напряжения 1. Благодаря хорошему контакту сыпучего материала с трубами, можно считать, что соприкасающиеся поверхности материала и труб имеют одинаковую температуру, которая измеряется с помощью хромель-алюмелевых термопар 5, за чеканенных в поверхности труб. Электродвижущую силу (ЭДС) в термопарах измеряют милливольтметром, подключая к нему термопары поочередно с помощью переключателя.

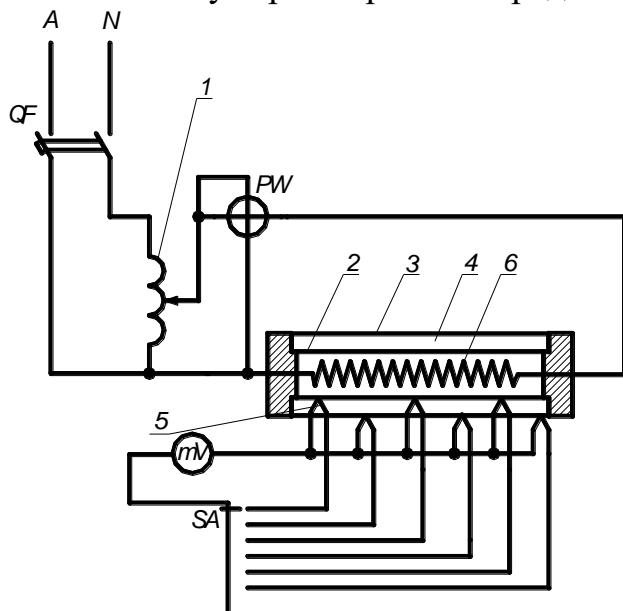


Рисунок 2 – Установка для определения

коэффициента теплопроводности 6 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

6.1 Выписать в бланк отчета по лабораторной работе цель работы, задание, краткую методику проведения эксперимента. Подготовить таблицу для записи показаний приборов (таблица 2).

6.2 По показанию ваттметра записать мощность электронагревателя, соответствующую первому стационарному режиму (установка включается преподавателем до начала занятий).

6.3 Переключателем включать поочередно все термопары и фиксировать для каждой из них значение ЭДС по милливольтметру с записью их значений в таблице. Замеры производить с интервалами в 3-5 минут до тех пор, пока величина ЭДС для каждой термопары не будет изменяться во времени, что свидетельствует о наступлении стационарного режима.

6.4 На стационарном режиме сделать три замера ЭДС по прибору для каждой термопары с интервалами в 5 минут и записать в соответствующие графы таблицы.

6.5 Измерить термометром температуру окружающего воздуха вблизи от установки.

6.6 Показать результаты замеров преподавателю и с его разрешения переключить установку 2-й режим, увеличив с помощью регулятора напряжения 1 мощность нагревателя на 20-47 Вт. Эксперимент проводить через 25-30 минут в той же последовательности.

7 ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

7.1 По градировочной таблице термопар определить ЭДС, соответствующую температуре окружающего воздуха, чтобы сделать поправку на температуру холодных спаев термопар находящихся при температуре окружающего воздуха. Градировочная таблица рассчитана на температуру холодных спаев, равную 0°C.

7.2 Определить суммарные ЭДС E_1 , E_2 и т.д. складывая в таблице для каждой термопары ЭДС по прибору с ЭДС, соответствующей температуре окружающего воздуха.

7.3 По градировочной таблице найти температуры в местах за чеканки термопар по значениям суммарных ЭДС.

7.4 Вычислить средние температуры поверхностей исследуемого слоя.

7.4.1 Средняя температура внутренней поверхности слоя

$$t_{C1} = \frac{t'_1 + t'_2 + t'_3}{3}, ^\circ\text{C}.$$

7.4.2 Средняя температура наружной поверхности слоя

$$t_{C2} = \frac{t''_1 + t''_2 + t''_3}{3}, ^\circ\text{C}.$$

7.5 Определить среднюю температуру исследуемого слоя

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2}, ^\circ\text{C}.$$

7.6 Вычислить коэффициент теплопроводности λ по формуле (3), принимая

$$Q=N \text{ Вт}; d_1=0,025 \text{ м}; d_2=0,05 \text{ м}; l=1 \text{ м}$$

7.7 Полученные значения λ и t_c записать в таблицу.

7.8 Построить график зависимости $\lambda=f(t_c)$. По горизонтали отложить в выбранном масштабе средние температуры слоя ($t_c, ^\circ\text{C}$), по вертикали соответствующие им значения коэффициентов теплопроводности.

7.9 Определить аналитическую зависимость коэффициента теплопроводности от температуры, которая для изоляционных и пористых материалов подчиняется линейному закону, и описываются уравнением

$$\lambda = \lambda_0(1 + bt) \quad (3)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности при 0°C ;

b – постоянная, определяемая экспериментальным путем.

Величину λ_0 определить по графику после чего из уравнения (3) определить значение постоянной b , взяв из эксперимента значение t_c и соответствующее ему значение λ .

7.10 Полученные значения коэффициентов теплопроводности сравнить с табличными данными.

Таблица 2 – Исследование коэффициент теплопроводности

Определения величины	Обозначения Ед. изм	Режимы		
		1	2	3
		Замеры		
Мощность электронагревателя	N	Вт		
Температура окружающего воздуха	t_e	$^\circ\text{C}$		
ЭДС, соответствующая температуре окружающего воздуха	E_e	мВ		
Внутренняя труба Термопары	ЭДС по прибору	E'_{n1}	мВ	
	Суммарная ЭДС ($E'_{n1}+E_e$)	E'_1	мВ	
	Температура поверхн. трубы (опр. по вел. E'_1)	t'^1	$^\circ\text{C}$	
	ЭДС по прибору	E'_{n2}	мВ	
	Суммарная ЭДС ($E'_{n2}+E_e$)	E'_2	мВ	

		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. E'_2)	t'_2	°C											
		ЭДС по прибору	E'_{n3}	мВ											
		Суммарная ЭДС ($E'_{n3}+E_\theta$)	E'_3	мВ											
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. E'_3)	t'_3	°C											
		ЭДС по прибору	E''_{n1}	мВ											
		Суммарная ЭДС ($E''_{n1}+E_\theta$)	E''_1	мВ											
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. E''_1)	t''_1	°C											
		ЭДС по прибору	E''_{n2}	мВ											
		Суммарная ЭДС ($E''_{n2}+E_\theta$)	E''_2	мВ											
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. E''_2)	t''_2	°C											
		ЭДС по прибору	E''_{n3}	мВ											
		Суммарная ЭДС ($E''_{n3}+E_\theta$)	E''_3	мВ											
		Температура поверхн. трубы (опр. по вел. E''_3)	t''_3	°C											
Наружная труба Термопары		Коэффициент теплопроводности исследуемого материала	λ	$\frac{\hat{A}\delta}{i \cdot \hat{E}}$											
		Средняя температура исследуемого слоя	t_{cp}	°C											

ОТЧЕТ ПО РАБОТЕ

Отчет по выполненной работе должен содержать:

- 1 Цель работы.
- 2 Описание методики определения коэффициента теплопроводности.
- 3 Рисунок 2 и таблицу 2.
- 4 Результаты обработки экспериментальных данных.
- 5 График $\lambda=f(t_C)$.

6 Сопоставление результатов эксперимента с литературными данными. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

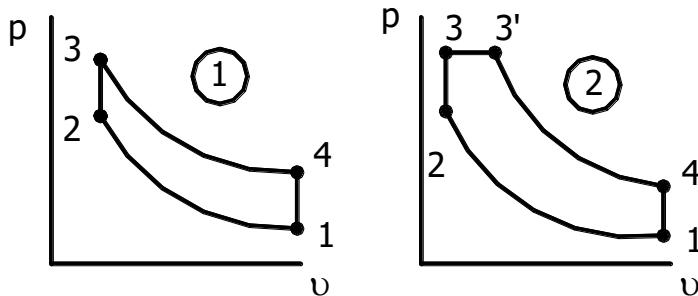
1. Каков физический смысл коэффициента теплопроводности? Выведите его размерность из закона Фурье.
2. Сформулируйте основной закон теплопроводности Фурье и приведите, его математическое выражение.
3. Что такое температурное поле, изотермические поверхности, температурный градиент?
4. Дайте графическую интерпретацию температурного градиента и теплового потока
5. Объясните, почему в формуле закона Фурье в дифференциальной форме в правой части имеется знак минус?
6. Что такое установившийся и неустановившийся тепловые режимы? Приведите математическое выражение в общем виде температурного поля для обоих случаев.
7. Почему пористые материалы имеют низкий коэффициент теплопроводности?
8. Как зависит коэффициент теплопроводности изоляционного материала от температуры?
9. Опишите схему приборов и принцип определения коэффициента теплопроводности по методу трубы.

