



Федеральное агентство по рыболовству
БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»
Калининградский морской рыбопромышленный колледж

Утверждаю
Заместитель начальника колледжа
по учебно-методической работе
А. И. Колесниченко

Методические указания по выполнению практических занятий
(для преподавателей)

ОП.06 ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА

**15.02.06 Монтаж, техническая эксплуатация и ремонт холодильно-компрессорных
и теплонасосных машин и установок (по отраслям)**

МО–15 02 06–ОП.06.ПЗ

РАЗРАБОТЧИК	Никишин М.Ю
ЗАВЕДУЮЩИЙ ОТДЕЛЕНИЕМ	Никишин М.Ю.
ГОД РАЗРАБОТКИ	2023
ГОД ОБНОВЛЕНИЯ	2025

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.2/66

Содержание

Введение	3
Перечень практических занятий	9
РАЗДЕЛ 1 ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ.....	10
Тема 1.1 Газовые смеси. Теплоёмкость.....	10
Практическое занятие № 1 Решение задач по газовым смесям	10
Тема 1.4 Термодинамические процессы газов	13
Практическое занятие №2 Расчет основных термодинамических процессов	13
Практическое занятие №3 Расчёт и анализ адиабатного и политропного процессов.....	16
Тема 1.6 Термодинамические процессы компрессорных машин.....	19
Практическое занятие № 4 Расчёт рабочего процесса двухступенчатого компрессора	19
Тема 1.7 Термодинамические циклы ДВС и ГТУ	20
Практическое занятие № 5 Расчёт циклов ДВС с изохорным и изобарным подводом теплоты.....	20
Практическое занятие №6 Расчет цикла ДВС со смешанным подводом теплоты ...	26
Практическое занятие №7 Расчёт цикла газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты	31
Тема 1.8 Водяной пар. Истечение и дросселирование газов и паров.	
Пароэнергетические установки.....	34
Практическое занятие №8 Определение параметров состояния водяного пара	34
Практическое занятие № 9 Расчёт процесса истечения газов и паров	36
Тема 1.9 Циклы холодильных установок. Влажный воздух	39
Практическое занятие № 10 Расчёт обратного цикла Карно холодильной установки.....	39
РАЗДЕЛ 2 ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ.....	41
Тема 2.1 Виды теплообмена	41
Практическое занятие № 11 Расчёт коэффициента теплопроводности двуслойной стенки.....	41
Тема 2.2 Теплопередача.	43
Практическое занятие № 12 Определение коэффициента теплопередачи.....	43
Тема 2.3 Теплообменные аппараты	47
Практическое занятие №13 Определение площади поверхности теплообмена	47
РАЗДЕЛ 3 ГИДРАВЛИКА	49
Тема 3.2 Гидростатика.....	49
Практическое занятие № 14 Решение задач по гидростатике	49
Тема 3.3 Гидродинамика	53
Практическое занятие №15 Уравнение Бернулли. Определение режима течения жидкости	53
Практическое занятие №16 Расчёт гидравлических сопротивлений. Определение потерь напора в трубопроводах	55
Практическое занятие №17 Расчет простого и сложного трубопроводов при установившемся движении жидкости.....	60
Тема 3.4 Гидравлические машины	62
Практическое занятие №18 Определение напора и мощности насоса	62
Используемые источники литературы.....	65

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.3/66

Введение

Методические указания предназначены для преподавателей и направлены на обеспечение высокого уровня организации и проведения практических занятий.

Данные методические указания являются инструктивным документом преподавателя при организации практических занятий, в том числе с применением обязательного документа УМК «Методические указания по выполнению практических заданий (для обучающихся)».

Методические указания по проведению практических занятий для преподавателя составлены в соответствии со следующими нормативными документами:

- Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам среднего профессионального образования (с доп. и изм.), утвержденный приказом Министерства образования и науки РФ 14.06.2013 г. № 464;
- Федеральные государственные образовательные стандарты среднего профессионального образования по специальности;
- Учебный план по специальности, в котором определены последовательность изучения дисциплин, а также распределение учебного времени и форм контроля по семестрам;
- рабочая программа учебной дисциплины (профессионального модуля).

Рабочей программой учебной дисциплины предусмотрено проведение практических занятий.

Преподаватель перед проведением практических занятий обязан ознакомиться с данными методическими указаниями.

Целью проведения практических занятий является организация управляемой познавательной деятельности обучающихся в условиях, приближенных к реальным практическим условиям.

Задачи преподавателя при организации практических занятий, способствующие достижению дидактической цели:

- закрепление и расширение знаний обучающихся при решении конкретных практических задач;
- формирование у обучающихся потребности в поиске информации, необходимой для эффективного решения профессиональных задач;

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.4/66

- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности обучающихся;

- выработка способности логического осмысления самостоятельно полученных данных;

- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Обязанности преподаватели при проведении практического занятия:

- перед проведением практических занятий преподаватель обязан ознакомить обучающихся с техникой безопасности и осветить предполагаемые риски;

- преподаватель обязан ознакомить обучающихся с тренажером и его оборудованием до начала практических занятий и оценить знания;

- преподаватель обязан провести достаточный инструктаж и обозначить внешнюю и внутреннюю мотивацию для достижения целей подготовки в соответствии с уровнем компетентности обучающихся на занятии;

- преподаватель обязан обеспечить в ходе занятия эффективное наблюдение за деятельностью обучающихся, сопровождение речевым контактом, а также индивидуальную оценку их компетенций;

- преподаватель обязан изучить требования к результатам освоения дисциплины («уметь», «знать»).

Проведение практических занятий должно способствовать формированию у обучающихся общих и профессиональных компетенций:

Общие компетенции:

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам.

ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.

ОК 04. Эффективно взаимодействовать и работать в.

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.5/66

государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культур.

ОК 06. Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации межнациональных и межрелигиозных отношений, применять стандарты антикоррупционного поведения.

ОК 07. Содействовать сохранению окружающей среды, ресурсосбережению, применять знания об изменении климата, принципы бережливого производства, эффективно действовать в чрезвычайных ситуациях.

ОК 09. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

Профессиональные компетенции:

ПК 1.1. Организовывать и осуществлять техническую эксплуатацию и обслуживание холодильного оборудования.

ПК 1.2. Проводить диагностику, обнаруживать неисправную работу холодильного оборудования, принимать меры для устранения и предупреждения отказов и аварий.

ПК 1.3. Выполнять контроль, анализ и оптимизацию режимов работы холодильного оборудования.

ПК 4.1. Организовывать и осуществлять техническую эксплуатацию холодно-вентиляционной техники и систем кондиционирования воздуха.

ПК 4.2. Проводить диагностику, обнаруживать неисправную работу холодно-вентиляционной техники и систем кондиционирования воздуха, принимать меры для устранения и предупреждения отказов и аварий.

ПК 4.3. Выполнять контроль, анализ и оптимизацию режимов работы холодно-вентиляционной техники и систем кондиционирования воздуха.

В результате выполнения практических занятий у обучающихся формируются следующие личностные результаты:

<i>Код</i>	<i>Наименование личностных результатов</i>
<i>ЛР 19</i>	Управляющий собственным профессиональным развитием, рефлексивно оценивающий собственный жизненный опыт, критерии личной успешности, признающий ценность непрерывного образования
<i>ЛР 31</i>	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.

Структура проведения практического занятия

1. Вводная часть:

*Документ управляется программными средствами 1С: Коллеожд
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в 1С: Коллежд*

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.6/66

- организационный момент;
- мотивация учебной деятельности;
- сообщение темы, постановка целей;
- актуализация знаний.

2. Основная часть:

- инструктаж по технике безопасности (при необходимости);
- выдача задания;
- определение алгоритма проведения эксперимента или другой практической деятельности;
- допуск к выполнению работы;
- осуществления эксперимента или другой практической деятельности;
- ознакомление со способами фиксации полученных результатов.

Самостоятельное выполнение практического задания обучающимися:

- определение путей решения поставленной задачи;
- выработка последовательности выполнения необходимых действий;
- проведение эксперимента (выполнение заданий, задач, упражнений);
- составление отчета;
- обобщение и систематизация полученных результатов (таблицы, графики, схемы и т.п.).

