

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце: МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФИО: Силин Яков Петрович
Должность: Ректор
Дата подписания: 03.06.2026 14:38:10
Уникальный программный ключ:
24f866be2aca16484036a8cbb5c507a9551e074

ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет»

Одобрена
на заседании кафедры

09.12.2025 г.
протокол № 4
Зав. кафедрой Лазарев В.А.

Утверждена
Советом по учебно-методическим
вопросам и качеству образования

16 декабря 2025 г.
протокол № 4
Председатель  Карх Д.А.
(подпись)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины	Теплотехника
Направление подготовки	15.03.02 Технологические машины и оборудование
Профиль	Инжиниринг технологического оборудования
Форма обучения	очно-заочная
Год набора	2026

Разработана:
Доцент, к.т.н.
Шихалев С.В.

Екатеринбург
2025 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	3
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП	3
3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ	3
4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП	3
5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН	3
6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ	4
7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	6
8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ	9
9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	9
10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	9
11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	10

ВВЕДЕНИЕ

Рабочая программа дисциплины является частью основной профессиональной образовательной программы высшего образования - программы бакалавриата, разработанной в соответствии с ФГОС ВО

ФГОС ВО	Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования- бакалавриат по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (приказ Минобрнауки России от
---------	--

1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины Теплотехника является использование законов и методов технической термодинамики и теплообмена при решении профессиональных задач

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина относится к обязательной части учебного плана.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Промежуточная аттестация	Часов					3.е.
	Всего за семестр	Контактная работа (поуч.зан.)			Самостоятельная работа в том числе подготовка контрольных и курсовых	
		Вс	Лек	Лабораторные		
Семестр 5						
Зачет, Контрольная работа	180	16	8	8	160	5

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОПОП

В результате освоения ОПОП у выпускника должны быть сформированы компетенции, установленные в соответствии с ФГОС ВО.

Шифр и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций
ОПК-9 Способен внедрять и осваивать новое технологическое оборудование;	ИД-1.ОПК-9 Знать устройство и принцип действия теплового, механического и холодильного технологического оборудования
	ИД-2.ОПК-9 Уметь применять знания теплофизических процессов и процессов получения холода для решения производственных задач эксплуатации технологического оборудования
	ИД-3.ОПК-9 Иметь практический опыт применения методик подбора, расчета и принципов внедрения теплового, механического и холодильного технологического оборудования на отраслевых предприятиях

5. ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Тема	Часов				
	Наименование темы	Всего	Контактная работа (по уч.зан.)	Са	Контроль

		часов	Лекции	Лабораторные	Практические занятия	работ	самостоятельной работы
Семестр 5		17					
Тема 1.	Введение. Техническая термодинамика.	1	1				
Тема 2.	Теплоемкость. Газовые смеси. I закон термодинамики. Энтропия.	21	1			20	
Тема 3.	Термодинамические процессы идеального газа	18	1	1		16	
Тема 4.	II закон термодинамики. Круговые процессы (циклы)	13	1			12	
Тема 5.	Водяной пар. Парообразование. Термодинамические процессы водяного пара	6	1	1		4	
Тема 6.	Термодинамика открытых систем. Дросселирование	21	1			20	
Тема	Теплообмен. Способы переноса	24	2	2		20	
Тема	Виды теплообмена	26		2		24	
Тема 9.	Теплопередача. Тепловой расчет теплообменных аппаратов. Основы проектирования тепловых аппаратов в биотехнологии	22		2		20	
Тема 10.	Организация тепловых технологических процессов в производстве биотехнологической продукции для пищевой	24				24	

6. ФОРМЫ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ШКАЛЫ ОЦЕНИВАНИЯ

Раздел/Тема	Вид оценочного средства	Описание оценочного средства	Критерии оценивания
Текущий контроль (Приложение 4)			
Тема 1 -10	Тест (приложение 4)	Комплект тестов в количестве 10 штук. В каждом тесте 3 вопроса.	10 баллов
Тема 1 -10	Вопросы для опроса (приложение 4)	Список вопросов в количестве 14 штук.	10 баллов
Тема 1-10	Расчетно-графическая работа (Приложение 4)	Методические указания к РГР, состоящие из 3 заданий с приложениями и примерами решений	10 баллов
Промежуточная аттестация (Приложение 5)			
5 семестр (3а)	Билет к зачету (Приложение 5)	Билет состоит из 2 теоретических вопросов и задачи	100 баллов

ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ

Показатель оценки освоения ОПОП формируется на основе объединения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающегося.

Показатель рейтинга по каждой дисциплине выражается в процентах, который показывает уровень подготовки студента.

Текущий контроль. Используется 100-балльная система оценивания. Оценка работы студента в течение семестра осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки учебных достижений в процессе обучения по данной дисциплине.

В рабочих программах дисциплин и практик закреплены виды текущего контроля, планируемые результаты контрольных мероприятий и критерии оценки учебных достижений.

В течение семестра преподавателем проводится не менее 3-х контрольных мероприятий, по оценке деятельности студента. Если посещения занятий по дисциплине включены в рейтинг, то данный показатель составляет не более 20% от максимального количества баллов по дисциплине.

Промежуточная аттестация. Используется 5-балльная система оценивания. Оценка работы студента по окончании дисциплины (части дисциплины) осуществляется преподавателем в соответствии с разработанной им системой оценки достижений студента в процессе обучения по данной дисциплине. Промежуточная аттестация также проводится по окончании формирования компетенций.

Порядок перевода рейтинга, предусмотренных системой оценивания, по дисциплине, в пятибалльную систему.

Высокий уровень – 100% - 70% - отлично, хорошо.

Средний уровень – 69% - 50% - удовлетворительно.