Задания для контрольной работы

1 РАСЧЕТ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗОВОГО ЦИКЛА

1.1 Исходные данные

Схемы идеальных циклов ДВС в $p - v$ координатах



ВАРИАНТ 1

Цикл ДВС с подводом теплоты в изохоре

Заданные величины	Цифры шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра шифра										
$t_1, {}^\circ\text{C}$	0	+10	+15	+18	+20	+30	+50	+70	-10	+25
$p_1, \text{бар}$	1	1,1	1,2	0,9	0,95	1,3	1,05	1,3	0,8	1
Предпоследняя цифра шифра										
n_1	1,4	1,34	1,3	1,32	1,36	1,38	1,4	1,38	1,36	1,4
n_2	1,35	1,3	1,23	1,23	1,25	1,27	1,38	1,28	1,25	1,38

ВАРИАНТ 2

Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты

Заданные величины	Цифры шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра шифра										
$t_1, {}^\circ\text{C}$	-10	0	+10	+35	+50	+70	+25	+17	+27	+40
$p_1, \text{бар}$	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	0,96	0,98	0,97	0,87
Предпоследняя цифра шифра										

n_1	1,3	1,32	1,34	1,36	1,38	1,4	1,4	1,3	1,4	1,32
n_2	1,25	1,28	1,3	1,32	1,34	1,36	1,4	1,25	1,4	1,28

Таблица дополнительных данных

ВАРИАНТ 1а

Заданные величины	Цифры шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра шифра										
ε	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	7,5	8,8
ρ	1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,8	1,7	1,5	2,2
Предпоследняя цифра шифра										
λ	4,6	4,3	4	3,8	3,4	3	3,3	3,6	3	3,2

ВАРИАНТ 2а

Заданные величины	Цифры шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра шифра										
ε	14	15	16	17	16	19	13	18	14	15
Предпоследняя цифра шифра										
ρ	1	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,8	1,7	1,5	2,15
λ	1,4	1,5	1,6	1,7	1,6	1,5	1,7	1,5	1,6	1,4

1.2 Характеристика процесса и цикла

Для цикла, отнесенного к 1 кг воздуха, заданы начальные параметры t_1 и p_1 и характеристики процессов и цикла в целом:

n_1 и n_2 – показатели политропны основных процессов сжатия и расширения;

$\varepsilon=v_1/v_2$ – степень сжатия для циклов ДВС;

$\lambda=p_3/p_2$ – степень повышения давления в изохорном процессе;

$\rho=v_3/v_2$ – степень изобарного расширения.

Принимаются постоянными значения физических величин для воздуха:

- газовая постоянная $R=287 \text{ Дж/(кг·К)}$;
- удельная массовая теплоемкость при постоянном объеме $c_v=0,716 \text{ кДж/(кг·К)}$;
- удельная массовая теплоемкость при постоянном давлении $c_p=1,005 \text{ кДж/(кг·К)}$;
- показатель адиабаты $k=c_p/c_v=1,41$.

1.3 Расчет параметров узловых точек цикла

Основные параметры p , v и T всех узловых точек по ходу цикла определяются из соотношений между параметрами начальных и конечных состояний соответствующих процессов цикла согласно таблицы 1.1. При этом обычно известным является один параметр конечного состояния процесса, а второй определяется или из указанных соотношений или с использованием выражений для характеристик процесса (ε , λ , ρ).

Третий параметр однозначно определяется из уравнения состояния идеального газа $p v = R T$.

Результаты расчетов представляются по форме таблицы 1.2.

Таблица 1

Уравнение	$\frac{d}{dt} \ln T_{\text{ократ}} = n$	Теплоемкость C_v , $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$	Соотношения параметров	Изменения энергии, $\text{кДж}/\text{кг}$		Количество энергии, $\text{кДж}/\text{кг}$	Выражение 1-го закона термодинамики	
				Δu	Δi	Δs	$q = \Delta u + l$	$q = \Delta i - l'$
$pV^n = \text{const}$	n	$c_v \frac{n-k}{n-1}$	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^n$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{n-1}$	$c_v \frac{n-k}{n-1} \ln \frac{T_2}{T_1}$	$c_v \frac{n-k}{n-1} (T_2 - T_1)$	$R \frac{1}{n-1} (T_1 - T_2)$	nl	$q = \Delta u + l$
$V = \text{const}$	$\pm \infty$	c_v	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$c_v \ln \frac{T_2}{T_1}$	$c_v (T_2 - T_1)$	0	$q = \Delta u + l$	$q = \Delta i - l'$
$P = \text{const}$	0	c_p	$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	$c_p \ln \frac{T_2}{T_1}$	$c_p (T_2 - T_1)$	$R(T_2 - T_1)$	0	$q = \Delta u + l$
$pV = \text{const}$	1	$\pm \infty$	$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$	0	$R \ln \frac{V_2}{V_1}$	$RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$RT \ln \frac{V_2}{V_1}$	$q = l$
$pV^k = \text{const}$	k	0	$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^k$ $\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{k-1}$	0	$R \frac{1}{k-1} (T_1 - T_2)$	kl	$\Delta u + l = 0$	$\Delta i + l = 0$

Таблица 1.2 – Расчетные параметры узловых точек цикла

Точки состояния	Параметры		
	p , Па	v , м ³ /кг	T , К
1			
2			
3			
3'			
4			

1.4 Расчет термодинамических процессов цикла

В последовательности протекания цикла от начального состояния рабочего тела для каждого процесса в соответствии с табл. 1 определяется:

- изменение внутренней энергии Δu , энталпии Δi и энтропии Δs ;
- удельное количество теплоты q , подводимое или отводимое в процессе;
- совершаемая (затрачиваемая), внешняя работа изменения объема l и располагаемая работа l' .

Результаты работы вносят в таблицу 1.3.

Обязательная проверка правильности расчета:

1) для каждого процесса по уравнению 1-го закона термодинамики

$$q = \Delta i + l \text{ и } q = \Delta u + l'$$

2) для цикла в целом по уравнениям 1-го и 2-го законов термодинамики

$$\sum \Delta u = 0; \sum \Delta i = 0; \sum \Delta s = 0 \text{ и } \sum l = \sum l' = l_o = \sum q = q_1 + q_2$$

где $q_1 = q_{2-3} + q_{3-3'} + q_{3-4}$ – суммарное количество энергии в форме теплоты, подводимое к рабочему телу в процессах цикла;

$q_2 = q_{1-2} + q_{4-1}$ – суммарное количество энергии в форме теплоты отводимое от рабочего тела в процессах цикла.

Таблица 1.3 – Итоговые характеристики процессов цикла

Процесс	n	C, кДж/(кг·К)	Изменение энергии, кДж/К			Количество энергии, кДж/кг		
			Δu	Δi	Δs	q	l	l'
1-2								
2-3								
3-3'								
3-4								
4-1								
			$\Sigma \Delta u$	$\Sigma \Delta i$	$\Sigma \Delta s$	Σq	Σl	$\Sigma l'$

1.5 Расчет эффективности газового цикла

Экономичность цикла определяется значением термического КПД

$$\eta_t = \frac{l_u}{q_1} = \frac{q_1 - q_2}{q_1} .$$

1.6 Графическое изображение цикла

Построение цикла производится в координатах $p-v$ и $T-s$ в масштабе на формате А4.

Для построения политропных процессов сжатия 1-2 и расширения 3-4 в $p-v$ координатах задаются произвольными давлениями в двух промежуточных точках каждого процесса, для которых вычисляются значения удельных объемов из соотношений для этих процессов (таблица 1).

При построении цикла в $T-s$ координатах для всех процессов цикла

(кроме адиабатного и изотермического) задаются двумя значениями абсолютных температур рабочего тела в пределах известных температур каждого процесса и вычисляются соответствующие им изменения энтропии Δs от начального состояния этого процесса.

Для примера на рисунке 1.1 представлено построение в $T-s$ координатах цикла ДВС со смешанным подводом теплоты. Начальная точка 1 имеет ординату T_1 и произвольную абсциссу s . Положение остальных узловых точек (в т.ч. промежуточных) определяется соответствующими значениями $\pm \Delta s$ и T .

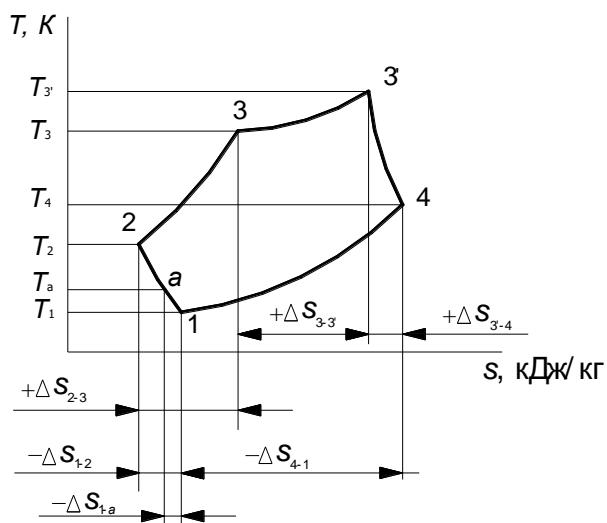


Рисунок 1.1 – Построение цикла ДВС со смешанным подводом теплоты в $T-s$ координатах

1.7 Анализ эффективности газового цикла

1) Сопоставить полученные значения η_t заданного цикла с термическим КПД прямого цикла Карно при возможном использовании в нем максимального интервала температур цикла, т.е. при

$$\eta_t^k = 1 - \frac{T_1}{T_{\max}},$$

где T_{\max} – максимальная температура заданного цикла, К.