3. Заключительная часть:

- подведение итогов занятия: анализ хода выполнения и результатов работы обучающихся;
- выявление возможных ошибок и определение причин их возникновения;
- защита выполненной работы.

В ходе практического занятия, преподавателем непрерывно должно осуществляться педагогическое руководство обучающимися:

- четкая постановка познавательной задачи;
- инструктаж к работе (осмысление обучающимися сущности задания, последовательности его выполнения);
- проверка теоретической и практической готовности обучающихся к занятию;
- выделение возможных затруднений в процессе работы;
- установка на самоконтроль;

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.7/66

- наблюдение за действиями обучающихся, регулирование темпа работы, помощь (при необходимости), коррекция действий, проверка промежуточных результатов.

Формулировка задания должна быть однозначно понятна обучающемуся.

При организации проведения практических занятий необходимо использовать активные и интерактивные формы:

Активные формы:

творческие задания – это задания, которые требуют от обучающихся не простого воспроизводства информации, а творчества, поскольку задания содержат большой или меньший элемент неизвестности и имеют, как правило, несколько подходов;

работа в малых группах – способ организации образовательного процесса, позволяющий всем обучающимся участвовать в работе, практиковать навыки сотрудничества, межличностного общения (в частности, умение активно слушать, вырабатывать общее мнение, разрешать возникающие разногласия).

дискуссия – действенный метод обсуждения изучаемого вопроса. Дискуссия предполагает коллективное обсуждение какой-либо спорной проблемы, во время которого познается истина.

Интерактивные формы предполагают взаимодействие между преподавателем и обучающимся в соответствии с индивидуализированным подходом (тренинги, кейс-стади, «дерево решений», «анализ казусов» и др.).

Тренинги – это процесс получения навыков и умений в какой-либо области посредством выполнения последовательных заданий, действий или игр, направленных на достижение наработки и развития требуемого навыка;

Кейс-стади – техника обучения, использующая описание реальных ситуаций.

В ходе реализации практических работ преподаватель должен использовать наряду с традиционными инновационные технологии и методы обучения (технология развития критического мышления, «мозговой штурм», метод проектов, технология проблемного обучения, технология опережающего обучения, технология программированного обучения и др.).

Уровень освоения учебного материала по результатам практических работ соответствует «2» или «3», в зависимости от содержания работы.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.8/66

2 уровень *репродуктивный* – регулятивная или процессуальная деятельность, связанная с выполнением заданий на процесс или решение задач;

3 уровень *продуктивный* – аналитическая или творческая деятельность, связанная с выполнением задания повышенного уровня, например, творческая практическая работа над проектом.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.9/66

Перечень практических занятий

№ п/п	Практическое занятие	Кол-во часов
Раздел 1 Основы термодинамики		
Тема 1.2 Газовые смеси. Теплоемкость		
1	Решение задач по газовым смесям	2
Тема 1.4 Термодинамические процессы газов.		
2	Расчет основных термодинамических процессов	2
3	Расчёт и анализ адиабатного и политропного процессов	2
Тема 1.6 Термодинамические процессы компрессорных машин		
4	Расчёт рабочего процесса двухступенчатого компрессора.	2
Тема 1.7 Термодинамические циклы ДВС и ГТУ		
5	Расчёт циклов ДВС с изохорным и изобарным подводом теплоты.	2
6	Расчет цикла ДВС со смешанным подводом теплоты.	2
7	Расчёт цикла газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты.	2
Тема 1.8 Водяной пар. Истечение и дросселирование. Пароэнергетические установки		
8	Определение параметров состояния водяного пара.	2
9	Расчёт процесса истечения газов и паров.	2
Тема 1.9 Циклы холодильных установок. Влажный воздух		
10	Расчёт обратного цикла Карно холодильной установки.	2
Раздел 2 Основы теплопередачи		
Тема 2.1 Виды теплообмена		
11	Расчёт коэффициента теплопроводности двуслойной стенки.	2
Тема 2.2 Теплопередача. Теплообменные аппараты		
12	Определение коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата.	2
Тема 2.3 Теплообменные аппараты		
13	Определение площади поверхности теплообмена.	2
Раздел 3 Основы гидравлики		
Тема 3.2 Гидростатика		
14	Решение задач по гидростатике.	2
Тема 3.3 Гидродинамика		
15	Уравнение Бернулли. Определение режима течения жидкости.	2
16	Расчёт гидравлических сопротивлений. Определение потерь напора в трубопроводах.	2
17	Расчет простого и сложного трубопроводов при установившемся движении жидкости.	2
Тема 3.4 Гидравлические машины		
18	Определение напора и мощности насоса.	2
ИТОГО		36

РАЗДЕЛ 1 ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ
Тема 1.1 Газовые смеси. Теплоёмкость

Практическое занятие № 1 Решение задач по газовым смесям

Цель работы:

Закрепление полученных теоретических знаний.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

Рабочее тело – это вещество, способное воспринимать и отдавать теплоту, а также совершать работу. В тепловых и холодильных машинах в качестве рабочего тела используются паро- и газообразные вещества, потому что они легко меняют свой объем даже при незначительном изменении температуры. Параметры состояния – это величины, характеризующие физическое состояние рабочего тела. Рабочие вещества в тепловых и холодильных машинах являются газовыми смесями.

Порядок выполнения работы:

1. Повторить пройденный лекционный материал.
2. Изучить теоретическую часть к работе.
3. Решить задачу на определение давлений.

Определить абсолютное давление для двух случаев: а) заданы атмосферное и избыточное давления; б) заданы атмосферное и вакуумметрическое давление. Исходные данные взять из таблицы №1.

Таблица №1

Последняя цифра курсантского билета	$P_{атм}$, МПа	Предпоследняя цифра курсантского билета	$P_{изб}$, МПа	$P_{вак}$, МПа
0	0,101	0	0,21	0,05
1	0,102	1	0,22	0,04
2	0,103	2	0,19	0,03
3	0,104	3	0,18	0,08
4	0,105	4	0,23	0,01
5	0,106	5	0,55	0,001
6	0,107	6	0,61	0,002
7	0,990	7	0,79	0,025

8	0,980	8	0,81	0,034
9	0,100	9	0,92	0,015

4. Решить задачу на определение параметров газовых смесей.

Для исходных данных, приведенных в таблице №2 необходимо:

- 1). Рассчитать объемную долю заданного компонента;
- 2). Рассчитать объёмы компонентов смеси;
- 3). Определить массовые доли компонентов;
- 4). Определить массы компонентов смеси;
- 5). Определить плотность и удельный объём смеси;
- 6). Определить молекулярную массу смеси;
- 7). Определить газовую постоянную смеси газов;
- 8). Определить парциальное давление каждого компонента.

Таблица №2

Последняя цифра курсантского билета	V, м3	M, кг	P, МПа	Предпоследняя цифра курсантского билета	Состав смеси	Дополнительные исходные данные:
0	11	2	0,21	0	N2= 20%; O2=25%; CO=15%; SO2=?%	Молекулярные массы компонентов: μN2=28,026; μO2=32,000; μCO=28,01; μSO2=64,06. Плотность компонентов: ρN2=1,251; ρO2=1,429; ρCO=1,250; ρSO2=2,926. Газовые постоянные компонентов Дж/(кг град): RN2=296,8; RO2=259,8; RCO=296,8; RSO2=188,9.
1	9	4	0,22	1	N2= 10%; O2=?%; CO=18%; SO2=25%	
2	15	6	0,19	2	N2= ?%; O2=20%; CO=10%; SO2=35%	
3	12	8	0,18	3	N2= 22%; O2=22%; CO=?%; SO2=33%	
4	18	10	0,23	4	N2= ?%; O2=30%; CO=17%; SO2=13%	
5	20	9	0,55	5	N2= 19%; O2=28%; CO=12%; SO2=?%	
6	4	7	0,61	6	N2= 21%; O2=5%; CO=?%; SO2=18%	
7	7	5	0,79	7	N2= 10%; O2=?%; CO=10%; SO2=60%	
8	1	3	0,81	8	N2= ?%; O2=40%; CO=15%; SO2=15%	
9	31	11	0,92	9	N2= ?%; O2=35%; CO=16%; SO2=14%	

5. Решить задачу на определение теплоёмкостей газовых смесей.