Показатель оценки	По 5-балльной системе	Характеристика показателя
100% - 85%	отлично	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на высоком уровне
84% - 70%	хорошо	обладают теоретическими знаниями в полном объеме, понимают, самостоятельно умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Могут быть допущены недочеты, исправленные студентом самостоятельно в процессе работы (ответаи т.д.)
69% - 50%	удовлетворительно	обладают общими теоретическими знаниями, умеют применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов на среднем уровне. Допускаются ошибки, которые студент затрудняется исправить самостоятельно.
49 % и менее	неудовлетворительно	обладают не полным объемом общих теоретическими знаниями, не умеют самостоятельно применять, исследовать, идентифицировать, анализировать, систематизировать, распределять по категориям, рассчитать показатели, классифицировать, разрабатывать модели, алгоритмизировать, управлять, организовать, планировать процессы исследования, осуществлять оценку результатов. Не сформированы умения и навыки для
100% - 50%	зачтено	характеристика показателя соответствует «отлично», «хорошо», «удовлетворительно»
49 % и менее	не зачтено	характеристика показателя соответствует «неудовлетворительно»

7. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

7.1. Содержание лекций

<p>Тема 1. Введение. Техническая термодинамика. Основные понятия и определения. Основные понятия в технической термодинамике.</p>
<p>Тема 2. Теплоемкость. Газовые смеси. I закон термодинамики. Энтродпия. Энтальпия. Уравнение для определения теплоемкости. Формулировка I закона термодинамики. Понятие энтропии и энтальпии</p>
<p>Тема 3. Термодинамические процессы идеального газа Основные термодинамические процессы</p>
<p>Тема 4. II закон термодинамики. Круговые процессы (циклы) Формулировка II закона термодинамики. Графическое представление круговых процессов</p>
<p>Тема 5. Водяной пар. Парообразование. Термодинамические процессы водяного пара Понятие водяного пара. Графическое представление.</p>
<p>Тема 6. Термодинамика открытых систем. Дросселирование Процесс дросселирования в холодильной технике</p>
<p>Тема 7. Теплообмен. Способы переноса тепла Основной закон теплопередачи. Основное уравнение</p>

7.2 Содержание практических занятий и лабораторных работ

<p>Тема 5. Водяной пар. Парообразование. Термодинамические процессы водяного пара Определение режимных параметров водяного пара</p>
<p>Тема 7. Теплообмен. Способы переноса тепла Определение коэффициента теплопроводности изоляционного материала</p>
<p>Тема 8. Виды теплообмена Процесс конвекции, конденсации и кипения Определение коэффициента теплоотдачи при свободной конвекции</p>
<p>Тема 9. Теплопередача. Тепловой расчет теплообменных аппаратов. Основы проектирования тепловых аппаратов в биотехнологии Виды тепловых расчетов теплообменных аппаратов. Методика. Конструкторский расчет тепловых аппаратов</p>

7.3. Содержание самостоятельной работы

<p>Тема 3. Термодинамические процессы идеального газа Графическое представление термодинамических процессов</p>
<p>Тема 4. II закон термодинамики. Круговые процессы (циклы) Применение круговых процессов в теплотехнике</p>
<p>Тема 5. Водяной пар. Парообразование. Термодинамические процессы водяного пара Практическое применение водяного пара в теплотехнике</p>
<p>Тема 6. Термодинамика открытых систем. Дросселирование Практическое применение законов термодинамики открытых систем в пищевой промышленности и биотехнологии</p>
<p>Тема 7. Теплообмен. Способы переноса тепла Практическое применение основного уравнения теплопередачи в пищевой промышленности и биотехнологии</p>
<p>Тема 8. Виды теплообмена Процесс теплового излучения в пищевой промышленности и биотехнологии</p>
<p>Тема 9. Теплопередача. Тепловой расчет теплообменных аппаратов. Основы проектирования тепловых аппаратов в биотехнологии Поверочный расчет тепловых аппаратов пищевой промышленности и биотехнологии</p>
<p>Тема 10. Организация тепловых технологических процессов в производстве биотехнологической продукции для пищевой промышленности Методы организации тепловых процессов при проектировании биотехнологических аппаратов.</p>

7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 1

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену
Приложение 2

7.3.3. Перечень курсовых работ
Не предусмотрено

7.4. Электронное портфолио обучающегося
Размещается контрольная работа

7.5. Методические рекомендации по выполнению контрольной работы
Приложение 6

7.6 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы
Не предусмотрено

8. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ ДЛЯ ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

По заявлению студента

В целях доступности освоения программы для лиц с ограниченными возможностями здоровья при необходимости кафедра обеспечивает следующие условия:

- особый порядок освоения дисциплины, с учетом состояния их здоровья;
- электронные образовательные ресурсы по дисциплине в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья;
- изучение дисциплины по индивидуальному учебному плану (вне зависимости от формы обучения);
- электронное обучение и дистанционные образовательные технологии, которые предусматривают возможности приема-передачи информации в доступных для них формах.
- доступ (удаленный доступ), к современным профессиональным базам данных и информационным справочным системам, состав которых определен РПД.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Сайт библиотеки УрГЭУ

<http://lib.usue.ru/>

Основная литература:

2. Быстрицкий Г. Ф. Теплотехника и энергосиловое оборудование промышленных предприятий [Электронный ресурс]: учебник для вузов. - Москва: Юрайт, 2022. - 305 с – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/490896>

Дополнительная литература:

2. Ерофеев В. Л., Безюков О. К., Пряхин А. С. Теплотехника. Практикум [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов. - Москва: Юрайт, 2021. - 395 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/469615>

3. Ерофеев В. Л., Пряхин А. С. Теплотехника в 2 т. Том 2. Энергетическое использование теплоты [Электронный ресурс]: Учебник для вузов. - Москва: Юрайт, 2021. - 199 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/470553>

4. Ерофеев В. Л., Пряхин А. С. Теплотехника в 2 т. Том 1. Термодинамика и теория теплообмена [Электронный ресурс]: Учебник для вузов. - Москва: Юрайт, 2021. - 308 – Режим доступа: <https://urait.ru/bcode/469484>

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ЛИЦЕНЗИОННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ, ОНЛАЙН КУРСОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Перечень лицензионного программного обеспечения:

Astra Linux Common Edition. Договор №0417-ПО/2019 от 08.05.2019, Акт №Sk000343 от 24.05.2019 и Контракт № 35-У/2018 от 13.06.2018, Акт № УТ213 от 17.12.2018. Срок действия лицензии - без ограничения срока.

МойОфис стандартный. Соглашение № СК-281 от 7 июня 2017. Дата заключения - 07.06.2017.
Срок действия лицензии - без ограничения срока.

Перечень информационных справочных систем, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

Официальный сайт журнала «Пищевая промышленность»

<http://www.foodprom.ru/>

Официальный сайт ОАО ВНИИТМАШ

<http://www.vniitmash.ru>

11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Реализация учебной дисциплины осуществляется с использованием материально-технической базы УрГЭУ, обеспечивающей проведение всех видов учебных занятий и научно-исследовательской и самостоятельной работы обучающихся:

Специальные помещения представляют собой учебные аудитории для проведения всех видов занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду УрГЭУ.

Все помещения укомплектованы специализированной мебелью и оснащены мультимедийным оборудованием спецоборудованием (информационно-телекоммуникационным, иным компьютерным), доступом к информационно-поисковым, справочно-правовым системам, электронным библиотечным системам, базам данных действующего законодательства, иным информационным ресурсам служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Для проведения занятий лекционного типа презентации и другие учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации.