Дать заключение о возможности принятия для ДВС цикла Карно по конструктивным условиям прочности, вычислив для него P_{\max}^k в процессе

адиабатного сжатия от T_1 до T_{\max} (для реальных ДВС $P_{\max} < 60 \dots 80$ бар).

2) Используя в качестве основы изображение заданного цикла в $T-s$ координатах, провести графический анализ:

а) для циклов ДВС сопоставить значения термических КПД η_{tv} и η_{tvp} в вариантах:

1-й $p_3=const$ и $T_{\max}=const$;

2-й $\varepsilon=const$ и $q_2=const$;

2 РАСЧЕТ РАДИАТОРА

2.1 Исходные данные

Для расчета автотракторного радиатора с плоско-овальными трубками, оребренными плоскими прямоугольными пластинами, заданы:

N_e – номинальная эффективная мощность двигателя, кВт;

g_e – минимальный удельный расход топлива, г/кВт*ч;

$n_{ж}$ – доля теплоты от сгорания топлива, отводимая в систему отопления;

$\omega_{ж}, \omega_e$ – средние скорости воды в трубках и воздуха в сердцевине радиатора, м/с;

$t_{жc}, t_e$ – температуры воды и воздуха на входе в радиатор, °C;

$\Delta t_{жc}, \Delta t_e$ – перепады температур при охлаждении воды и нагреве воздуха, °C;

a, b – размеры поперечного сечения трубок радиатора, мм (рисунок 2.1);

c, h – расстояние между трубками в поперечном ряду и шаг пластин, мм;

ψ – коэффициент оребрения трубок (отношение суммарной площади теплоотдачи к воздуху и полной площади тепловосприятия от воды внутренних поверхности трубок).

Принять для карбюраторных двигателей шахматное, а для дизельных – коридорное расположение вертикальных пучков трубок.

Материал трубок – лента из латуни Л90 толщиной $\delta_{mp}=0,15$ мм, пластин – латунь Л62 толщиной $\delta_n=0,1$ мм.

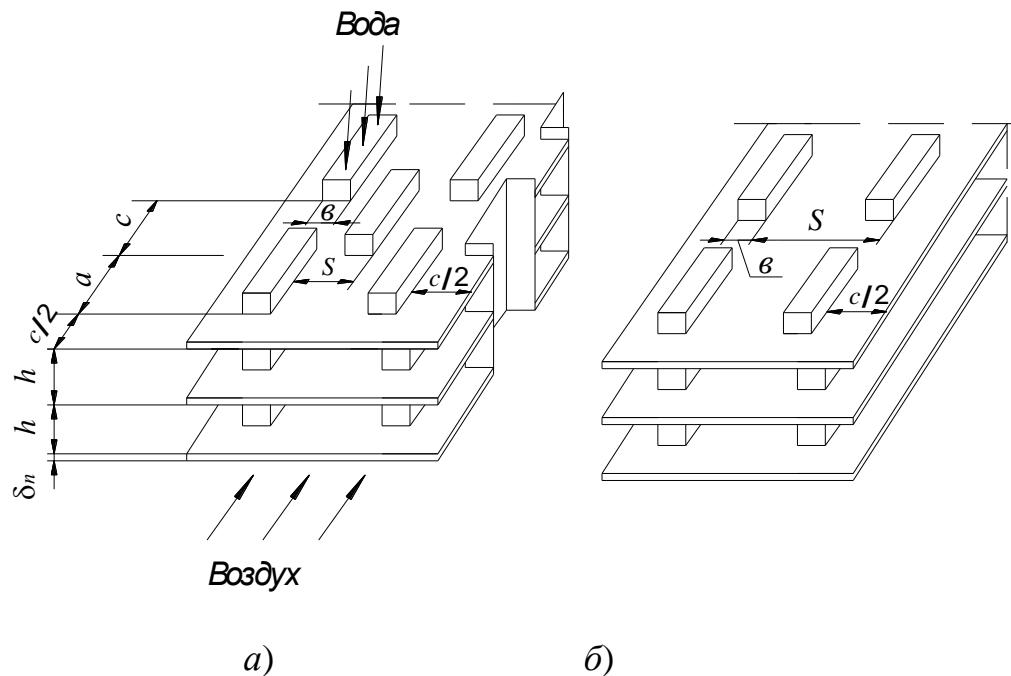


Рисунок 2.1 – Схема плоскотрубных матриц радиаторов с шахматным (а) и коридорным (б) пучками труб

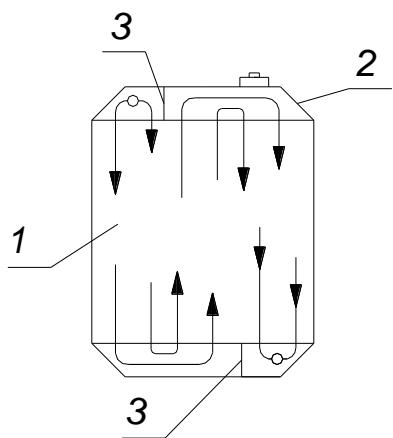


Рисунок 2.2 – Схемы трехходового радиатора:
1 – сердцевина, 2 – бачки, 3 – перегородки.

ВАРИАНТ 1 – Карбюраторные автомобильные двигатели

Заданные величины	Цифры шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра шифра										
Гип двигателя	ВАЗ-2101	ВАЗ-2121	ВАЗ-2109	451М	ГАЗ 52-01	ГАЗ 14	ЗМЗ 24Д	ЗИЛ 131	ЗИЛ 157КД	ЗИЛ 375Я5
N_e , кВт	47	58, 5	66,8	55,2	55,2	161, 8	69,9	110, 3	80, 9	132, 4
g_e , г/кВт·ч	306	306	326, 4	319, 6	346, 8	272	306	326, 4	340	326, 4
$n_{ж}$	0,2 3	0,2 6	0,28	0,27	0,31	0,25	0,27	0,26	0,2 8	0,29
$\omega_{ж}$, м/с	0,6 5	0,6 7	0,68	0,61	0,69	0,8	0,74	0,71	0,7 6	0,78
$\omega_в$, м/с	14	15	18	12	16	19	17	18	15	16
Предпоследняя цифра шифра										

$t_{ж}$, °C	95	91	87	84	85	89	92	85	89
$\Delta t_{ж}$, °C	11	9	7	10	9	8	11	6	8
t_b , °C	32	34	39	36	40	37	38	41	35
Δt_b , °C	30	28	26	25	27	23	25	22	24
a , мм	10	12	10	11	12	13	14	15	16
b , мм	4,6	4,0	3,6	4,2	4,5	5,0	4,8	5,2	5,3
c , мм	4,8	5,8	5,0	4,9	6,0	5,2	5,4	6,2	6,8
h , мм	2,7	2,9	3,0	3,7	3,9	4,1	4,2	3,3	3,8
ψ	3,6	3,2	3,4	3,0	2,9	2,8	2,6	2,4	2,2

ВАРИАНТ 2 – Дизельные автотракторные двигатели

данные величины	Цифры шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Последняя цифра шифра										

Тип двигателя	Д-50	СМД	СМД-60	ЯАЗ-204В	ЯАЗ-206Б	В-306	ЯМЗ-236	ЯМЗ-240Б	ЯМЗ-240	КамАЗ-740
N_e , кВт	36,8	47,8	117,5	102,9	154,4	220,7	132,4	220,6	246,8	154,4
g_e , г/кВт·ч	265	265	232	267,9	272	231	227,1	244,1	227,1	224,4
$n_{ж}$	0,25	0,2	0,22	0,3	0,27	0,31	0,26	0,2	0,29	0,26
$\omega_{ж}$, м/с	0,58	0,59	0,6	0,68	0,6	0,62	0,59	0,64	0,66	0,61
ω_B , м/с	13	17	14	18	15	16	12	14	17	12

Предпоследняя цифра шифра

$t_{ж}$, °C	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
$\Delta t_{ж}$, °C	6	7	8	9	10	11	12	11	10	9
t_b , °C	33	39	34	35	36	37	39	38	34	36
Δt_b , °C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
a , мм	13	14	15	16	17	18	19	21	22	20
b , мм	5,5	6,1	6,7	7,1	7,4	7,8	7,6	8,5	8,2	8,0
c , мм	4	3,9	5,3	4,9	4,5	5,8	5,0	4,5	6,0	5,5
h , мм	5,0	4,8	4,6	4,4	4,2	3,4	4,0	3,4	3,2	3,8
ψ	2,0	2,1	2,2	2,5	3,0	2,8	2,7	3,1	3,2	3,4

2.2 Определение тепловой нагрузки на радиатор

Количество теплоты, отводимое от нагретых деталей двигателя охлаждающей водой и передаваемое от нее воздуху в радиаторе, Вт

$$Q_p = 0,278 n_{ж} N_e g_e Q_h , \quad (2.1)$$

где Q_h – низшая теплота сгорания топлива. Для бензина $Q_h=44,0$ МДж/кг и для дизельного топлива $Q_h=42,5$ МДж/кг.