Рассчитать средние при постоянном объеме и давлении теплоемкости (мольную, массовую и объемную) заданных ранее компонентов и газовой смеси.

Рассчитать количество теплоты, необходимое для нагрева 1 кг газовой смеси и X кг газовой смеси (из предыдущей задачи).

Исходные данные взять из таблицы №3.

Таблица №3

Последняя цифра курсантского билета	$t_2, ^\circ\text{C}$	Предпоследняя цифра курсантского билета	$t_1, ^\circ\text{C}$
0	500	0	100
1	600	1	200
2	700	2	300
3	800	3	100
4	900	4	200
5	1000	5	300
6	900	6	100
7	800	7	200
8	1100	8	300
9	1200	9	100

6. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчет давлений, параметров газовой смеси и её теплоёмкостей).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля.

1. Перечислите параметры состояния рабочего тела, дайте определение, укажите единицы измерения в системе СИ.
2. Основные законы идеальных газов.
3. Уравнения состояния идеального газа.
4. Что такое нормальные физические условия НФУ?
5. Назовите приборы для измерения различных давлений?

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.13/66

6. Какое давление принимается за параметр состояния рабочего тела, как оно рассчитывается?

7. Запишите аналитическое выражение для закона Дальтона и дайте пояснения к нему.

Тема 1.4 Термодинамические процессы газов

Практическое занятие №2 Расчет основных термодинамических процессов

Цель работы:

Закрепление темы «Первое начало термодинамики. Основные термодинамические процессы» - решением задач, анализом термодинамических процессов.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

Необходимо усвоить научные определения энергии: теплота, внутренняя энергия, работа. Рассматривать P-V систему координат как рабочую.

Первый закон термодинамики – это частный случай закона сохранения энергии, открытого М.В. Ломоносовым. Аналитическое выражение первого закона термодинамики $Q_{12}=U_2 - U_1 + L_{12}$. Ввести понятие: энтальпия. Кроме простых параметров, состояние газа характеризуется сложными параметрами, к которым относятся внутренняя энергия газа и энтальпия. Связь между 1 и 2 законами термодинамики.

При исследовании основных термодинамических процессов следует руководствоваться следующей схемой:

1. Уравнение процесса.
2. Зависимость между параметрами.
3. Изображение процесса в P-V диаграмме.
4. Изменение внутренней энергии.
5. Работа изменения объема и работа изменения давления.
6. Формула для определения количества тепла, подводимого или отводимого от рабочего тела в процессе.

7. Анализ уравнения первого начала термодинамики.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.
2. Произвести расчёт изотермического, изохорного и изобарного процессов.

Задача №1:

В закрытом сосуде емкостью V м³ содержится M кг воздуха при давлении P_1 МПа и температуре t_1 °С. Определить параметры воздуха в конце изохорного охлаждения до температуры t_2 °С, изменение внутренней энергии и количество отведенной теплоты. Теплоемкость c_{vm} принять равной 0,74 кДж/(кг градус). Изобразить процесс в P-V координатах.

Исходные данные взять из таблицы №4.

Таблица №4

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	t_1 , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	t_2 , °С	M , кг	V , м ³
0	0,17	150	0	15,0	3,5	1,6
1	0,11	200	1	14,5	3,3	1,7
2	0,12	225	2	14,0	3,2	1,8
3	0,13	315	3	13,5	3,1	1,9
4	0,14	210	4	13,0	3,0	1,8
5	0,15	175	5	13,5	2,9	1,7
6	0,16	186	6	14,0	2,8	1,6
7	0,18	370	7	14,5	2,7	1,5
8	0,19	400	8	15,0	2,6	1,4
9	0,2	500	9	15,5	2,5	1,3

Задача №2:

Воздух объёмом V_1 м³ и массой M кг нагревается при постоянном давлении P МПа от температуры t_1 °С до температуры t_2 °С. Определить параметры воздуха в конце нагрева, изменение внутренней энергии, количество подведенной теплоты, работу, которую совершит при нагреве воздух. Теплоемкость c_{vm} принять равной 0,74 кДж/(кг градус); c_{pm} принять равной 1.02 кДж/(кг градус). Изобразить процесс в P-V координатах.

Исходные данные взять из таблицы №5.

Таблица №5

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	t_1 , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	t_2 , °С	M , кг	V_1 , м ³
0	0.5	20	0	250	3,5	1,6
1	0.8	25	1	260	3,3	1,7
2	0.9	30	2	270	3,2	1,8
3	0.7	35	3	280	3,1	1,9
4	0.6	40	4	295	3,0	1,8
5	0.55	45	5	274	2,9	1,7
6	0.65	50	6	241	2,8	1,6
7	0.75	55	7	379	2,7	1,5
8	0.85	60	8	356	2,6	1,4
9	0.95	65	9	381	2,5	1,3

Задача №3:

1 кг воздуха сжимается при постоянной температуре t , °С от давления P_1 до давления P_2 . Определить начальный объём, параметры воздуха в конце сжатия, изменение внутренней энергии, количество отведенной теплоты, затрачиваемую работу. $R=287$ Дж/(кг градус). Изобразить процесс в P - V координатах.

Исходные данные взять из таблицы №6.

Таблица №6

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	t , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	P_2 , МПа
0	0.05	23	0	0,252
1	0.08	27	1	0,263
2	0.09	32	2	0,271
3	0.07	34	3	0,282
4	0.06	38	4	0,295
5	0.055	43	5	0,274
6	0.065	51	6	0,241
7	0.075	56	7	0,379
8	0.085	62	8	0,356

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»		
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА		С.16/66

9	0.095	67	9	0,381
---	-------	----	---	-------

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия.

Цель занятия.

Отчет о выполнении работы (решения трёх задач), графики.

Список использованной литературы и других источников.

Выводы.

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля.

1. Провести исследование каждого термодинамического процесса.
2. Почему работа изменения объёма в изохорном процессе равна нулю?
3. Почему при изотермическом расширении газа к нему необходимо подводить тепло, а при изотермическом сжатии – отводить?
4. Почему при адиабатном расширении температура газа понижается, а при адиабатном сжатии повышается?
5. Что такое энтальпия газа?
6. В чем выражается связь между первым и вторым законами термодинамики?

Практическое занятие №3 Расчёт и анализ адиабатного и политропного процессов

Цель работы:

Произвести расчёты адиабатного и политропного процессов. Закрепить полученные теоретические знания.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

Если сосуд с расширяющимся газом теплоизолировать от окружающей среды, то теплообмен будет отсутствовать, т.е. $Q = 0$. Процесс, происходящий при соблюдении этого условия, называется адиабатическим или адиабатным. Адиабатный процесс можно реализовать практически и при отсутствии хорошей теплоизоляции. Но тогда необходимо вести процесс столь быстро, чтобы за время его осуществления не произошел сколько-нибудь существенный теплообмен с внешней средой.

Политропный процесс характеризуется тем, что он протекает в идеальном газе при постоянном значении теплоемкости, которая может иметь любое числовое значение.

Для политропного процесса доля количества теплоты, расходуемой на изменение внутренней энергии, остается неизменной.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.
2. Рассчитать и проанализировать адиабатный процесс.

1 кг воздуха адиабатно сжимается при начальной температуре t_1 °С от давления P_1 до давления P_2 . Определить начальный объем, параметры воздуха в конце сжатия, изменение внутренней энергии, затрачиваемую работу (по четырём формулам). $R=287$ Дж/(кг градус). Показатель адиабаты $k=1,4$. Изобразить процесс в P-V координатах.

Исходные данные взять из таблицы №7.

Таблица №7

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	t_1 , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	P_2 , МПа
0	0.055	20	0	0,452
1	0.085	30	1	0,463
2	0.095	33	2	0,471
3	0.075	26	3	0,382
4	0.065	35	4	0,395
5	0.05	41	5	0,374
6	0.06	53	6	0,341
7	0.07	50	7	0,279
8	0.08	65	8	0,256
9	0.09	69	9	0,281

2. Рассчитать и проанализировать политропный процесс.