7.3.1. Примерные вопросы для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену

К зачету

1. Идеальный и реальный газы. Основные параметры состояния.
2. Теплоемкость. Основные понятия и определения.
3. Газовые смеси.
4. Первый закон термодинамики.
5. Исследование основных термодинамических процессов для идеального газа.
6. Второй закон термодинамики.
7. Круговые процессы (циклы).
8. Теоретические циклы тепловых машин.
9. Цикл поршневого компрессора.
10. Водяной пар. Исследование процесса парообразования.
11. Основные термодинамические процессы для водяного пара.
12. Цикл паровой холодильной установки.
13. Цикл паросиловой установки (цикл Ренкина).
14. Термодинамика открытых систем: истечение, дросселирование.
15. Способы переноса тепла.
16. Теплопроводность. Закон Фурье.
17. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана.
18. Теплоотдача при свободном движении жидкости
19. Теплоотдача при вынужденном движении жидкости
20. Теплоотдача при изменении агрегатного состояния (кипение и конденсация).
21. Лучистый теплообмен. Законы лучистого теплообмена.
22. Теплопередача.
23. Типы теплообменных аппаратов.
24. Тепловой расчет теплообменных аппаратов.

7.3.2. Практические задания по дисциплине для самостоятельной подготовки к зачету/экзамену

Примерные практические задания к зачету

Номер задания	Содержание задания	Компетенция
	<i>Задания открытого типа</i>	
1.	Какой из параметров технологических сред в оборудовании пищевых производств измеряется вакуумметром?	ОПК-9
2.	Определить изменение внутренней энергии газа при его нагревании в резервуаре хранения горячего цеха от начальной температуры $T_1 = 300\text{K}$ до конечной температуры нагрева $T_2 = 350\text{K}$, удельная изохорная теплоемкость газа $1000 \text{ Дж/м}^2\cdot\text{K}$.	ОПК-9
3.	Определить КПД теплового аппарата, если количество теплоты затрачиваемой для проведения процесса равно 100 кДж , а количество теплоты передаваемой продукту 85 кДж .	ОПК-9
4.	Определить необходимое количество теплоты для нагревания продукта от $t_1 = 20 \text{ оС}$ до $t_2 = 80 \text{ оС}$. Теплоемкость продукта $c = 1000 \text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$, масса продукта $m = 10 \text{ кг}$.	ОПК-9
5.	В поверхностном теплообменнике необходимо обеспечивать передачу теплового потока мощностью $Q = 1000 \text{ Вт}$. Температура горячей среды: $t_1 = 200 \text{ оС}$, $t_2 = 100 \text{ оС}$. Какова должна быть площадь поверхности теплообмена F , если коэффициент теплопередачи $K = 10 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$?	ОПК-9
6.	Назовите термические параметры состояния	ОПК-9
7.	Напишите уравнение состояния идеального газа	ОПК-9
8.	Чему равна работа в изохорном процессе?	ОПК-9
9.	Для какого процесса справедливо соотношение $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$	ОПК-9

10.	Чему равно изменение внутренней энергии в изотермическом процессе?	ОПК-9
11.	Назовите калорические параметры состояния	ОПК-9
12.	Чему равен показатель политропы в изобарном процессе?	ОПК-9
13.	Чему равен показатель политропы в адиабатном процессе?	ОПК-9
14.	Чему равен показатель политропы в изохорном процессе?	ОПК-9
15.	Площадь под кривой процесса в PV-координатах численно равна	ОПК-9
16.	Площадь под кривой процесса в TS-координатах численно равна	ОПК-9
17.	Единицы изменения давления.	ОПК-9
18.	Связь между температурой измеренной в градусах кельвина и градусах Цельсия?	ОПК-9

19.	Напишите формулу теплоемкости газа:	ОПК-9
20.	Напишите уравнение связи между параметрами для изохорного процесса.	ОПК-9
21.	Напишите формулу удельного объем рабочего тела	ОПК-9
22.	Температура-это...	ОПК-9
23.	С помощью чего измеряется ЭДС в термопаре?	ОПК-9
24.	Единица измерения термоЭДС	ОПК-9
25.	Единица измерения работы	ОПК-9
	<i>Задания закрытого типа</i>	
1	Какой из нижеперечисленных процессов протекает при работе компрессора в холодильной машине? а) Адиабатное сжатие б) Изотермическое расширение в) Изобарное постоянство г) Изохорное нагревание	ОПК-9
2	Рассчитать газовую постоянную для водорода, находящего на хранении в резервуаре технологической линии, если газовая постоянная равна 8314 Дж/кмоль*К, молекулярная масса водорода. $\mu_{H_2} = 2 \text{ кг/кмоль}$ а). 4200 Дж/(кг*К) б) 4157 Дж/(кг*К)	ОПК-9

	в) 4127 Дж/(кг*К) г) 4357 Дж/(кг*К)	
3	В изобарном процессе температура газа при расширении: а) уменьшается б) остается постоянной в) увеличивается г) равна 0	ОПК-9
4	При увеличении объема газа работа а) совершается б) затрачивается в) остается постоянной г) зависит от давления	ОПК-9
5	В каком из перечисленных ниже элементов холодильной машины происходит охлаждение продукта: а) Кондесатор б) Испаритель в) Компрессор г) Регулирующий вентиль	ОПК-9
6	Чему равно количество теплоты в адиабатном процессе? 1. $q = c_v \times (T_2 - T_1)$ 2. $q = 0$ 3. $q = c_p \times (T_2 - T_1)$ 4. $q = R \times T \times \ln \frac{P_1}{P_2}$	ОПК-9
7	. Какое соотношение верно? $\frac{c_p}{c_v} > 1$ $\frac{c_p}{c_v} < 1$ $\frac{c_p}{c_v} = 1$ $\frac{c_p}{c_v} = 0$ 1. $c_v > 1$ 2. $c_v < 1$ 3. $c_v = 1$ 4. $c_v = 0$	ОПК-9
8	Чем отличаются массовая c , объемная c_v и мольная c_m теплоемкости? 1. температурой рабочего тела 2. количеством тепла, подводимого к рабочему телу 3. единицей измерения количества рабочего тела 4. параметрами, при которых происходит процесс	ОПК-9
9	Способы задания состава газовой смеси: 1. массовыми, объемными, мольными долями 2. по химическому составу компонентов 3. по количеству атомов, входящих в состав смеси компонентов 4. по химической активности компонентов	ОПК-9
10	Аналитическое выражение первого закона термодинамики: 1. $PV = m \times R \times T$ 2. $P_1 \times V_1^K = P_2 \times V_2^K$	ОПК-9

	3. $q = c_p \times (T_2 - T_1)$	
	4. $q = \Delta U + l$	

**Приложение 6
к рабочей программе**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДЕНЫ
на заседании кафедры биотехнологии и
инжиниринга

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

по дисциплине

Теплотехника

ВВЕДЕНИЕ

Задания и методические указания к контрольной работе по курсам «Теплотехника» и «Тепло- и хладотехника» для студентов заочной формы обучения составлены в соответствии с Государственным образовательным стандартом соответствующих технологических специальностей по разделам:

- техническая термодинамика - идеальный газ,
- техническая термодинамика - водяной пар,
- теплообмен - теплообменные аппараты.