2.3 Определение расходов теплоносителя

Объемные расходы воды и воздуха, протекающие через радиатор, $\text{м}^3/\text{с}$

$$V_{\text{ж}} = \frac{Q_p}{c_{p\text{ж}}\rho_{\text{ж}}\Delta t_{\text{ж}}} \text{ и } V_{\text{в}} = \frac{Q_p}{c_{p\text{в}}\rho_{\text{в}}\Delta t_{\text{в}}}, \quad (2.2)$$

где $c_{p\text{ж}}$, $c_{p\text{в}}$ – средние массовые теплоемкости воды и воздуха. Для воды $c_{p\text{ж}} = 4190$ Дж/(кг·К) и воздуха

$c_{p\text{в}} = 1005$ Дж/(кг·К);

$\rho_{\text{ж}}$, $\rho_{\text{в}}$ – плотность воды и воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$. Принимаются по приложениям А и Б при температурах

$$t_{\text{жср}} = t_{\text{ж}} - \frac{\Delta t_{\text{ж}}}{2} \text{ и } t_{\text{вср}} = t_{\text{в}} + \frac{\Delta t_{\text{в}}}{2}.$$

2.4 Расчет характеристик теплообмена

2.4.1 Коэффициент теплоотдачи от воды внутренним стенкам трубок

$$\alpha_{\text{ж}} = \frac{Nu_{\text{ж}}\lambda_{\text{ж}}}{d_{\text{в}}} \text{ Вт}/(\text{м}^2), \quad (2.3)$$

где $Nu_{\text{ж}}$ – критерий Нуссельта, определяемый по критериальной зависимости.

Для турбулентного режима воды в трубах

$$Nu_{\text{ж}} = 0,021 Re_{\text{ж}}^{0,8} Pr_{\text{ж}}^{0,43} \quad (2.4)$$

где Re – число Рейнольдса

$$Re_{\text{ж}} = \frac{\omega_{\text{ж}} d_{\text{в}}}{V_{\text{ж}}} \quad (2.5)$$

$$d_{\text{y}} = \frac{2ab}{a+b} - \text{эквивалентный диаметр сечения трубки радиатора, м.}$$

Теплопроводимость $\lambda_{\text{ж}}$, кинематическая вязкость $\nu_{\text{ж}}$ и число Прандтля Pr принимаются по приложению А при средней температуре воды в радиаторе $t_{\text{жср}}$.

2.4.2 Среднее значение коэффициента теплоотдачи от наружных поверхностей трубок и пластин оребрения радиатора к воздуху

$$\alpha_e = \frac{Nu_e \lambda_e}{h} = k \frac{\lambda_e}{h^x} \left(\frac{e}{h} \right)^{-0,54} \left(\frac{c}{h} \right)^{-0,14} \left(\frac{\omega_e}{\nu_e} \right)^y \text{Pr}^{0,35}, \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К}) \quad (2.6)$$

где k , x , y – эмпирические коэффициенты. Для шахматного пучка трубок: $k = 0,292$; $x=0,35$; $y=0,65$; для коридорного: $k = 0,136$; $x=0,28$; $y=0,72$;

λ_e , ν_e , Pr_e - физические параметры воздуха, выбираемые по приложению Б при средней температуре воздуха в радиаторе $t_{\text{вср}}$;

ω_e - скорость воздуха в зауженном сечении, м/с.

2.4.3 Максимальный коэффициент теплопередачи от воды к воздуху, отнесенный к единице наружной поверхности трубок и пластин (без учета неравномерности распределения температур в них)

$$k_n = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{ж}}} * (1 + \psi) + \frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} (1 + \psi) + \frac{1}{\alpha_e}} \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К}), \quad (2.7)$$

где $\frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}}$ – термическое сопротивление стенки трубы. Ввиду малости принимается $\frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} = 0$ (погрешность до 0,05%).

2.5 Расчет конструктивных параметров радиатора

2.5.1 Необходимая площадь поверхности охлаждения по воздуху

$$F_p = \frac{Q_p}{k_n(t_{\text{окcp}} - t_{\text{екcp}})}, \text{ м}^2 \quad (2.8)$$

2.5.2 Площадь живого сечения сердцевины радиатора для прохода воздуха

$$f_{\text{еп}} = \frac{V_e}{\omega_e}, \text{ м}^2 \quad (2.9)$$

2.5.3 Определение размеров сердцевины радиатора

Площадь живого сечения по воздуху единичной матрицы – квадратного участка с размерами $S \times S$ в пределах одной трубы по фронту радиатора (линейные размеры в мм)

$$f_{\text{e1}} = 10^{-6} \left(S^2 - \epsilon S - \frac{\delta_n}{h} S^2 \right), \text{ м}^2 \quad (2.10)$$

где S – шаг трубок в ряду по фронту радиатора, мм. Определяется из выражений для коэффициента обребрения соответственно для коридорного или шахматного пучка

$$\psi_k = \frac{S(a+c)-ab}{h(a+b)} \text{ и } \psi_w = \frac{0,5S(a+c)-ab}{h(a+b)} \quad (2.11)$$

Для лучшего омлетания лопастями вентилятора фронтальной поверхности радиатора последняя выполняется в форме квадратного сечения. Тогда число трубок в каждом поперечном току воздуха ряду

$$n_1 = \sqrt{\frac{f_{\text{ep}}}{f_{\text{e1}}}}, \text{ шт} \quad (2.12)$$

а суммарная площадь охлаждения такого ряда по воздуху

$$f_{p1} = 2(1+\psi)(a+\epsilon)Sn_1^2, \text{ м}^2 \quad (2.13)$$

число рядов трубок по глубине радиатора (по току воздуха)

$$n_2 = F_p / f_{p1}, \text{ шт.} \quad (2.14)$$

и общее число трубок радиатора

$$N = n_1 n_2, \text{ шт.} \quad (2.15)$$

Расчетные значения величин S , n_1 и n_2 округляются до целых чисел.

Ширина и высота (длина l трубок одного ряда) сердцевины радиатора

$$B = H = l = n_1 s \text{ мм} \quad (2.16)$$

Глубина радиатора по краям пластин оребрения:

a) при коридорном пучке

$$L = n_2(a+c) \text{ мм}; \quad (2.17)$$

b) при шахматном пучке

$$L = 0,5(n_2+1)(a+c) \text{ мм} \quad (2.18)$$

Для автомобильных радиаторов $L=60\dots130$ мм и тракторных $L=80\dots140$ мм.

2.6 Расчет числа ходов радиатора

2.6.1 Проходные площади сечения радиатора по воде:

a) общая по принятому числу трубок N

$$F_{\text{жер}} = N f_{mp} = Nab, \text{ м}^2 \quad (2.19)$$

b) в расчете на один ход для обеспечения заданной скорости $\omega_{\text{ж}}$

$$f_{\text{жс1}} = V_{\text{ж}} / \omega_{\text{ж}} \text{ м}^2 \quad (2.20)$$

2.6.2 Количество ходов охлаждающей воды в радиаторе

$$Z = F_{\text{жер}} / f_{\text{жс1}}, \text{ шт.} \quad (2.21)$$

и число трубок одного хода

$$Z_1 = N/Z, \text{ шт} \quad (2.22)$$

Расчетные величины Z округляются до целых чисел, желательно нечетных, так как в последнем случае достигается наиболее приемлемая схема циркуляции: впуск горячей воды в верхний бачок и выпуск охлажденной через нижний бачок радиатора (рисунок 2.2).

После принятия Z уточняется фактическая скорость воды

$$\omega_{\text{ж}} = \frac{ZV_{\text{ж}}}{F_{\text{жр}}}, \text{ м/с} \quad (2.23)$$

Которая не должна быть ниже 0,55 м/с по условию обеспечения турбулентного режима движения воды и связанного с этим значения $\alpha_{\text{ж}}$. В противном случае величина Z округляется в большую сторону.

Дать оценку влияния числа ходов на интенсивность теплообмена в радиаторе.

2.7 Расчет энергозатрат на систему водяного охлаждения

2.7.1 Мощность на привод водяного насоса

$$N_{\text{ж}} = \frac{V_{\text{ж}} P_{\text{ж}}}{\eta_v \eta_p} \text{ кВт} \quad (2.24)$$

где $P_{\text{ж}}$ – суммарные потери давления водяной системы охлаждения, кПа.

Принять по данным для автотракторных двигателей $P_{\text{ж}}=40...51$ кПа;

η_v – коэффициент подачи насоса, $\eta_v=0,8...0,9$;

η_p – гидравлический КПД насоса, $\eta_p=0,6...0,7$.