1 кг воздуха политропно расширяется при начальной температуре t_1 °С от давления P_1 до давления P_2 . Определить начальный объём, параметры воздуха в конце расширения, изменение внутренней энергии, количество подведенного тепла и полученную работу (по четырём формулам). $R=287$ Дж/(кг градус). Показатель политропы $n=1,2$. Теплоемкость c_v принять равной $0,72$ кДж/(кг градус). Изобразить процесс в P - V координатах.

Исходные данные взять из таблицы №8.

Таблица №8

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	t , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	P_2 , МПа
0	0.525	20	0	0,045
1	0.625	30	1	0,046
2	0.795	33	2	0,047
3	0.875	26	3	0,038
4	0.965	35	4	0,039
5	0.155	41	5	0,037
6	0.165	53	6	0,034
7	0.174	50	7	0,027
8	0.184	65	8	0,025
9	0.198	69	9	0,028

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия.

Цель занятия.

Отчет о выполнении работы (решения двух задач), графики.

Список использованной литературы и других источников.

Выводы.

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.19/66

1. Дайте определение адиабатному и политропному процессам.
2. Как определяется работа при адиабатном процессе?
3. Как определяется работа при политропном процессе?

Тема 1.6 Термодинамические процессы компрессорных машин

Практическое занятие № 4 Расчёт рабочего процесса двухступенчатого компрессора

Цель работы:

Закрепить полученные теоретические знания. Произвести расчёт рабочего процесса двухступенчатого компрессора.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

Компрессорами называются машины, предназначенные для сжатия и перемещения различных газов. Следует уяснить принцип работы поршневых и центробежных компрессоров. На примере одноступенчатого поршневого компрессора разобрать схему расчета компрессоров. Показать термодинамические процессы сжатия, дать их сравнительную характеристику. Ввести понятия: степень повышения давления, производительность, затраченная работа, мощность компрессора. Начертить схему, объяснить принцип действия поршневого компрессора, показать термодинамические процессы сжатия в P-V координатах.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.
2. Рассчитать рабочий процесс двухступенчатого компрессора.

В первую ступень двухступенчатого компрессора засасывается V_1 м³/с воздуха при температуре t_1 и давлении P_1 . Давление сжатого воздуха в ступенях P_2 и P_3 . Найти температуру и объем воздуха в конце сжатия в каждой ступени и работу, затраченную на сжатие воздуха по изотерме, адиабате ($K=1.4$) и политропе ($n=1.2$, $n=1.5$). Определить степень повышения давления в каждой ступени. Изобразить

процесс в P-V координатах. Произвести сравнительный анализ полученных результатов расчёта работы сжатия компрессора.

Исходные данные взять из таблицы №9.

Таблица №9

Последняя цифра курсантского билета	P ₁ , МПа	t ₁ , °С	V ₁ , м ³	Предпоследняя цифра курсантского билета	P ₂ , МПа	P ₃ , МПа
0	0.055	20	15	0	0,452	1,01
1	0.085	30	20	1	0,463	0,95
2	0.095	33	25	2	0,471	0,92
3	0.075	26	30	3	0,382	0,83
4	0.065	35	35	4	0,395	0,87
5	0.05	41	40	5	0,374	0,85
6	0.06	53	5	6	0,341	0,81
7	0.07	50	10	7	0,279	0,75
8	0.08	65	2	8	0,256	0,73
9	0.09	69	4	9	0,281	0,79

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия.

Цель занятия.

Отчет о выполнении работы (расчёт рабочего процесса двухступенчатого компрессора), графики.

Список использованной литературы и других источников.

Выводы.

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля.

1. Что такое степень повышения давления?
2. Для каких целей используется многоступенчатое сжатие?
3. Показать затраченную работу компрессора в P-V координатах.
4. Какой процесс сжатия в компрессоре наиболее выгодный?

Тема 1.7 Термодинамические циклы ДВС и ГТУ

Практическое занятие № 5 Расчёт циклов ДВС с изохорным и изобарным подводом теплоты

Цель работы:

*Документ управляется программными средствами 1С. Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в 1С: Колледж*

Рассчитать циклы ДВС с изохорным и изобарным подводом теплоты и сравнить их эффективность.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

Цикл с подводом теплоты при постоянном давлении (цикл Дизеля).

Это цикл компрессорных дизелей – ДВС тяжелого топлива (дизельного, солярного и др.) с внутренним смесеобразованием и самовоспламенением горючего от сжатого до высокой температуры воздуха. Горючее распыляется воздухом, подаваемым в цилиндр компрессором. Из-за больших габаритов и веса компрессорные дизели применяются на судах и в качестве стационарных установок электростанций.

Рабочая и тепловая диаграммы цикла Дизеля представлены на рис. 1.

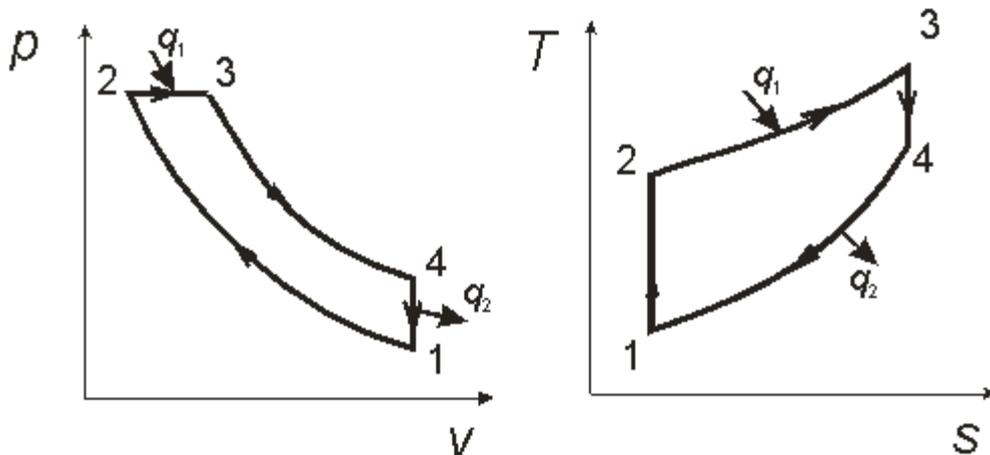


Рис.1. Цикл Дизеля. Рабочая (p - v) и тепловая (T - s) диаграммы.

(1-2 – адиабатное сжатие, 2-3 – изобарный подвод теплоты, 3-4 – адиабатное расширение, 4-1 – изохорный отвод теплоты)

Характеристики цикла:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$$

v_2 - степень сжатия

$$\rho = \frac{v_4}{v_3} - \text{степень предварительного расширения}$$

Процесс 1-2 – адиабатное сжатие воздуха в цилиндре. Удельный объем в точке 1, м³/кг:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объем в точке 2, м³/кг:

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

Температура в точке 2, К:

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

Давление в точке 2, МПа:

$$P_2 = \frac{RT_2}{v_2}$$

Процесс 3-4 – изобарный подвод тепла. Удельный объем в точке 3, м³/кг:

$$v_3 = v_2 \cdot \rho$$

Температура в точке 3, К:

$$T_3 = \frac{v_3 \cdot T_2}{v_2}$$

Давление в точке 3, МПа:

$$P_3 = P_2$$

Процесс 3-4 – адиабатное расширение. Удельный объем в точке 4, м³/кг:

$$v_4 = v_1$$

Температура в точке 4, К:

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{v_4}{v_3} \right)^{k-1}$$

Давление в точке 4, МПа:

$$P_4 = \frac{RT_4}{v_4}$$

Подводимая теплота:

$$q_1 = c_p (T_3 - T_2)$$

Отводимая теплота:

$$q_2 = c_{pm} \cdot (T_4 - T_1).$$

Работа цикла

$$l_u = q_1 - |q_2|$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = \frac{l_u}{q_1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{(\rho^k - 1)}{k(\rho - 1)}.$$

Изменение энтропии, кДж/кгград:

$$\Delta s_{3-4} = c_p \cdot \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right)$$

Цикл с подводом теплоты при постоянном объеме (цикл Отто).

Это цикл бензиновых ДВС с внешним смесеобразованием и принудительным искровым зажигание горючей смеси. Такие ДВС применяют на легковом автотранспорте.