К выполнению контрольной работы следует приступать после изучения соответствующих разделов дисциплины по рекомендуемым учебникам и учебным пособиям [1-8].

Оформляется контрольная работа в соответствии с нормативным документом [9] на листах формата А4.

Контрольная работа должна содержать:

- исходные данные задания, которые выбираются из таблицы, следующей за условием задания, по первым двум буквам фамилии студента,
- пояснительный текст, в котором следует назвать определяемую величину,
- расчетные формулы, в которых следует назвать все буквы, составляющие формулу,
- единицы измерения всех названных величин должны быть в международной системе единиц СИ,
- графики, которые выполняются на отдельном листе.

Задание 1. Техническая термодинамика. Идеальный газ

Газовая смесь, состоящая из M_1 кг азота и M_2 кг водорода с начальными параметрами: давление $p_1 = 6$ МПа и температура $t_1 = 27^\circ\text{C}$, расширяется при постоянной температуре (процесс 1-2) до удельного объема $v_2 = \varepsilon_1 v_1$.

Затем газовая смесь расширяется по политропе (процесс 2-3) до удельного объема $v_3 = \varepsilon_2 v_2$.

Определить: газовую постоянную смеси $R_{см}$, удельный объем в начале изотермического процесса v_1 , плотность газовой смеси при нормальных физических условиях $\rho_{см}$;
основные параметры в точке 2 (v_2, p_2) и в точке 3 (v_3, T_3, p_3);

отдельно **в изотермическом и политропном процессах** найти

- изменение внутренней энергии Δu ,
- изменение энтальпии Δh ,
- изменение энтропии ΔS ,
- теплоту q и работу ℓ .

Изобразить: заданные процессы (изотермический и политропный) в p - v - и T - S - координатах.

Указание: молекулярная масса азота $m_{N_2} = 28 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$

молекулярная масса водорода $m_{H_2} = 2 \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$.

Таблица 1.1

Выбор данных к заданию 1

Первая буква фамилии	АЛХ	БМЦ	ВИЧ	ГОШ	ДПЦ	ЕРЭ Ё	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ	КФ
M_1 , кг	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
M_2 , кг	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
$\varepsilon_1 = v_2/v_1$	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Вторая буква фамилии	АЛХ	БМЦ	ВИЧ ЫЙ	ГОШ	ДПЦ	ЕРЭ Ё	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ Ь	КФ
n	1,2	1,25	1,3	1,35	1,45	1,5	1,45	1,35	1,3	1,25
$\varepsilon_2 = v_3/v_2$	15	12	8	6	4	3,5	3,8	5,5	7	11

Методические указания по расчету задания 1.

1.1 Расчет **массовых долей** (m_1 и m_2) заданной газовой смеси:

$$m_{N_2} = m_1 = \frac{M_{N_2}}{M_{N_2} + M_{H_2}} \quad m_{H_2} = m_2 = \frac{M_{H_2}}{M_{N_2} + M_{H_2}} \quad (1.1)$$

Здесь в числителе и знаменателе массы азота и водорода (в килограммах), выбранные из таблицы 1.1 по первой букве фамилии.

1.2 Расчет газовых постоянных для азота и водорода

$$R_{N_2} = R_1 = \frac{mR}{m_{N_2}} = \frac{8314}{28} \quad R_{H_2} = R_2 = \frac{mR}{m_{H_2}} = \frac{8314}{2} \quad (1.2)$$

Здесь универсальная газовая постоянная $\mu R = 8314$ Дж/кг.К ; молекулярные массы азота и водорода взяты из указания к заданию 1.

1.3 Расчет газовой постоянной заданной смеси $R_{см}$, Дж/кг.К

$$R_{см} = m_1 R_1 + m_2 R_2 \quad (1.3)$$

В это уравнение подставляют значения массовых долей и газовых постоянных, найденные по уравнениям (1.1) и (1.2).

1.4 Расчет удельного объема в точке 1 (v_1 , м³/кг) – начало изотермического процесса

$$v_1 = \frac{R_{см} T_1}{p_1} \quad (1.4)$$

В это уравнение подставить значение газовой постоянной, найденное по уравнению (1.3); температуру (в градусах Кельвина) и давление (в Паскалях) в точке 1 взять из условия задания 1.

1.5 Расчет **плотности заданной газовой смеси** (ρ , кг/м³) при нормальных физических условиях ($p_n = 101300$ Па и $T_n = 273$, К):

$$\rho_{см} = \frac{p_n}{R_{см} T_n} = \frac{101300}{R_{см} \cdot 273}$$

(1-2) – изотермический процесс

1.6 Расчет **удельного объема в точке 2** (конец изотермического процесса, эта же точка – начало следующего - политропного процесса)

$$v_2 = v_1 \varepsilon_1 \quad (1.5)$$

Здесь v_1 рассчитано по уравнению (1.4), ε_1 – выбрать из таблицы 1.1 по первой букве фамилии.

1.7 Расчет **давления в точке 2** проводится с использованием уравнения изотермы:

$$pv = \text{const:} \quad p_2 = p_1 v_2 / v_1 = p_1 \varepsilon_1 \quad (1.6)$$

Здесь p_1 – давление в точке 1 взять из условия задания 1.

1.8 Расчет **изменения энтропии** ΔS , кДж/(кг.К) в процессе (1-2) проводят по формуле:

$$DS = R_{cm} \ln \frac{v_2}{v_1}$$

или
$$\Delta S = R_{cm} \ln \varepsilon_1 \quad (1.7)$$

где R_{cm} - рассчитано по уравнению (1.3), ε_1 – выбрать из таблицы 1.1 по первой букве фамилии.

Изменение внутренней энергии (Δu) и изменение энтальпии (Δh) в изотермическом процессе (1-2) равны нулю.