2.7.2 Мощность на привод вентилятора

$$N_e = 10^{-3} \frac{V_e P_e}{\eta_e} , \text{ кВт} \quad (2.25)$$

где $P_{\hat{a}}$ – суммарные потери давления всей воздушной системы водяного охлаждения

$$P_e = \Delta P_p + (\xi_{ex} + \xi_{jc} + \xi_{bx}) \frac{\rho_{ecp} \omega_e^2}{2} , \text{ Па} \quad (2.26)$$

где ΔP_p - потери давления в радиаторе.

$$\Delta P_p = \rho_{ecp} \omega_e^2 n_2 c_1 , \text{ Па} \quad (2.27)$$

c_1 – расчетный коэффициент: для шахматного пучка

$$c_1 = 0,0983 + \frac{0,072}{n_2} ;$$

коридорного

$$c_1 = 0,0293 + \frac{0,153}{n_2} ,$$

где $\xi_{ex}, \xi_{jc}, \xi_{bx}$ – коэффициенты сопротивления входа, жалюзи и выходных щелей капота, отнесенные к скорости перед радиатором ω_e . Приближенно можно принять

$$\xi_{ex} = 0,8; \xi_{jc} = 0,9 \dots 15; \xi_{bx} = 2..3;$$

η_e – КПД вентилятора равный 0,3…0,4 для клепаных осевых вентиляторов.

2.8 Определение показателей эффективности

радиатора

Произвести расчет и дать объяснение смыслового значения каждого указанного ниже показателя эффективности спроектированного радиатора.

2.8.1 Удельная энергетическая характеристика

$$q_N = \frac{10^{-3} Q_p}{(N_{\text{ж}} + N_{\text{в}})(t_{\text{жcp}} - t_{\text{в}})} \text{ Вт/Вт·К} \quad (2.28)$$

2.8.2 Удельный массовый показатель радиатора

$$q_G = \frac{Q_p}{G(t_{\text{жcp}} - t_{\text{в}})} \text{ Вт/кг·К} \quad (2.29)$$

где G – масса сердцевины радиатора (δ_{mp} и δ_n в мм)

$$G = 10^{-3} 1,1 F_p \frac{\delta_{mp} + 0,5 \psi \delta_n}{1 + \Psi} \rho_l \text{ кг} \quad (2.30)$$

где 1,1 – коэффициент, учитывающий приведенную массу припоя;

ρ_l - плотность латунной ленты, $\rho_l = 8600 \text{ кг/м}^3$.

2.8.3 Коэффициент объемной компактности радиатора

$$m = \frac{F_p}{V_p} = \frac{F_p}{BHL} \text{ м}^2/\text{м}^3 \quad (2.31)$$

для автотракторных радиаторов $m = 600 \dots 950 \text{ м}^2/\text{м}^3$.

2.8.4 Критическая температура наружного воздуха системы водяного охлаждения

Определяется значением температуры наружного воздуха, при котором охлаждающая вода на входе в радиатор вскипает

$$t_{kp} = t_{kun} - (t_{\text{ж}} - t_{\text{в}}) \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2.32)$$

где t_{kun} – температура вскипания воды, $^\circ\text{C}$. Для открытых систем охлаждения (при барометрическом давлении)

$t_{kun} = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$. Обычно применяются закрытые системы, для которых при регулировании применяются закрытые системы, для которых при регулировании парового клапана пробки радиатора на давление 85,5 кПа (0,35 атм) $t_{kun} = 107 \text{ } ^\circ\text{C}$.

2.9 Компоновка матрицы радиатора

На формате А4 в масштабе изобразить 2 проекции (вид спереди и вид сверху) объемной матрицы радиатора размером $2S \times 2S \times L$ с компоновочными размерами трубного пучка.

На этом же формате изобразить схему движения воды по числу ходов в спроектированном радиаторе (по аналогии с рисунком 2.2).

3. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПОМЕЩЕНИЯ

3.1 Исходные данные

ВАРИАНТ 1

Цифра шифра Наименование помещения	Вид птицы	Птицы, кг	Число голов	Размеры помещени я		Двери	
				A, м	B, м	размеры	кол-во
0	птичник	куры яичных пород при напольном содержании	1,7	2000	72	12	1,87×2,39 2
1	птичник	цыплята до 70 дневного возраста	0,6	16000	78	18	1,87×2,39 2
2	птичник	куры мясных пород	3,0	4000	96	12	1,87×2,39 2
3	птичник	Куры яичных пород при содержании в клетке	1,5	30000	96	18	1,87×2,39 1
4	птичник	утки в возрасте до 30-ти дней	1,0	8200	72	12	1,87×2,39 2

5	птичник	индейки	6,8	1800	84	18	$1,87 \times 2,39$	2
6	птичник	индюшата в возрасте до 120 дней	4,0	9000	96	24	$1,87 \times 2,39$	2
7	птичник	индюшата до 120 дней	4,0	4500	72	18	$1,87 \times 2,39$	2
8	птичник	куры яичных пород при содержании в клетках	1,7	10200	84	12	$1,87 \times 2,39$	2
9	птичник	Молодняк кур яичных пород до 180 дней	1,6	24000	84	12	$1,87 \times 2,39$	2

Данные, выбираемые по предпоследней цифре шифра

Первая цифра шифра	Климатический район Краснодарского края	Первая цифра шифра	Климатический район Краснодарского края
0	Лабинск	5	Кореновск
1	Кропоткин	6	Гиагинская
2	Крымск	7	Горячий Ключ
3	Выселки	8	Динская
4	Белая Глина	9	Ейск

ВАРИАНТ 2

цифра шифра	Наименование помещения	Вид животных	животного, кг	животных	Размеры помещения		Ворота	
					A, м	B, м		
0	свинарник	а)супоросные матки б)хряки	100	246	75	18	$2,35 \times 2,65$	4

			100	24					
1	свинарник	хряки	200	50	42	18	2,35×2,35	2	
2	свинарник	поросыта	150	6600	222	18	1.18×2,39	2	
3	свинарник	ремонтный молодняк	90	1200	105	18	2,35×2,35	2	
4	свинарник	свиноматки с приплодом	100	80	84	18	2,65×2,35	2	
5	свинарник	поросыта отъемыши	- 15	1800	114	15	2,95×2,95	2	
6	коровник	коровы	300	100	87	11	2,65×2,35	4	
7	коровник	а) коровы б) телята	300 30	60 240	78	18	2,95×2,95	2	
8	здание на 112 голов	телята старше 4-х месяцев	250	112	54	10,5	2,35×2,35	3	
9	свинарник	свиноматки холостые	150	500	115	18	2,95×2,95	2	

Данные, выбираемые по предпоследней цифре шифра

Первая цифра шифра	Климатический район Краснодарского края	Первая цифра шифра	Климатический район Краснодарского края
0	Отрадо-Кубанская	5	Усть-Лабинск
1	Майкоп	6	Отрадная
2	Темиргоевская	7	Кущевская
3	Тамань	8	Каневская

4	Туапсе	9	Северская
---	--------	---	-----------

Таблица дополнительных и недостающих данных

Наименование	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
По последней цифре шифра										
Удельная тепловая характеристика для отопления q_0 Вт/м ³ ·К	0,87	0,76	0,49	0,44	0,5	0,42	0,4	0,52	0,83	0,32
Высота здания h , м	2,55	2,4	2,51	3,5	2,7	2,4	3,0	2,4	2,8	2,9
Коэффициент теплопроводности строительного материала λ , Вт/м·К	1,63	1,45	1,05	0,64	0,81	0,87	0,93	0,81	0,69	0,76
Плотность воды ρ_w , кг/м ³	992,8	988	983	977	971	968	965	961	958	955

3.2 Расчет теплового баланса

Расчет производится для одного из производственных зданий, в котором по зданию проектируется система воздушного отопления.

Расчетная тепловая нагрузка систем отопления и вентиляции определяется из теплового баланса помещения при расчетной температуре

наружного воздуха для проектирования отопления

$$Q_o = Q_{oep} + Q_b + Q_{uc} - Q_{ж} - Q_{don} \quad (1)$$

где Q_o – теплота, подаваемая системой отопления для поддержания теплового баланса с целью обеспечения нормируемых параметров микроклимата помещения, кВт ;

Q_{oep} , Q_b , Q_{uc} – расходные статьи теплового баланса- потери теплоты через наружные ограждения, с вентиляционным выбросом отработанного воздуха и на испарения влаги со смоченных поверхностей, кВт;

$Q_{ж}$, Q_{don} – приходные статьи теплового баланса - явное тепловыделение животных или птицы и дополнительные тепловыделения. кВт.

Ниже производится определения составляющих теплового баланса.