Рабочая и тепловая диаграммы цикла Отто представлены на рис. 2.

Характеристики цикла:

$$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2} \text{ - степень сжатия}$$

$$\lambda = \frac{p_3}{p_2} \text{ - степень повышения давления.}$$

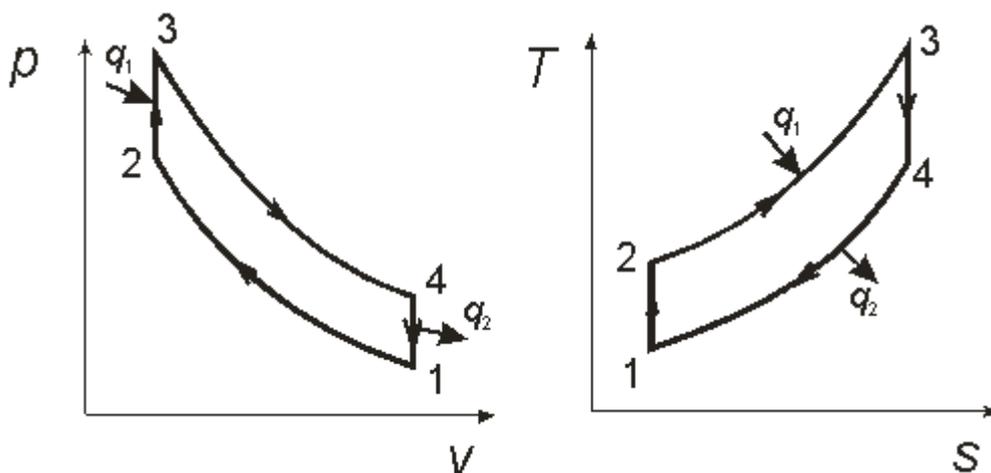


Рис.2. Цикл Отто. Рабочая (p - v) и тепловая (T - s) диаграммы.

(1-2 – адиабатное сжатие, 2-3 – изохорный подвод теплоты, 3-4 – адиабатное расширение, 4-1 – изохорный отвод теплоты)

Процесс 1-2 – адиабатное сжатие воздуха в цилиндре. Удельный объем в точке 1, м³/кг:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объем в точке 2, м³/кг:

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

Температура в точке 2, К:

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

Давление в точке 2, МПа:

$$P_2 = \frac{RT_2}{v_2}$$

Процесс 2-3 – изохорный подвод тепла. Давление в точке 3, МПа:

$$P_3 = P_2 \cdot \lambda$$

Температура в точке 3, К:

$$T_3 = \frac{P_3 \cdot T_2}{P_2}$$

$$v_3 = v_2 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Процесс 3-4 – адиабатное расширение. Удельный объем в точке 4, м³/кг:

$$v_4 = v_1$$

Температура в точке 4, К:

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{v_3}{v_4} \right)^{k-1}$$

Давление в точке 4, МПа:

$$P_4 = \frac{RT_4}{v_4}$$

Подводимая теплота:

$$q_1 = c_v (T_3 - T_2)$$

Отводимая теплота:

$$|q_2| = c_v (T_4 - T_1)$$

Работа цикла

$$l_4 = q_1 - |q_2|$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = \frac{l_y}{q_1} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Изменение энтропии, кДж/кгград:

$$\Delta s_{2-3} = c_v \cdot \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right)$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.
2. Произвести расчёт циклов ДВС с изохорным и изобарным подводом теплоты.

Для идеальных циклов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с изобарным и изохорным подводом теплоты (циклы Дизеля и Отто соответственно) определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, произведенную работу и термический КПД. Оценить эффективность циклов и произвести их сравнение. Рабочее тело – воздух. Принять $c_{vm} = 0,72$ кДж/кг·К; $c_{pm} = 1,01$ кДж/кг·К; $R=287$ Дж/(моль·К); показатель адиабаты $k=1,3$. Циклы изобразить в P-V-и T-S-координатах.

Исходные данные взять из таблицы №10.

Таблица №10

Последняя цифра курсантского билета	P ₁ , МПа	t ₁ , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	ε	λ	ρ
0	0,1	15	0	15,0	3,5	1,6
1	0,11	16	1	14,5	3,3	1,7
2	0,12	17	2	14,0	3,2	1,8
3	0,13	18	3	13,5	3,1	1,9
4	0,14	19	4	13,0	3,0	1,8
5	0,15	20	5	13,5	2,9	1,7
6	0,14	21	6	14,0	2,8	1,6
7	0,13	22	7	14,5	2,7	1,5
8	0,12	23	8	15,0	2,6	1,4
9	0,11	24	9	15,5	2,5	1,3

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.26/66

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчет циклов двигателя внутреннего сгорания (ДВС) с изобарным и изохорным подводом теплоты (циклы Дизеля и Отто соответственно), графики.

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы самоконтроля:

1. Из каких процессов состоит цикл Дизеля?
2. Из каких процессов состоит цикл Отто?
3. Какой из циклов является более эффективным, исходя из рассчитанных значений КПД?

Практическое занятие №6 Расчет цикла ДВС со смешанным подводом теплоты

Цель работы:

Произвести расчет цикла ДВС со смешанным подводом теплоты

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть:

В 1877 г. немецкий инженер Отто построил бензиновый двигатель, работа которого осуществлялась по принципу, запатентованному французом Бо-де-Роша в 1862 г. В 1897 г. немецкий инженер Дизель разработал двигатель, работающий на керосине, который распылялся в цилиндре воздухом высокого давления от компрессора. В 1904 г. русским инженером Тринклером Г.В. был построен безкомпрессорный двигатель со смешанным сгоранием топлива. Этот двигатель получил самое широкое распространение во всем мире.

Цикл со смешанным подводом теплоты носит название его автора – цикл Тринклера. В данном цикле подвод теплоты осуществляется в изохорном и изобарном процессах.

Изобразим цикл на рабочей и тепловой диаграмме (рис.3).

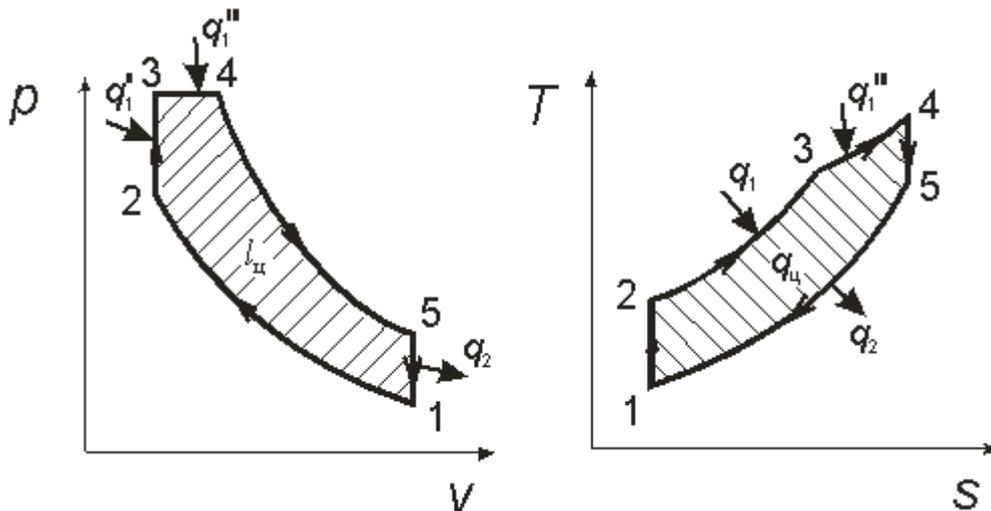


Рис.3. Цикл Тринклера. Рабочая ($p-v$) и тепловая ($T-s$) диаграммы.

Рассмотрим термодинамические процессы цикла:

- 1-2 – адиабатное сжатие,
- 2-3 – изохорный подвод теплоты,
- 3-4 – изобарный подвод теплоты,
- 4-5 – адиабатное расширение,
- 5-1 – изохорный отвод теплоты.

Характеристики цикла:

ϵ - степень сжатия (отношение объемов в начале и конце процесса сжатия 1-2);

λ - степень повышения давления (отношение давлений в процессе изохорного подвода теплоты);

ρ - степень предварительного расширения (отношение объемов в процессе изобарного подвода теплоты).