1.9 В изотермическом процессе (1-2) работа (l , Дж/кг) равна теплоте q . Расчет **работы и теплоты** в процессе (1-2) проводят по формуле:

$$l = q = R_{cm} T \ln \frac{v_2}{v_1} = R_{cm} T \ln \varepsilon_1 \quad (1.8)$$

Здесь $T = T_1, K$ взять из условия задания 1 (температура в градусах Кельвина).

(2-3) – политропный процесс

1.10 Расчет **удельного объема в точке 3** (конец политропного процесса):

$$v_3 = v_2 \varepsilon_2 \quad (1.9)$$

Здесь v_2 - рассчитана по уравнению (1.5), ε_2 следует взять из таблицы 1.1 по второй букве фамилии.

1.11 Расчет **давления в точке 3** (p_3 , Па). Используем уравнение политропного процесса $p v^n = \text{const}$:

$$p_3 = p_2 \frac{v_2^n}{v_3^n} = p_2 \frac{\varepsilon_1^n}{\varepsilon_2^n} \quad (1.10)$$

Показатель политропы n следует взять из таблицы 1.1 по второй букве фамилии

1.12 Расчет **температуры в точке 3** (T_3, K) проведем с использованием уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$T_3 = \frac{p_3 v_3}{R_{cm}} \quad (1.11)$$

Здесь p_3 - рассчитано по уравнению (1.10), v_3 - по уравнению (1.9) и R_{cm} - по уравнению (1.3).

1.13 Расчет **изменения внутренней энергии** (Δu , кДж/кг) в политропном процессе (2-3):

$$\Delta u = c_v (T_3 - T_2) \quad (1.12)$$

Массовую теплоемкость при постоянном объеме газовой смеси c_v , кДж/(кг.К) можно найти, используя соотношение:

$$c_v = \frac{m c_v}{m_{cm}}$$

Здесь μc_v – следует взять из приложения таблицы П.1 по атомности газовой смеси; $\mu_{см}$ – следует рассчитать из отношения:

$$m_{см} = \frac{\mu R}{R_{см}} \quad (1.13)$$

Здесь в числителе - универсальная газовая постоянная $\mu R = 8314$ Дж/кг.К, в знаменателе – газовая постоянная смеси, вычисленная по уравнению (1.3).

1.14 Расчет **изменения энтальпии** Δh , кДж/кг в процессе (2-3):

$$\Delta h = c_p(T_3 - T_2)$$

Здесь T_3 , К – найдено по уравнению (1.11); $T_2 = T_1 = 27 + 273 = 300$, К; массовая теплоемкость при постоянном давлении c_p , кДж/(кг.К) вычисляется по

соотношению:

$$c_p = \frac{m_p}{m_{см}},$$

здесь числитель взят из приложения таблицы П.1 по атомности газовой смеси; знаменатель рассчитан по уравнению (1.13).

1.15 Расчет **изменения энтропии** в процессе (2-3):

$$\Delta S = c_v \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_3}{T_2}$$

Здесь **показатель адиабаты** $k = 1,4$ (для двухатомной смеси), **показатель политропы** n - взять из таблицы 1.1 по второй букве фамилии, остальные величины рассчитаны выше.

1.16 Расчет **теплоты** в политропном процессе (2-3):

$$q = c_v \frac{n - k}{n - 1} (T_3 - T_2)$$

1.17 Расчет **работы** в политропном процессе (2-3):

$$l = \frac{R_{см}}{n - 1} (T_2 - T_3)$$

1.18 Завершается задание построением графиков:

в $p-v$ - координатах график строится по значениям **давления и удельного объема** в точках 1,2 и 3;

в $T-S$ –координатах график строится по значениям **температуры** в точках 1,2 и 3 и **знаку** (плюс или минус) **изменения энтропии** в процессах (1-2) и (2-3).

Знак указывает **направление** процесса:

плюс – увеличение энтропии, *например* $\Delta S_{1-2} > 0$, тогда точка 2 должна быть с право относительно точки 1

минус – уменьшение энтропии, *например* $\Delta S_{2-3} < 0$, тогда точка 3 должна быть слева относительно точки 2

Задание 2. Техническая термодинамика. Водяной пар

Водяной пар с начальными параметрами: давление в начале процесса $p_1 = 3$ МПа и степень сухости пара $x_1 = 0,9$ нагревается при постоянном давлении (процесс 1–2) до температуры t_2 . Затем пар дросселирует (процесс 2–3) до давления p_3 . После этого следует адиабатное расширение (процесс 3–4), в результате которого давление снижается до $p_4 = 0,01$ МПа.

Определить: состояние пара и параметры (давление p , удельный объем v , температуру t , энтропию S и энтальпию h) в точках 1, 2, 3 и 4.

Изобразить: заданные процессы (изобарный, дросселирование и адиабатный) в p - v -, T - S -, h - S - координатах.

Указание: при решении задания использовать приложения П2 [10].

Таблица 2.1

Выбор данных к заданию 2

Первая буква фамилии	АЛХ	БМЦ	ВИЧ	ГОШ	ДПЦ	ЕРЭ	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ	КФ
$t_2, ^\circ\text{C}$	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750
Вторая буква фамилии	АЛХ	БМЦ	ВИЧ БЙ	ГОШ	ДПЦ	ЕРЭ Ё	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ Ь	КФ
$p_3, \text{МПа}$	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

Методические указания по расчету задания 2

2.1 Решение по **точке 1** (начало изобарного процесса)

2.1.1 Определение **состояния пара** в точке 1.

Водяной пар может иметь следующие состояния:

- **влажный насыщенный пар**, если степень сухости пара x больше нуля, но меньше единицы: $0 < x < 1$
- **сухой насыщенный пар**, если степень сухости пара равна единице $x=1$
- **перегретый пар**, где степень сухости отсутствует.

Из названных трех состояний пара следует выбрать то, которое соответствует данным в точке 1.