3.3 Расчет потерь теплоты через ограждения

В соответствии с номером варианта вычерчивают план здания в М 1:100.

$$Q_{oep} = Q_{m.n} + Q_n \quad (2)$$

Расчет трансмиссионных потерь $Q_{m.n}$ и тепловых теплоты через полы Q_n , кВт производятся по формуле

$$Q_{m.n} = 10^3 F(t_e - t_h) \left(1 + \sum \beta\right) n / R \quad \text{и} \quad Q_n = 10^3 F(t_e - t_h) n / R_c, \quad (3)$$

где R – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$; сопротивление теплопередаче дверей и ворот должно быть не менее $0,6R$ стен зданий

$$R = \frac{n(t_e - t_h)}{\Delta t^h \alpha_e}; \quad (4)$$

Δt^h – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаем

$$\Delta t^h = (t_e - t_p); \quad (5)$$

α_e – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих

конструкций, принимаем равный $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

Сопротивление теплопередаче полов следует определять:

а) для неутепленных полов на грунте и стенах, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda \geq 1,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ по зонам шириной 2 м, параллельным наружным стенам, принимая R_c , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, равным:

2,1 – для I зоны; 4,3 – для II зоны; 8,6 – для III зоны;
14,2 – для оставшейся площади пола;

б) для утепленных полов на грунте и стенах, расположенных ниже уровня земли, с коэффициентом теплопроводности $\lambda_h < 1,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ утепляющего слоя толщиной δ , м, принимая R_h , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ по формуле

$$R_h = R_c + \delta / \lambda_h; \quad (6)$$

в) для полов на лагах, принимая R_h , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, по формуле

$$R_h = 1,18(R_c + \delta / \lambda); \quad (7)$$

F – площадь ограждения, м^2 ;

n – коэффициент, принимаемый по СНиП II-3-79** в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху, для чердачных перекрытий 0,8...0,9 и для остальных ограждений и без чердачных перекрытий – 1,0;

β – добавочные потери теплоты через ограждающие конструкции следует принимать в долях от основных потерь:

а) в помещениях любого назначения через наружные вертикальные и наклонные (вертикальная проекция) стены, двери и окна, обращенные на север, восток, северо-восток и северо-запад в размере 0,1, на юго-восток и запад – в размере 0,05; в угловых помещениях дополнительно – по 0,05 на каждую стену, дверь и окно, если одно из ограждений обращено на север, восток, северо-восток и северо-запад и 0,1 – в других случаях;

б) в помещениях, разрабатываемых для типового проектирования, через стены, двери и окна, обращенные на любую из сторон света, в размере 0,08 при одной наружной стене и 0,13 для угловых помещений (кроме жилых), а во всех жилых помещениях – 0,13;

а) через необогреваемые полы первого этажа над холодными подпольями зданий в местностях с расчетной температурой наружного воздуха минус 40 °С и ниже - в размере 0,05;

г) через наружные двери, не оборудованные воздушными или воздушно-тепловыми завесами, при высоте зданий H , м, от средней планировочной отметки земли до верха карниза, центра вытяжных отверстий фонаря или устья шахты в размере: 0,2 H - для тройных дверей с двумя тамбурами между ними; 0,27 H - для двойных дверей с тамбурами между ними; 0,34 H - для двойных дверей без тамбура; 0,22 H - для одинарных дверей;

д) через наружные ворота, не оборудованные воздушными и воздушно-тепловыми завесами, - в размере 3 при отсутствии тамбура и в размере 1 - при наличии тамбура у ворот.

Теплопотери подсчитываются для наружных стен (НС), перекрытий над подвалом (ПЛ), окон (ДО), дверей (ДД), чердачных перекрытий (ПТ).

Поверхности ограждений определяются их линейными размерами из строительных чертежей с точностью до 0,1 м. Площади окон, дверей и ворот принимаются по наименьшим размерам их проемов: размеры поверхностей потолков или полов – по внутренне поверхности наружных стен; высота стен - от уровня пола до верха утепляющего слоя перекрытия.

При проектировании для производственных зданий можно принимать размеры: дверь одностворчатая – 0,9×2,2 м; двухстворчатая – 1,5×2,2 м; ворота двухстворчатые – 2,6×2,6 м. Площадь оконных проемов назначается по нормам естественной освещенности (в процентах от площади пола) по приложению Е. Оконные проемы располагаются только в продольных стенах.

Все расчеты заносятся в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Потери теплоты через ограждения

Помещение	Характеристика ограждений	Теплопотер и $Q_{\text{тр}}, \text{Вт}$	Добавочные теплопотери	Потери через
-----------	---------------------------	---	------------------------	--------------

номер плану	,	наименование	ориентация	размер $a \times b, м$	площадь, $м^2$	$R, м^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$	$\Delta t_n, ^\circ\text{C}$		цило,	прочие	$\Sigma \beta$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

3.4 Расход теплоты на вентиляцию

Назначение вентиляции - поддержание при расчетных зимней и летней температурах наружного воздуха за счет нормируемой кратности или величины воздухообмена оптимальных значений параметров микроклимата помещения: температуры, относительной влажности, газового состава, скорости движения внутреннего воздуха и т.д.

Обычно для сельскохозяйственных производственных помещений избыточные тепловыделения в зимний период не являются определяющими при расчете воздухообмена и учитываются только в тепловом балансе.

Расход вентиляционного воздуха определяются для каждого помещения по количеству возможных вредных выделений:

по газовыделениям

$$L_e = \frac{V_e}{(C_e - C_n)}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (8)$$

по влаговыделениям

$$L_e = \frac{W}{(d_e - d_n)\rho_e}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (9)$$

где V_e , W – газовыделения, л/ч, и влаговыделения, г/ч;

C_e , C_n – концентрация углекислоты предельно допустимая (примечание к приложению Д) и в приточном воздухе, л/м³. Для сельской местности $C_n = 0.33$ л/м³;

ρ_e -плотность внутреннего воздуха, м³/кг (приложение Б);

d_b , d_h -влагосодержания удаляемого и приточного воздуха. Определяются из i-д диаграммы влажного воздуха (приложение Г) по значениям t_b и φ_b , t_h и φ_h .

Для сельскохозяйственных нетоксичных помещений в газовыделениях определяющим является количество углекислоты, выделяемое животными или птицей

$$V_{co_2} = \sum_{i=1}^k c_i n_i a_4, \text{ л/ч} \quad (10)$$

где n_i -количество животных или птиц данной половозрастной группы, голов;

c_i -количество углекислоты, выделяемое одним животным или птицей данного вида, л/ч (приложения И, К). Для птицы $c_i = c_i m$, где m – расчетная масса птицы, кг;

c_i – газовыделения на 1 кг массы птицы л/ч;

a_4 –коэффициент, учитывающий изменение тепло-, газо- и влаговыделений животных и птицы при групповом содержании. Для всех видов – $a_4= 1,03$.

Возможные влагопоступления в животноводческих и птицеводческих помещениях, г/ч:

от животных или птицы

$$W_{uc(n)} = \sum_{i=1}^k W_i n_i a_1 a_4$$

от испарений со смоченных поверхностей

$$W_{ucn} = \xi W_{uc}, \quad (11)$$

от испарений из помета

$$W_{nom} = \frac{\sum (0,7 P_{nom} n_i)}{24}$$

где W_i -количество водяных паров, выделяемое одним животным или птицей, г/ч (приложения И, К). Для птицы $W_i = W_i m$, где m – расчетная масса птицы, кг;

W_i – количество водяных паров, выделяемое из расчета на 1 кг массы птицы л/ч;

a_1 – коэффициент, учитывающий изменение тепло- и влаговыделений животных и птицы в зависимости от t_e (приложение Л, М);

ζ – коэффициент надбавок на испарение воды со смоченных поверхностей в животноводческих помещениях. При удовлетворительном содержании животных и наличии подстилки $\zeta=0,1$, при нерегулярной работе канализации и отсутствии подстилки $\zeta=0,25$;

P_{nom} - среднесуточный выход помета от одной птицы, г/гол (приложение Н);

0,7- коэффициент усушки помета.

Суммарные влаговыделения:

в животноводческих помещениях

$$W = W_{\text{ж}} + W_{\text{учн}} \quad (12)$$

в птицеводческих помещениях

$$W = W_{nm} + W_{nom}$$

Расчетный воздухообмен L принимается по наибольшему из значений величин L_e или L_b и должен быть не менее нормативного

$$L_{\min} = \frac{l m n_i}{100}, \quad (13)$$

где l – минимальный воздухообмен на 100 кг расчетной массы животного или птицы, м³/час (приложение Д);

m -расчетная масса животного или птицы, кг.

Для животноводческих и птицеводческих помещений значение величин воздухообмена определяется для зимнего и переходного ($t_h=10^{\circ}\text{C}$) периодов с целью установления максимальной мощности принудительной вентиляции. В летний период недостающий воздухообмен компенсируется за счет организации естественной дополнительной вентиляции.

Потери теплоты с вентиляционным выбросом удаляемого из помещения воздуха

$$Q_e = 0,278 \cdot 10^{-3} L \rho_n c (t_e - t_h), \text{ кВт} \quad (14)$$

где ρ_n - плотность наружного воздуха при t_h , кг/м³ (приложение Б);

c – теплоемкость воздуха. Принимается $c = 1,0 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$

3.5 Расход теплоты на испарение влаги со смоченных поверхностей

Для животноводческих помещений

$$Q_{ucn} = 0,278 \cdot 10^{-3} r W_{ucn}, \text{кВт.} \quad (15)$$

Для птицеводческих помещений

$$Q_{ucn} = 0,278 \cdot 10^{-3} r W_{nom}, \text{кВт} \quad (16)$$

где $r=2,495$ кДж/г – скрытая теплота парообразования воды.