При анализе считают известными: состояние рабочего тела в т.1 (T_1, p_1) и характеристики цикла ϵ , λ , ρ . Вместо одной из характеристик может быть задана максимальная температура или максимальное давление.

Расчет цикла заключается в определении:

- параметров состояния рабочего тела в характерных точках цикла (p, T, v),

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.28/66

- энергетических характеристик цикла: подводимой удельной теплоты q_1 , отводимой удельной теплоты q_2 , цикловой работы $l_{ц}$ и термического КПД цикла η_t .

Ниже приводится порядок расчета цикла со смешанным подводом теплоты.

Процесс 1-2 – адиабатное сжатие воздуха в цилиндре. Удельный объем в точке 1, м³/кг:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объем в точке 2, м³/кг:

$$v_2 = \frac{v_1}{\varepsilon}$$

Температура в точке 2, К:

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

Давление в точке 2, МПа:

$$P_2 = \frac{RT_2}{v_2}$$

Процесс 2-3 – изохорный подвод тепла. Давление в точке 3, МПа:

$$P_3 = P_2 \cdot \lambda$$

Температура в точке 3, К:

$$T_3 = \frac{P_3 \cdot T_2}{P_2}$$

$$v_3 = v_2 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Процесс 3-4 – изобарный подвод тепла. Удельный объем в точке 4, м³/кг:

$$v_4 = v_3 \cdot \rho$$

Температура в точке 4, К:

$$T_4 = \frac{v_4 \cdot T_3}{v_3}$$

Давление в точке 4, МПа:

$$P_4 = P_3$$

Процесс 4-5 – адиабатное расширение. Удельный объем в точке 5, м³/кг:

$$v_5 = v_1$$

Температура в точке 5, К:

$$T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{v_4}{v_5} \right)^{k-1}$$

Давление в точке 5, МПа:

$$P_5 = \frac{RT_5}{\nu_5}$$

Подведённое тепло, кДж/кг:

$$q'_1 = c_{vm} \cdot (T_3 - T_2)$$

$$q''_1 = c_{pm} \cdot (T_4 - T_3)$$

$$q_{подв} = q'_1 + q''_1$$

Отведённое тепло, кДж/кг:

$$q_2 = c_{vm} \cdot (T_5 - T_1)$$

Произведённая работа, кДж/кг:

$$l_{1-2} = \frac{R \cdot (T_1 - T_2)}{k - 1}$$

$$l_{2-3} = 0$$

$$l_{3-4} = R \cdot (T_4 - T_3)$$

$$l_{4-5} = \frac{R \cdot (T_4 - T_5)}{k - 1}$$

$$l_{5-1} = 0$$

Суммарная работа цикла, кДж/кг:

$$l_{\Sigma} = l_{1-2} + l_{2-3} + l_{3-4} + l_{4-5} + l_{5-1}$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{\lambda \cdot \rho^{k-1} - 1}{\varepsilon^{k-1} \cdot ((\lambda - 1) + k \cdot \lambda \cdot (\rho - 1))} =$$

Изменение энтропии, кДж/кгград:

$$\Delta s_{2-3} = c_v \cdot \ln \left(\frac{T_3}{T_2} \right)$$

$$\Delta s_{3-4} = c_p \cdot \ln \left(\frac{T_4}{T_3} \right)$$

$$\Delta s_{5-1} = c_v \cdot \ln \left(\frac{T_5}{T_1} \right)$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.

2. Произвести расчёт цикла ДВС со смешанным подводом теплоты.

Для идеального цикла двигателя внутреннего сгорания (ДВС) со смешанным подводом теплоты определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, произведенную работу и термический КПД. Полученное значение термического КПД сравнить со значениями, полученными в практическом занятии №5. Рабочее тело – воздух. Принять $C_{vm} = 0,72$ кДж/кг·К; $C_{pm} = 1,01$ кДж/кг·К; $R=287$ Дж/(моль·К); показатель адиабаты $k=1,3$.

Цикл изобразить в P-V-и T-S-координатах.

Исходные данные взять из таблицы №11.

Таблица №11

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	t_1 , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	ϵ	λ	ρ
0	0,1	15	0	15,0	3,5	1,6
1	0,11	16	1	14,5	3,3	1,7
2	0,12	17	2	14,0	3,2	1,8
3	0,13	18	3	13,5	3,1	1,9
4	0,14	19	4	13,0	3,0	1,8
5	0,15	20	5	13,5	2,9	1,7
6	0,14	21	6	14,0	2,8	1,6
7	0,13	22	7	14,5	2,7	1,5
8	0,12	23	8	15,0	2,6	1,4
9	0,11	24	9	15,5	2,5	1,3

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчет цикла двигателя внутреннего сгорания со смешанным подводом теплоты), графики.

Список использованной литературы и других источников.

Выводы.

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самопроверки.

1. Какие упрощения допускаются при расчете по реальным циклам?

2. Что значит цикл ДВС с быстрым сгоранием топлива?

*Документ управляется программными средствами ИС: Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в ИС: Колледж*

3. Зависимость термического КПД от основных характеристик двигателя.
4. Цикл ДВС с изохорным подводом теплоты в P-V и T-S координатах.
5. Цикл ДВС с изобарным подводом теплоты в P-V и T-S координатах.
6. Цикл ДВС со смешанным подводом теплоты в P-V и T-S координатах.
7. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты в P-V и T-S координатах.

Практическое занятие №7 Расчёт цикла газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты

Цель работы:

Рассчитать цикл газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть:

В простейшей ГТУ со сгоранием топлива при постоянном давлении (цикл Брайтона) компрессор 1 (рис. 3), приводимый в движение газовой турбиной 4, подает сжатый воздух в камеру сгорания 3, в которую через форсунку впрыскивается жидкое топливо, подаваемое насосом 2, находящимся на валу турбины. Продукты сгорания расширяются в сопловом аппарате и частично на рабочих лопатках турбины и выбрасываются в атмосферу.

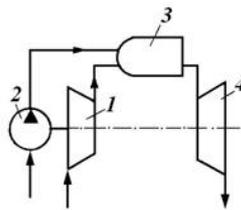


Рис. 3. Схема ГТУ

Процесс 1-2 адиабатное сжатие в компрессоре, 2-3 – изобарный подвод теплоты, 3-4 адиабатное расширение, 4-1 – изобарный отвод теплоты.

$$P_4 = P_1, \text{ МПа.}$$

Удельный объем в точке 1, м³/кг:

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объем в точке 4, м³/кг:

$$v_4 = \frac{v_1 \cdot T_4}{T_1}$$

Степень предварительного расширения:

$$\rho = \frac{v_4}{v_1} = \frac{v_3}{v_2}$$

Давление в точках 2 и 3, МПа:

$$P_2 = P_3 = P_1 \cdot \lambda$$

Температура в точке 2, К:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}$$

Удельный объём в точке 2, м³/кг:

$$v_2 = \frac{v_1}{\sqrt[\kappa]{\frac{P_2}{P_1}}}$$

Удельный объём в точке 3, м³/кг:

$$v_3 = \rho \cdot v_2$$

Температура в точке 3, К:

$$T_3 = \frac{v_3 \cdot T_2}{v_2}$$

Количество подведенной теплоты, кДж/кг:

$$q_{подв} = c_{pm} \cdot (T_3 - T_2)$$

Количество отведённой теплоты, кДж/кг:

$$q_{отв} = c_{vm} \cdot (T_4 - T_1)$$

Работа цикла, кДж/кг:

$$l_{ц} = q_{подв} - q_{отв}$$

Термический КПД цикла:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\lambda^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}$$

Изменение энтропии:

$$\Delta s_{1-2} = c_p \cdot \ln \left(\frac{T_1}{T_2} \right), \text{ кДж/кгград}$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.
2. Произвести расчёт цикла ДВС со смешанным подводом теплоты.