2.1.2 Определение **параметров пара** в точке 1:

- **температура** пара определяется по заданному давлению p_1 , МПа из приложения таблицы П.2. Это - температура насыщения t_n °С (температура насыщения или температура кипения зависит от давления);

- **удельный объем** влажного насыщенного пара в точке 1 рассчитывается по формуле:

$$v_1 = v_1' + x_1(v_1'' - v_1') \quad (2.1)$$

где v_1' - удельный объем кипящей воды ($x=0$) и v_1'' - удельный объем сухого насыщенного пара ($x=1$) находят из приложения таблицы П.2 по давлению p_1 в первой точке; это давление и степень сухости пара x_1 даны в условии задания 1;

- **энтропия** в точке 1 рассчитывается по аналогичному уравнению:

$$S_1 = S_1' + x_1(S_1'' - S_1') \quad (2.2)$$

Здесь энтропию кипящей воды S_1' и энтропию S_1'' сухого насыщенного пара находят из приложения таблицы П.2 по давлению p_1 , а степень сухости x_1 дана в условии задания 1;

- **энтальпия** в точке 1 рассчитывается аналогично:

$$h_1 = h_1' + x_1(h_1'' - h_1') \quad (2.3)$$

Здесь энтальпию кипящей воды h_1' и энтальпию сухого насыщенного пара h_1'' находят из приложения П.2 по давлению p_1 , а x_1 дана в условии задания 1.

(1-2) – *изобарный процесс*

2.2 Решение по **точке 2** (конец изобарного процесса, эта же точка является началом следующего процесса - дросселирования)

2.2.1 Определение **состояния пара** в точке 2

Состояние пара в этой точке определяется сравнением температуры t_2 , заданной по первой букве фамилии в таблице 2.1 с температурой насыщения t_n , которая определена в точке 1.

Если заданная температура t_2 выше температуры насыщения t_n , то состояние пара в точке 2 соответствует перегретому пару.

2.2.2 Определение **параметров пара** в точке 2

Удельный объем, энтропию и энтальпию выписываем из приложения таблицы П.2 по давлению $p_2 = p_1$ и заданной температуре t_2 . Параметры (удельный объем, энтропия и энтальпия) выписывают в той строке, где стоит температура.

(2-3) – *дросселирование*

2.3 Решение по **точке 3** (конец процесса дросселирования, эта же точка является началом следующего - адиабатного процесса).

2.3.1 Определение **состояния пара** в точке 3

Дросселирование является необратимым процессом, то есть имеет одно направление – в сторону перегретого пара. Поскольку в точке 2 пар был перегретым, то и в точке 3 состояние пара остается перегретым.

2.3.2 Определение **параметров пара** в точке 3

В процессе дросселирования не изменяется энтальпия $h_3 = h_2$.

Температуру, удельный объем и энтропию выписываем из приложения таблицы П.2 по давлению p_3 , заданному по второй букве фамилии в таблице 2.1 и энтальпии $h_3=h_2$. *Параметры* (температура, удельный объем и энтропия) выписываются в *строке*, где стоит цифра энтальпии.

(3-4) – адиабатный процесс

2.4 Решение по **точке 4** (конец адиабатного процесса)

2.4.1 Определение **состояния пара** в точке 4

В адиабатном процессе не изменяется энтропия $S_4=S_3$.

По давлению $p_4=0,01$ МПа (дано в условии задания 2) находят в приложении П.2 энтропию сухого насыщенного пара $S_4''=8,15$ кДж/(кг.К).

При сравнении энтропии в точке 4 (S_4) и энтропии сухого насыщенного пара $S_4''=8,15$ кДж/кг.К могут быть **три варианта**:

- 1) энтропия в точке 4 **меньше** энтропии сухого насыщенного пара ($S_4 < S_4''$), тогда пар является **влажный насыщенный**;
- 2) энтропия в точке 4 **равна** энтропии сухого насыщенного пара, ($S_4 = S_4''$), тогда пар является **сухим насыщенным**;
- 3) энтропия в точке 4 **больше** энтропии сухого насыщенного пара, ($S_4 > S_4''$), тогда пар является **перегретым**.

2.4.2 Определение **параметров пара** в точке 4

- 1) Определение параметров влажного насыщенного пара – для **первого варианта**, где $S_4 < S_4''$

Находим **степень сухости пара** в точке 4 (x_4), используя уравнение (2.2), записав данные по точке 4:

$$S_4 = S_4' + x_4(S_4'' - S_4'),$$

откуда

$$x_4 = \frac{S_4 - S_4'}{S_4'' - S_4'}$$

Здесь энтропию закипевшей воды S_4' , также как и энтропию сухого насыщенного пара S_4'' находят в приложении П.2 по давлению $p_4=0,01$ МПа.

Температура в точке 4 – температура насыщения ($t_4=t_h$), соответствующая давлению p_4 .

Удельный объем в точке 4 рассчитывают, используя уравнение (2.1), записав данные по точке 4:

$$v_4 = v_4' + x_4(v_4'' - v_4')$$

Энтальпия в точке 4 рассчитывается с использованием уравнения (2.3), записав данные по точке 4:

$$h_4 = h_4' + x_4(h_4'' - h_4')$$

В последних двух уравнениях -

удельный объем v_4' и энтальпии h_4' закипевшей воды, где $x=0$,

а также удельный объем v_4'' и энтальпия h_4'' сухого насыщенного пара, где $x=1$ следует найти в приложении таблицы П.2 по давлению p_4 .

- 2) Определение параметров сухого насыщенного пара –
для **второго варианта**, где $S_4 = S_4''$.

Температуру (t_n - температура насыщения), **удельный объем** (v_4'') и **энтальпию** (h_4'') находят в приложении таблицы П.2 по давлению p_4 .

- 3) Определение параметров перегретого пара –
для **третьего варианта**, где $S_4 > S_4''$.

Температуру t_4 , **удельный объем** v_4 и **энтальпию** h_4 находят в приложении таблицы П.2 по давлению p_4 и энтропии S_4 . Эти данные выписывают в *строке*, где стоит значение энтропии в точке 4 S_4 .

2.4 Изображение заданных процессов в pv -, TS -, hS - координатах.

Во всех **четырёх** точках определены: давление, удельный объем, температура, энтропия и энтальпия.

Следует отметить положение этих точек на трех графиках, при этом можно не соблюдать масштаб, а только направление.

Затем нужно провести на каждом графике *линию конца парообразования*, где *степень сухости* $x = 1$.

Точки, в которых пар – **влажный насыщенный** должны быть **слева** или **под линией** конца парообразования, где $x = 1$;

точки, в которых пар **сухой насыщенный** должны находиться **на этой линии** конца парообразования;

точки, в которых пар **перегретый**, должны быть **справа** или **выше** линии конца парообразования.

Между точками 1 и 2 проводят **линию изобарного процесса**.

Между точками 2 и 3 проводят **пунктирную** **линию дросселирования**.

Между точками 3 и 4 проводят **линию адиабатного процесса**.

Задание 3. Теплообмен. Теплообменные аппараты

Требуется охладить напиток от температуры $t_1' = 95^\circ\text{C}$ до температуры $t_1'' = 30^\circ\text{C}$. Массовый расход напитка $M_1 = 0,05$ кг/с.