3.6 Тепловыделения животных или птицы

Свободная теплота, выделяемая животными или птицей при групповом содержании k видов

$$Q_{\mathcal{H}(nm)} 10^{-3} \sum_{i=1}^k g_i n_i a_1 a_2 a_3 a_4, \text{кВт} \quad (17)$$

где g_i – количество явной теплоты, выделяемой одним животным или однотипной птицей данного вида, Вт (приложение И, К). Для птицы $g_i = g_i m$;

a_2 и a_3 – коэффициенты учитывающие изменение тепловыделений животными или птицей в зависимости от фактического количества по сравнению с расчетным и уменьшение тепловыделений в состоянии покоя (ночное время). Принимаются: для крупного рогатого скота $a_2 = 0,9$ и $a_3 = 0,8$; свиней $a_2 = a_3 = 0,8$; птицы $a_2 = 0,85 \dots 0,9$ и $a_3 = 0,6$.

3.7 Дополнительные тепловыделения в помещении

Могут складываться из тепловыделений от механической энергии работающего оборудования (в расчете не учитывается)

$$Q_m = C_1 N_1, \text{кВт} \quad (18)$$

и тепловыделений от осветительных приборов

$$Q_{oc} = C_2 N_2 = 10^{-3} C_2 F q_s, \text{ кВт} \quad (19)$$

где N_1 и N_2 – номинальная мощность электродвигателей и осветительных приборов, кВт;

$C_1 = 0,15 \dots 0,7$ – коэффициент, учитывающий использование установочной мощности, загрузку, одновременность работы электродвигателей и ассимиляцию теплоты;

$C_2 = 0,6 \dots 1,0$ -коэффициент, учитывающий вид осветительной арматуры;

q_s - нормативная удельная мощность освещения. Вт/м², в помещении площадью F , м² (приложение Ж).

3.8 Анализ теплового баланса.

График теплового баланса

Подстановкой в уравнение (1) определяется нагрузка на систему отопления. При этом возможны варианты решения; $Q_o \leq 0$ (положительный тепловой баланс) - отопление не планируется и избыточные тепловыделения удаляются вентиляцией: при $Q_o > 0$ (отрицательный тепловой баланс) - значение Q_o является расчетной тепловой нагрузкой для проектируемой системы отопления.

В системе воздушного отопления эта нагрузка компенсируется калориферным подогревом приточного вентиляционного воздуха с подводом теплоты

$$Q_o = 0,278 \cdot 10^{-3} L \rho_h c (t_e - t_n), \text{ кВт} \quad (20)$$

откуда определяется требуемая температура подогретого воздуха на выходе из калорифера

$$t_n = t_e + \frac{10^3 Q_{eo}}{0,278 L \rho_h c}, {}^\circ\text{C} \quad (21)$$

Производится упрощенное построение графика теплового баланса $Q_o = f(t_h)$, т.е. зависимости изменения нагрузки на систему отопления в функции текущих значений t_i температуры наружного воздуха.

Как видно из предыдущих расчетов, составление теплового баланса $Q_{жс(нн)}, Q_{don}, Q_{ucn}$ не зависят от, а значения $Q_{o\sigma p}$ и Q_e пропорциональны лишь разности $(t_a - t_i)$. Поэтому с учетом выражений (2, 3, 14) на основе уравнения (1) при $Q_o=0$ определяется так называемая температура переходного периода рассматриваемого отапливаемого помещения (температура включения или отключения отопления)

$$t_0 = t_e - \frac{Q_{жс} + Q_{don} - Q_{ucn}}{Q_{o\sigma p} + Q_e} (t_e - t_h), \text{ °C} \quad (22)$$

По двум точкам ординат тепловой нагрузки ($Q_o=0$ при $t_i = t_0$ и $Q_o = Q_{eo}$ в расчетном режиме при $t_i = t_e$) строится график линейной зависимости $Q_o = f(t_i)$. При этом соблюдается тепловой баланс в здании для каждого значения t_i обеспечивающийся качественным регулированием теплоотдачи нагревательных приборов в соответствии с температурным графиком (рисунок 3.1).

Теплоизбытки в интервале температур от t_e до t_0 удаляются вентиляцией. Максимальные избытки явной или общей теплоты обычно являются определяющими при назначении объема вентиляции в переходной и летний периоды.

Необходимо помнить, что для всех зданий без значительных внутренних тепло-, газо- и влаговыделений начало и конец отопительного периода определяются установлением среднесуточной температуры $t_h=8^{\circ}\text{C}$, а для производственных сельскохозяйственных помещений значением t_0 .

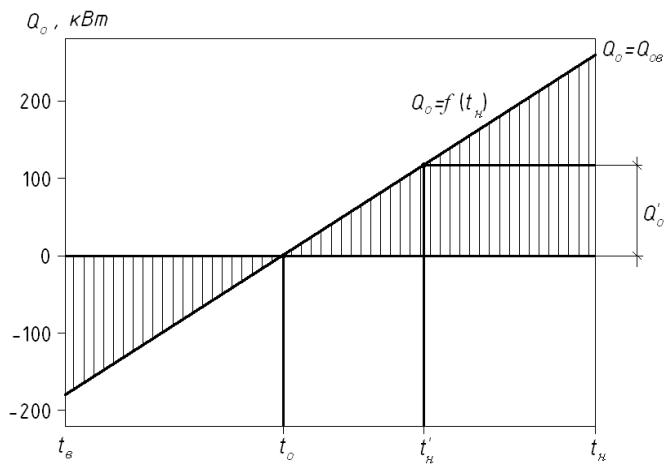


Рисунок 3.1 – График теплового баланса

Для промежуточного контроля (ОПК-1 Способен решать типовые задачи профессиональной деятельности на основе знаний основных законов математических, естественнонаучных и общепрофессиональных дисциплин с применением информационно-коммуникационных технологий)

Вопросы к зачету

1. Термодинамическая система. Основные параметры состояния.
2. Парциальное давление и парциальный объем смеси газов.
3. Обратимый процесс и цикл.
4. Уравнения состояния идеальных газов.
5. Свойства реальных газов.
6. Внутренняя энергия, работа, теплота.
7. Теплоемкость. Закон Майера.
8. 1-й закон термодинамики.
9. Энтальпия
10. 1-й закон термодинамики для потоков.
11. 2-й закон Термодинамики.
12. Энтропия и изменение ее в процессах.
13. Эксергия.
14. Прямой и регенеративный цикл Карно.
15. Адиабатный процесс идеального газа в закрытых системах.
16. Изотермный процесс идеального газа в закрытых системах.
17. Изохорный процесс идеального газа в закрытых системах.
18. Изобарный процесс идеального газа в закрытых системах.
19. Теплота парообразования.
20. Процессы изменения состояния водяного пара.
21. Процессы парообразования в p-v и T-s координатах.
22. Энтальпия жидкости и пара.
23. Энтропия жидкости и пара.

24. Процесс конденсации жидкости
25. Основные величины, характеризующие состояние влажного воздуха.
26. i-d диаграмма влажного воздуха.
27. Расчет основных процессов влажного воздуха.
28. Процессы изменения тепловлажностного состояния воздуха.

Для промежуточного контроля (ОПК-4 Способен реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности)

Вопросы к зачету

1. Истечение газов и паров.
2. Дросселирование газов и пара.
3. Изменение параметров в процессе дросселирования.
4. Практическое использование процесса дросселирования.
5. Температура адиабатного торможения. Эффект Джоуля-Томпсона.
6. Цикл Ренкина.
7. Регенеративные циклы паросиловых установок.
8. Теплофикационный цикл паросиловых установок.
9. Цикл Отто. Изображение цикла в p-v и T-s диаграммах.
10. Цикл Дизеля. Изображение цикла в p-v и T-s диаграммах.
11. Цикл Тринклера. Изображение цикла в p-v и T-s диаграммах.
12. Изотермическое, адиабатное и политропное сжатия.
13. Компрессоры. Многоступенчатые компрессоры.
14. Изображение в p-v и T-s диаграммах термодинамических процессов, протекающих в компрессорах.
15. Расчет потерь энергии и эксергетический КПД компрессора.
16. Цикл паровой компрессионной холодильной установки.
17. Абсорбционная холодильная установка.
18. Холодильный коэффициент и холодопроизводительность.
19. Тепловые насосы.
20. Виды теплообмена.
21. Теплопроводность. Закон Фурье.
22. Теплопроводность плоской однослоиной стенки.
23. Теплопроводность многослойной плоской стенки.
24. Теплопроводность цилиндрической стенки.
25. Тепловой баланс производственного помещения.
26. Конвективный теплообмен.
27. Законы теплового излучения. Теплообмен излучением.
28. Сложный теплообмен.
29. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости.
30. Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов.

31. Методы интенсификации процессов теплоотдачи в теплообменных аппаратах.

7.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Контроль освоения дисциплины Б1.О.17 «Теплотехника» проводится в соответствии с Пл КубГАУ 2.5.1 «Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация студентов». Текущий контроль по дисциплине позволяет оценить степень восприятия учебного материала и проводится для оценки результатов изучения разделов/тем дисциплины. Текущий контроль проводится как контроль тематический (по итогам изучения определенных тем дисциплины) и рубежный (контроль определенного раздела или нескольких разделов, перед тем, как приступить к изучению очередной части учебного материала).