Для идеального цикла газотурбинной установки, работающей по циклу с подводом теплоты при постоянном давлении, определить параметры рабочего тела в характерных точках цикла, количество подведенной и отведенной теплоты, произведенную работу и термический КПД. Рабочее тело – воздух. Принять $C_{vm} = 0,72$ кДж/кг·К; $C_{pm} = 1,01$ кДж/кг·К; $R=287$ Дж/(моль·К); показатель адиабаты $k=1,3$.

Цикл изобразить в P-V-и T-S-координатах.

Исходные данные взять из таблицы №12.

Таблица №12

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	t_1 , °С	Предпоследняя цифра курсантского билета	t_4 , °С	λ
0	0,05	10	0	400	8.0
1	0,07	15	1	420	8.3
2	0,09	20	2	440	8.6
3	0,11	25	3	460	8.9
4	0,13	30	4	500	9.2
5	0,15	35	5	520	9.5
6	0,17	40	6	480	9.8
7	0,19	45	7	540	8.2
8	0,21	50	8	560	9.1
9	0,23	55	9	410	9.4

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчет цикла ГТУ с изобарным подводом теплоты), графики.

Список использованной литературы и других источников.

Выводы.

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самопроверки.

1. Какие упрощения допускаются при расчете по реальным циклам?
2. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты в P-V и T-S координатах.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.34/66

Тема 1.8 Водяной пар. Истечение и дросселирование газов и паров. Пароэнергетические установки

Практическое занятие №8 Определение параметров состояния водяного пара

Цель работы:

Изучить диаграммы водяных паров.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

Пары – это реальные газы, состояния которых ближе к состоянию жидкости. В термодинамике паров большое место занимают опытные данные. Кроме того, первый и второй законы термодинамики полностью относятся к парам. В качестве рабочего тела используется перегретый пар. Свойства перегретого пара соответствуют состоянию идеального газа тем больше, чем выше степень перегрева. Особое внимание следует обратить на состояние пара, на образование пограничных кривых. Надо знать критические параметры водяного пара, параметры тройной точки воды. Изучая процесс парообразования, нужно уметь пользоваться h - S диаграммой водяного пара. Дополнительно используются таблицы насыщенного и перегретого водяного пара.

Определяем удельный объём в точке 1:

$$v_1 = v_x = x \cdot (v'' - v') + v'$$

v' - удельный объём влажного насыщенного пара, м³/кг.

v'' - удельный объём сухого насыщенного пара, м³/кг.

Энтальпия в точке 1, кДж/кгград:

$$s_1 = s_x = x \cdot (s'' - s') + s'$$

Энтальпия в точке 1:

$$i_1 = i_x = x \cdot r + i'$$

r - удельная теплота парообразования, кДж/кг.

Внутренняя энергия в точке 1:

$$u_1 = u_x = i_1 - P_1 \cdot v_1$$

Температура пара в точке 1 по диаграмме

Масса пара, кг:

$$m = \frac{V_1}{v_1}$$

Энтальпия в точке 2, кДж/кгград:

$$s_2 = s_1 + \frac{Q}{m \cdot T_1}$$

Строим процесс на I-S диаграмме при условии, что $S_2=S_1=6.237$, т.к. процесс расширения адиабатный и получаем следующие значения параметров влажного пара: t_2, x_2, v_2, i_2 .

Объём в точке 2:

$$V_2 = m \cdot v_2 \text{ м}^3$$

Работа расширения одного килограмма пара, МДж/кг:

$$l_p = \frac{R \cdot (T_1 - T_2)}{k - 1}$$

Работа расширения всего пара, МДж:

$$L_p = m \cdot l_p$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.
2. Определить параметры состояния водяного пара и работу расширения.

Объём V_1 влажного пара со степенью сухости x_1 расширяется адиабатно от давления P_1 до давления P_2 .

Определить степень сухости x_2 , объём пара V_2 в конце расширения и произведенную им работу. Представить процесс расширения в I-S диаграмме.

Исходные данные взять из таблицы №13.

Таблица №13

Последняя цифра курсантского билета	P_1 , МН/м ²	x_1	Предпоследняя цифра курсантского билета	V_1 , м ³	P_2 , МДж
0	1,0	0,70	0	1,0	0.07
1	1,5	0,75	1	1,1	0.05
2	2,0	0,80	2	1,2	0.06
3	3,2	0,85	3	1,3	0.04
4	4,0	0,90	4	1,4	0.02

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»		
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА		С.36/66

5	3,5	0,85	5	2,0	0.01
6	3,0	0,80	6	2,1	0.08
7	2,5	0,75	7	2,2	0.09
8	2,2	0,70	8	2,3	0.1
9	4,5	0,90	9	1,7	0.15

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёты), графики.

Список использованной литературы и других источников.

Выводы.

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое процесс парообразования?
2. В чем разница между процессами испарения и кипения жидкости?
3. Что такое критическая точка и тройная точка воды?
4. Рассмотреть состояния водяного пара.

Практическое занятие № 9 Расчёт процесса истечения газов и паров

Цель работы:

Произвести расчёт процесса истечения газов и паров.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть:

Для получения сверхзвуковых скоростей истечения газового потока Лавалем, Стэнтоном, Франклем были разработаны сверхзвуковые сопла (каналы, трубы переменного сечения), в которых происходит ускорение газового потока до скоростей больших, чем скорость звука (рис.4).



Рис. 4. Разновидности сопел

В сопле Лаволя в сужающейся части скорость газового потока увеличивается от 0 до звуковой скорости (докритическое течение газа), затем газовый поток попадает в расширяющуюся часть сопла, где скорость его истечения увеличивается до сверхзвуковой скорости.

Расширяющиеся сопла используются в паровых и газовых турбинах, реактивных двигателях и других устройствах.

Превышение скорости звука в газовых средах приводит к ряду явлений, которые надо учитывать при движении самолетов, снарядов, ракет, лопаток газовых турбин и т.д.

Порядок расчёта.

Определяем отношение давлений:

$$\frac{P_2}{P_1}$$

Сравниваем полученное значение с критическим:

- для одноатомных газов:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{кр} = 0,487$$

- для двухатомных газов:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{кр} = 0,528$$

- для многоатомных газов:

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{кр} = 0,546$$

Удельный объем в точке 1:

$$\nu_1 = \frac{RT_1}{P_1}, \text{ м}^3/\text{кг}$$

Теоретическая скорость истечения, если: $\frac{P_2}{P_1} > \left(\frac{P_2}{P_1}\right)_{кр}$

$$c = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot P_1 \cdot v_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right)}, \text{ м/с}$$

Секундный расход, кг/с:

$$G = f \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{v_1} \cdot \left(\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right)}$$

Температура после истечения:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \text{ К}$$

Теоретическая скорость истечения, если: $\frac{P_2}{P_1} \leq \left(\frac{P_2}{P_1} \right)_{кр}$

$$c = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot P_1 \cdot v_1}, \text{ м/с}$$

Секундный расход, кг/с:

$$G = f \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \frac{P_1}{v_1}}$$

Содержание и порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть к работе.
2. Найти теоретическую скорость адиабатного истечения газообразного криопродукта из соплового канала дэтандера, секундный расход газа и его параметры в конце процесса истечения.

Исходные данные взять из таблицы №14.

Таблица №14

Последняя цифра курсантского билета	P ₁ , МПа	P ₂ , МПа	Предпоследняя цифра курсантского билета	t ₁ , °С	f, мм ²	Газ
0	7.0	4.5	0	50	13.5	Азот
1	7.5	5.0	1	55	12.5	Кислород
2	8.0	5.5	2	60	11.5	Водород
3	8.5	6.0	3	65	10.5	Аргон

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»		
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА		С.39/66

4	8.2	5.0	4	57	9.5	Неон
5	7.1	5.4	5	52	13	Метан
6	7.8	5.3	6	62	12	Этан
7	7.7	4.3	7	54	11	Воздух
8	7.6	4.0	8	59	10	Азот
9	7.3	5.7	9	63	9	Кислород

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёт).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что означает процесс дросселирования?
2. Как определяется расход газа при его истечении?