Для охлаждения имеется холодная вода с температурой t_2' ; массовый расход воды M_2 . Коэффициент теплопередачи k .

Определить: площадь поверхности двух теплообменников – прямоточного и противоточного.

На графиках *изобразить* схемы движения жидкостей в прямоточном и противоточном теплообменниках.

Указание: массовую теплоемкость напитка принять равной массовой теплоемкости воды $c = 4,19$ кДж/(кг.К)

Таблица 3.1

Выбор данных к заданию 3

Первая буква фамилии	АЛХ	БМЦ	ВИЧ	ГОШ	ДПЦ	ЕРЭ	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ	КФ
M_2 , кг/с	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
t_2' , °С	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Вторая буква фамилии	АЛХ	БМЦ	ВИЧ ЫЙ	ГОШ	ДПЦ	ЕРЭ Ё	ЖСЮ	ЗТЯ	ИУ ЬЬ	КФ
k , Вт/(м ² К)	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850

Методические указания по расчету задания 3

3.1 Расчет мощности теплового потока Q , кВт

Записываем **уравнение теплового баланса:**

$$Q = M_1 c_1 (t_1' - t_1'') = M_2 c_2 (t_2'' - t_2')$$

Здесь

M_1 - массовый расход горячей жидкости (напитка), кг/с

M_2 - массовый расход холодной жидкости (воды), кг/с

$c_1 = c_2$ - массовая теплоемкость жидкостей, кДж/(кг.К)

t_1' - температура горячей жидкости на входе в теплообменник, °С

t_1'' - температура горячей жидкости на выходе из теплообменника, °С

t_2' - температура холодной жидкости на входе в теплообменник, °С

t_2'' - температура холодной жидкости на выходе из теплообменника, °С

Рассчитываем мощность теплового потока по первой части уравнения теплового баланса:

$$Q = M_1 c_1 (t_1' - t_1'') \quad (3.1)$$

Здесь все величины (массовый расход напитка (M_1), теплоемкость напитка ($c_1 = c$), температуры напитка (горячая жидкость) на входе (t_1') и выходе (t_1'') из теплообменника) даны в условии задания 3.

3.2 Находим температуру холодной жидкости (воды) на выходе из теплообменного аппарата, используя вторую часть уравнения теплового баланса:

$$t_2'' = \frac{Q}{M_2 c_2} + t_2' \quad (3.2)$$

Здесь массовый расход воды (M_2) и температуру воды на входе в теплообменник (t_2') нужно выбрать из таблицы 3.1 по первой букве фамилии. Мощность теплового потока (Q) рассчитана по уравнению (3.1), массовая теплоемкость ($c_2 = c$) дана в указании задания 3.

3.3 Расчет для *прямоточного теплообменника*

Изобразим схему движения жидкостей в прямоточном теплообменнике:

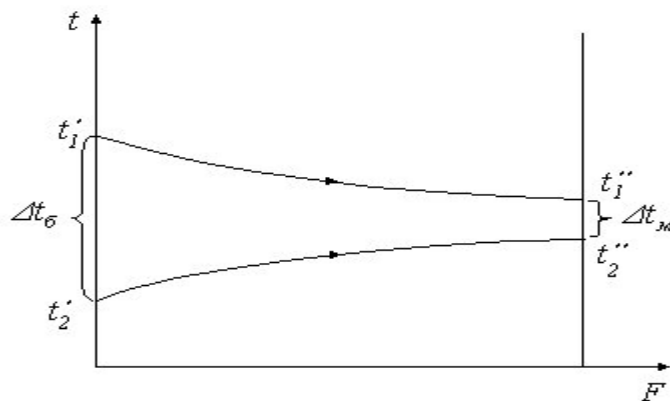


Рис.3.1 Схема движения жидкостей прямоточного теплообменника

На схеме замените буквы с температурой на цифры.

Находим большую разность температур на левом конце теплообменника:

$$\Delta t_{\delta} = t_1' - t_2' \quad (3.3)$$

Меньшую разность находим на правом конце

$$\Delta t_{m} = t_1'' - t_2'' \quad (3.4)$$

Вычисляем средний температурный напор по логарифмической формуле в градусах Цельсия:

$$\overline{Dt} = \frac{Dt_{\delta} - Dt_{m}}{\ln \frac{Dt_{\delta}}{Dt_{m}}} \quad (3.5)$$

Записываем **уравнение теплопередачи**:

$$Q = k F \Delta t \quad (3.6)$$

Здесь мощность теплового потока Q вычислена по уравнению (3.1) в киловаттах, которые следует перевести в Ватты; средний температурный напор Δt вычислен

по уравнению (3.5); коэффициент теплопередачи k следует выбрать по второй букве фамилии из таблицы 3.1.

Используя уравнение (3.6), рассчитываем площадь прямого теплообменника F , м²:

$$F = Q / k \Delta t \quad (3.7)$$

3.4 Расчет для *противоточного теплообменника*

Изобразим схему движения жидкостей в противоточном теплообменнике

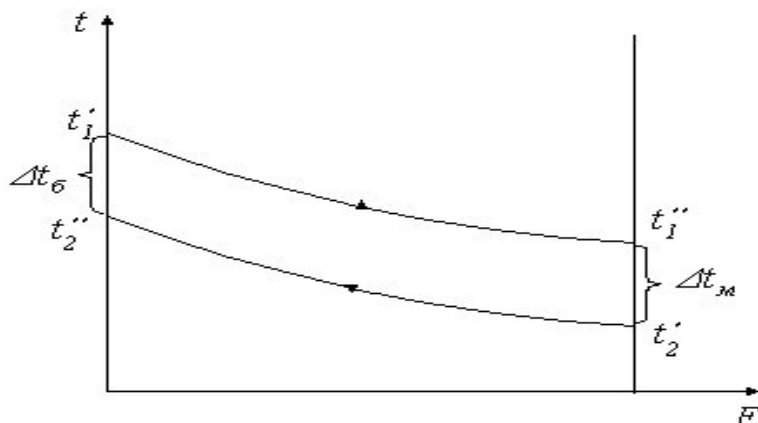


Рис.3.2 Схема движения жидкостей противоточного теплообменника

На схеме замените буквы с температурой на цифры.