Реферат. Критериями оценки реферата являются: новизна текста, Критериями оценки реферата являются: новизна текста, обоснованность выбора источников литературы, степень раскрытия сущности вопроса, соблюдения требований к оформлению.

Оценка «отлично» – выполнены все требования к написанию реферата: обозначена проблема и обоснована её актуальность; сделан анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция; сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объём; соблюдены требования к внешнему оформлению.

Оценка «хорошо» – основные требования к реферату выполнены, но при этом допущены недочёты. В частности, имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объём реферата; имеются упущения в оформлении.

Оценка «удовлетворительно» – имеются существенные отступления от требований к реферированию. В частности: тема освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании реферата; отсутствуют выводы.

Оценка «неудовлетворительно» – тема реферата не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы или реферат не представлен вовсе.

Критерии оценки знаний при проведении тестирования

Оценка «отлично» выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем на 85 % тестовых заданий;

Оценка «хорошо» выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем на 70 % тестовых заданий;

Оценка «удовлетворительно» выставляется при условии правильного ответа студента не менее чем на 51 %;

Оценка «неудовлетворительно» выставляется при условии правильного ответа студента менее чем на 50 % тестовых заданий.

Результаты текущего контроля используются при проведении промежуточной аттестации.

Критерии оценки на экзамене (зачете).

Оценка «отлично» выставляется обучающемуся, который обладает всесторонними, систематизированными и глубокими знаниями материала учебной программы, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные учебной программой, усвоил основную и ознакомился с дополнительной литературой, рекомендованной учебной программой. Как правило, оценка «отлично» выставляется обучающемуся усвоившему взаимосвязь основных положений и понятий дисциплины в их значении для приобретаемой специальности, проявившему творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала, правильно обосновывающему принятые решения, владеющему разносторонними навыками и приемами выполнения практических работ.

Оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, обнаружившему полное знание материала учебной программы, успешно выполняющему предусмотренные учебной программой задания, усвоившему материал основной литературы, рекомендованной учебной программой. Как правило, оценка «хорошо» выставляется обучающемуся, показавшему систематизированный характер знаний по дисциплине, способному к самостоятельному пополнению знаний в ходе дальнейшей учебной и профессиональной деятельности, правильно применяющему теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеющему необходимыми навыками и приемами выполнения практических работ.

Оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, который показал знание основного материала учебной программы в объеме, достаточном и необходимым для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных учебной программой, знаком с основной литературой, рекомендованной учебной программой. Как правило, оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся, допустившему погрешности в ответах на экзамене или выполнении экзаменационных заданий, но обладающему необходимыми знаниями под руководством преподавателя для устранения этих погрешностей, нарушающему последовательность в изложении учебного материала и испытывающему затруднения при выполнении практических работ.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, не знающему основной части материала учебной программы, допускающему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных учебной

программой заданий, неуверенно с большими затруднениями выполняющему практические работы. Как правило, оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, который не может продолжить обучение или приступить к деятельности по специальности по окончании университета без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

Оценки «зачтено» и «незачтено» выставляются по дисциплинам, формой заключительного контроля которых является зачет. При этом оценка «зачтено» должна соответствовать параметрам любой из положительных оценок на экзамене («отлично», «хорошо», «удовлетворительно»), а «незачтено» — параметрам оценки «неудовлетворительно».

8 Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная учебная литература

1. Гарьковый К.А. Теплотехника [Электронный ресурс] : учебное пособие / К.А. Гарьковый, А.Н. Соболь. – Краснодар: КубГАУ, 2018. –102 с. – 978-5-6041101-4-0. –Режим доступа: https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_uchebnoe_posobie_25-09-2018_409028_v1_.PDF
2. Гарьковый К.А. Теплотехника: Применение теплоты в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]: учебное пособие / К.А. Гарьковый, А.Н. Соболь. – Краснодар: КубГАУ, 2018. –118 с. – 978-5-6041101-6-4. –Режим доступа: https://edu.kubsau.ru/file.php/124/2_2018_Teplotekhnika_uchebnoe_posobie_2_422213_v1_.PDF
3. Соболь А.Н. Теплотехника: практикум / А. Н. Соболь. – Краснодар. - КубГАУ, 2019. – 84 с. – Режим доступа: https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_praktikum35.03.06.pdf

Дополнительная учебная литература

4. Журавец И.Б. Конспект лекций по теплотехнике [Электронный ресурс] : учебное пособие / И.Б. Журавец, С.З. Манойлина. — Электрон. текстовые данные. –Воронеж: Воронежский Государственный Аграрный Университет им. Императора Петра Первого, 2016. – 286 с. –978-5-7267-0899-7. –Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72678.html>
5. Епифанов В. С. Теплотехника. Сборник контрольных заданий [Электронный ресурс] / В. С. Епифанов. - М. : МГАВТ, 2008. - 63 с., 17 ил., 10 табл. - Режим доступа: <http://znanium.com/>
6. Кудинов В.А. Теплотехника: Учебное пособие / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 424 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-905554-80-3 - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/486472>
7. Крайнов А.В. Термодинамика и теплопередача. Ч. 1: Термодинамика : учеб. пособие / А.В. Крайнов, Е.Н. Пашков ; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета,

2017. - 160 с. - ISBN 978-5-4387-0769-1. - Режим доступа:
<https://new.znanium.com/catalog/product/1043902>

9 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

№	Наименование ресурса	Тематика	Уровень доступа
1	Znanium.com	Универсальная	Интернет доступ
3	IPRbook	Универсальная	Интернет доступ
5	Образовательный портал КубГАУ	Универсальная	Доступ с ПК университета

Перечень Интернет сайтов:

1. База данных Scopus. Режим доступа:

<https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>

2. База Данных Web of Science. Режим доступа:

<http://login.webofknowledge.com/error/Error?Src=IP&Alias=WOK5&Error=IPError&Params=&PathInfo=%2F&RouterURL=http%3A%2Fwww.webofknowledge.com%2F&Domain=.webofknowledge.com>

3. <https://ru.wikipedia.org>

10 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

1. Соболь А.Н. Теплотехника: практикум / А. Н. Соболь. – Краснодар. - КубГАУ, 2019. – 84 с. – Режим доступа:

https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_praktikum35.03.06.pdf

2. Соболь А.Н. Теплотехника: методические указания к выполнению контрольной работы / А. Н. Соболь. – Краснодар. - КубГАУ, 2019. – 51 с. - Режим доступа:

https://edu.kubsau.ru/file.php/124/Teplotekhnika_metodicheskie_ukazaniya_k_voploneniju_kontrolnoi_raboty35.03.06.pdf

11 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине позволяют: обеспечить взаимодействие между участниками образовательного процесса, в том числе

синхронное и (или) асинхронное взаимодействие посредством сети "Интернет"; фиксировать ход образовательного процесса, результатов промежуточной аттестации по дисциплине и результатов освоения образовательной программы; организовать процесс образования путем визуализации изучаемой информации посредством использования презентаций, учебных фильмов; контролировать результаты обучения на основе компьютерного тестирования.

Перечень лицензионного ПО

	Наименование	Краткое описание
	Microsoft Windows	Операционная система
	Microsoft Office (включает Word, Excel, PowerPoint)	Пакет офисных приложений

12 Материально-техническое обеспечение для обучения по дисциплине

Планируемые помещения для проведения всех видов учебной деятельности

№	Наименование учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практики, иных видов учебной деятельности, предусмотренных учебным планом образовательной программы	Наименование помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом, в том числе, помещений для самостоятельной работы, с указанием перечня основного оборудования, учебно-наглядных пособий и используемого программного обеспечения	Адрес (местоположение) помещений для проведения всех видов учебной деятельности, предусмотренной учебным планом (в случае реализации образовательных программ в сетевой форме дополнительно указывается наименование организации, с которой заключен договор)
1.	Теплотехника	Помещение №3 ЭЛ, посадочных мест — 100; площадь — 129,5 м ² ; учебная аудитория для проведения учебных занятий. специализированная мебель(учебная доска, учебная мебель); технические средства обучения, наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий (ноутбук, проектор, экран); программное обеспечение: Windows, Office.	350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13
2.	Теплотехника	Помещение №204 ЭЛ, площадь — 68,8 м ² учебная аудитория для проведения учебных занятий. кондиционер — 1 шт.; технические средства обучения (экран — 1 шт.; проектор — 1 шт.); специализированная мебель(учебная доска, учебная мебель).	350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13
3.	Теплотехника	Помещение №205 ЭЛ, посадочных мест — 28; площадь — 87,3 м ² ; помещение для самостоятельной работы обучающихся. технические средства обучения (принтер — 1 шт.;	350044, Краснодарский край, г. Краснодар, ул. им. Калинина, 13

		экран — 1 шт.; сетевое оборудование — 1 шт.; компьютер персональный — 14 шт.); доступ к сети «Интернет»; доступ в электронную информационно-образовательную среду университета; специализированная мебель(учебная мебель). Программное обеспечение: Windows, Office, специализированное лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, предусмотренное в рабочей программе	
--	--	--	--