Находим большую разность температур на левом конце теплообменника:

$$\Delta t_{\text{б}} = t_1' - t_2'' \quad (3.8)$$

Меньшую разность находим на правом конце

$$\Delta t_{\text{м}} = t_1'' - t_2' \quad (3.9)$$

Вычисляем средний температурный напор по формуле (3.5) в градусах Цельсия:

$$\overline{Dt} = \frac{Dt_{\text{б}} - Dt_{\text{м}}}{\ln \frac{Dt_{\text{б}}}{Dt_{\text{м}}}} \quad (3.10)$$

Используем уравнение теплопередачи (3.6):

$$Q = k F \Delta t$$

Здесь мощность теплового потока вычислена по уравнению (3.1), коэффициент теплопередачи выбран из таблицы 3.1 по второй букве фамилии, средний температурный напор вычислен по уравнению (3.10).

Рассчитываем площадь противоточного теплообменника F , м² по уравнению (3.7).

Площади этих двух теплообменников имеют разные значения.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Мольные теплоемкости газов по данным молекулярно-кинетической теории

Газы	$\mu C_v, \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль } \mathcal{K}}$	$\mu C_p, \frac{\text{кДж}}{\text{кмоль } \mathcal{K}}$
Одноатомные	12,6	20,9
Двухатомные	20,9	29,2
Трех- и многоатомные	29,2	37,5

Таблица П.2

Термодинамические свойства водяного пара по давлению

0,01 МПа $t_n = 46^\circ\text{C}$				3,0 МПа $t_n = 233^\circ\text{C}$			
$v' = 0,001 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$		$h' = 192 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$		$v' = 0,001 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$		$h' = 1008 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	
$v'' = 14,68 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$		$h'' = 2584 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$		$v'' = 0,066 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$		$h'' = 2802 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	
$s' = 0,65 \frac{\text{кДж}}{\text{кг } \mathcal{K}}$		$s'' = 8,15 \frac{\text{кДж}}{\text{кг } \mathcal{K}}$		$s' = 2,65 \frac{\text{кДж}}{\text{кг } \mathcal{K}}$		$s'' = 6,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг } \mathcal{K}}$	
t	v	h	s	t	v	h	s
50	14,87	2592	8,18	300	0,081	2994	6,54
60	15,34	2611	8,23	350	0,091	3116	6,74
70	15,80	2630	8,29	400	0,099	3232	6,92
80	16,27	2649	8,34	450	0,108	3344	7,08
90	16,73	2668	8,40	500	0,116	3456	7,24
100	17,20	2687	8,45	550	0,124	3569	7,38
110	17,66	2706	8,50	600	0,132	3682	7,51
120	18,12	2725	8,55	650	0,140	3795	7,64
130	18,59	2745	8,60	700	0,148	3910	7,76
140	19,05	2764	8,64	750	0,156	4027	7,87

Продолжение таблицы П. 2

$t, ^\circ\text{C}$	0,5 МПа $t_H = 152^\circ\text{C}$			0,6 МПа $t_H = 159^\circ\text{C}$			0,7 МПа $t_H = 165^\circ\text{C}$			0,8 МПа $t_H = 170^\circ\text{C}$		
	ν	h	s	ν	h	s	ν	h	s	ν	h	s
270	0,49	3002	7,35	0,41	2999	7,26	0,35	2996	7,19	0,31	2993	7,12
330	0,55	3126	7,57	0,46	3124	7,48	0,39	3122	7,41	0,34	3120	7,34
380	0,60	3230	7,73	0,50	3228	7,65	0,43	3227	7,57	0,37	3225	7,51
435	0,65	3341	7,91	0,55	3339	7,82	0,46	3343	7,74	0,41	3341	7,68
490	0,70	3462	8,06	0,58	3461	7,98	0,50	3460	7,90	0,44	3460	7,84
540	0,75	3570	8,20	0,62	3569	8,11	0,53	3568	8,04	0,47	3567	7,98
590	0,79	3679	8,33	0,66	3678	8,24	0,57	3678	8,17	0,50	3677	8,11
640	0,84	3790	8,45	0,70	3790	8,37	0,60	3789	8,30	0,53	3788	8,23
690	0,89	3902	8,57	0,74	3902	8,49	0,63	3902	8,42	0,55	3901	8,35
740	0,93	4017	8,69	0,78	4016	8,60	0,67	4016	8,53	0,58	4015	8,47

$t, ^\circ\text{C}$	0,9 МПа $t_H = 175^\circ\text{C}$			1,0 МПа $t_H = 180^\circ\text{C}$			1,2 МПа $t_H = 188^\circ\text{C}$		
	ν	h	s	ν	h	s	ν	h	s
270	0,27	2990	7,06	0,24	2987	7,01	0,20	2985	6,92
290	0,28	3033	7,14	0,25	3030	7,09	0,21	3024	6,99
330	0,30	3117	7,28	0,27	3115	7,23	0,23	3111	7,14
385	0,33	3234	7,47	0,30	3232	7,42	0,25	3229	7,33
435	0,36	3340	7,62	0,32	3339	7,57	0,27	3336	7,49
490	0,39	3458	7,78	0,35	3457	7,73	0,29	3454	7,65
540	0,41	3566	7,92	0,37	3565	7,87	0,31	3563	7,79
590	0,44	3676	8,05	0,40	3675	8,00	0,33	3674	7,92
640	0,47	3787	8,18	0,42	3787	8,13	0,35	3785	8,04
690	0,49	3900	8,30	0,44	3900	8,25	0,37	3898	8,16
745	0,52	4026	8,43	0,47	4026	8,37	0,39	4025	8,30

Окончание таблицы П.2

$t, ^\circ\text{C}$	1,4 МПа $t_H = 195^\circ\text{C}$			1,6 МПа $t_H = 201^\circ\text{C}$			1,8 МПа $t_H = 207^\circ\text{C}$		
	ν	h	s	ν	h	s	ν	h	s
280	0,17	2996	6,88	0,15	2990	6,81	0,14	2990	6,80
300	0,18	3041	6,95	0,16	3035	6,89	0,14	3030	6,82
335	0,19	3117	7,08	0,17	3114	7,01	0,15	3110	6,95
390	0,21	3236	7,27	0,19	3233	7,21	0,17	3230	7,15
440	0,23	3344	7,43	0,20	3341	7,36	0,18	3339	7,31
490	0,25	3452	7,57	0,22	3450	7,51	0,19	3450	7,47
545	0,27	3572	7,72	0,23	3570	7,66	0,21	3569	7,61
595	0,28	3683	7,85	0,25	3681	7,80	0,22	3680	7,74
645	0,30	3795	7,98	0,26	3793	7,92	0,23	3793	7,86
695	0,32	3909	8,10	0,28	3908	8,04	0,24	3907	7,98
745	0,33	4024	8,22	0,29	4024	8,15	0,26	4024	8,10