Тема 1.9 Циклы холодильных установок. Влажный воздух

Практическое занятие № 10 Расчёт обратного цикла Карно холодильной установки

Цель работы:

Изучить принцип действия холодильной установки; уметь определять принцип действия установки по схеме или диаграмме.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

Наиболее распространенными в промышленности являются паровые холодильные машины, в которых рабочим телом служат жидкости, имеющие при

атмосферном давлении низкие температуры кипения. Рабочее тело в холодильной машине называют холодильным агентом. Холодильная машина работает по обратному циклу. Для осуществления обратного цикла необходимо затратить внешнюю работу, которая идет в компрессоре на сжатие паров холодильного агента. Холодильная машина может работать при условии равенства подведенной теплоты и отведенной (сюда следует отнести также и теплоту, эквивалентную работе, затраченной на сжатие пара в цилиндре компрессора и полученной при расширении жидкости в детандере). Это условие называется тепловым балансом холодильной машины. Эффективность обратного цикла характеризуется холодильным коэффициентом, нужно уметь его рассчитывать. Выделяются особенностью принципа работы пароэжекторные и абсорбционные установки.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Рассмотреть обратный цикл Карно в P-V и T-S координатах.
3. Зарисовать схему холодильной установки.

4. Произвести расчёт обратного цикла Карно холодильной машины – определить параметры в узловых точках цикла, удельную холодопроизводительность, работу компрессора, удельное количество теплоты, отведённое в конденсаторе, холодильный коэффициент и термический КПД. Параметры в узловых точках записать в табличной форме (Таблица №15). Построить цикл на T-S-диаграмме.

Таблица №15

Параметр	Узловые точки			
	1	2	3	4
P, МПа				
t, °C				
i, кДж/кг				
S, кДж/(кг·K)				
v, м³/кг				

Исходные данные взять из таблицы №16.

Таблица №16

Параметр	Последняя цифра зачетки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температ	-10	-13	-21	-25	-32	-17	-20	-27	-23	-15

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»									
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА									С.41/66

ура кипения $t_0, ^\circ\text{C}$										
Температура конденсации $t_k, ^\circ\text{C}$	30	33	35	40	37	25	34	38	28	39
Параметр	Предпоследняя цифра зачетки									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Хладагент	R717	R134a	R404A	R717	R134a	R404A	R717	R134a	R404A	R717

5. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёт, графики).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое холодильный агент?
2. Показать цикл паровой компрессорной холодильной установки в T-S координатах.
3. Что называется холодильным коэффициентом и от чего он зависит?
4. Чем характеризуются парожеткорные и абсорбционные установки?

РАЗДЕЛ 2 ОСНОВЫ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ

Тема 2.1 Виды теплообмена

Практическое занятие № 11 Расчёт коэффициента теплопроводности трёхслойной стенки

Цель работы:

Изучить порядок и произвести расчёт коэффициента теплопередачи трёхслойной стенки.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

При изучении процессов, протекающих в теплообменных аппаратах судовых холодильных установок, часто приходится рассматривать теплообмен теплопроводностью через двух- и трёхслойные цилиндрические стенки. Например, медная трубка воздухоохладителя в начальный период работы представляет двухслойную стенку - непосредственно медь и масляная плёнка. Если в охлаждаемом помещении воздух влажный, то снаружи трубка покрывается слоем «снеговой шубы» и тогда получается трёхслойная стенка.

В процессе выполнения работы необходимо изучить порядок расчёта коэффициента теплопроводности, термических сопротивлений и удельного теплового потока, а также температуру на границе слоёв.

Термические сопротивления слоёв стенок, м²К/Вт:

$$R_{cm1} = \frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$R_{cm2} = \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

$$R_{cm3} = \frac{\delta_3}{\lambda_3}$$

Термическое сопротивление стенки, м²К/Вт:

$$R_{cm} = R_{cm1} + R_{cm2} + R_{cm3}$$

Удельный тепловой поток через стенку, Вт/м²К:

$$q = \frac{\Delta t}{R_{cm}} = \frac{t_1 - t_2}{R_{cm}}$$

Температура на границе слоёв, °С:

$$t_{zр1} = t_1 - q \cdot \frac{\delta_1}{\lambda_1}$$

$$t_{zр2} = t_{zр1} - q \cdot \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

Эквивалентный коэффициент теплопроводности, Вт/мК:

$$\lambda_{eq} = \frac{q \cdot (\delta_1 + \delta_2 + \delta_3)}{\Delta t}$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Произвести расчёт термических сопротивлений слоёв стенки, удельного теплового потока, температуры на границе слоёв и эквивалентный коэффициент

теплопроводности. Построить график изменения температур по толщине двухслойной стенки в масштабе. Считать, что рассматривается площадь бесконечного малого значения, поэтому расчёт вести теплопроводности как для плоской стенки.

Исходные данные взять из таблицы №17.

Таблица №17

Последняя цифра курсантского билета	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$\delta_1, \text{мм}$	$\delta_2, \text{мм}$	Предпоследняя цифра курсантского билета	$\delta_3, \text{мм}$	$\lambda_1, \text{Вт/мК}$	$\lambda_2, \text{Вт/мК}$	$\lambda_3, \text{Вт/мК}$
0	-10	-20	0,5	1	0	0,05	0.11	390	0,1
1	-12	-22	1,0	1,9	1	0,055	0.10	395	0,09
2	-14	-24	1,2	1.4	2	0,057	0.09	400	0,115
3	-11	-21	1,5	0,9	3	0,058	0.07	405	0,11
4	-15	-25	1,7	1,1	4	0,059	0.12	410	0,114
5	-16	-26	1,9	1.4	5	0,061	0.13	415	0,117
6	-17	-27	2,0	1.5	6	0,062	0.14	420	0,119
7	-18	-28	2,5	1.6	7	0,064	0.15	425	0,121
8	-19	-29	2,7	1.7	8	0,063	0.16	430	0,123
9	-20	-30	3,0	1.8	9	0,048	0.17	435	0,125

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёт, график).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие виды теплообмена Вам известны?
2. Дайте определение коэффициенту теплопроводности.
3. От чего зависит коэффициент теплопроводности?

Тема 2.2 Теплопередача.

Практическое занятие № 12 Определение коэффициента теплопередачи

Цель работы:

Определить роль коэффициента теплопередачи; уметь производить расчёты теплообменных аппаратов.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.44/66

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть.

В реальных условиях передача тепла происходит не одним каким-то способом, а одновременно несколькими. Теплопередача – это сложный теплообмен, в котором принимают участие теплопроводность, конвекция и излучение. Надо уметь определять величину теплового потока при различных случаях передачи тепла. Особое внимание нужно обратить на характерные особенности передачи тепла от газов к жидкости через разделяющую стенку. Уметь определять коэффициент теплопередачи, объяснять от каких величин он зависит.

Теплообменные аппараты являются одним из элементов паросиловых и холодильных установок. Выделяются рекуперативные теплообменные аппараты, в которых теплота от горячей среды к холодной передаётся через разделяющую их стенку (паровые котлы, бойлеры, водоподогреватели, конденсаторы и др.). Целью расчета теплообменного аппарата является определение поверхности нагрева. Для этого используются: уравнение теплопередачи и уравнения теплового баланса. Следует помнить, что при точных расчётах, используется средняя разность температур (максимальная и минимальная разница между греющим и нагреваемым телами). Особое внимание обращается на загрязнение и замасливание поверхности теплообменных аппаратов, т.к. эти явления резко ухудшают передачу тепла.

Количество передаваемого тепла, кВт:

$$Q = G_2 \cdot c_p \cdot (t_2'' - t_2')$$

Температура охлаждающей воды на выходе, °С:

$$t_1'' = t_1' - \frac{Q}{G_1 \cdot c_p}$$

Средние температуры воды, °С:

$$t_1 = \frac{t_1' + t_1''}{2}; t_2 = \frac{t_2' + t_2''}{2}$$

Свойства воды при температурах t_1 и t_2 :

- плотность, кг/м³:

- коэффициент теплопроводности, Вт/мК:

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.45/66

- коэффициент кинематической вязкости, м²/с:

- число Прандтля:

Скорости воды, м/с:

$$w_1 = \frac{4 \cdot G_1}{\rho_1 \cdot \pi \cdot d_1^2 \cdot 3600}$$

$$w_2 = \frac{4 \cdot G_2}{\rho_2 \cdot \pi \cdot (D - d_2)^2 \cdot 3600}$$

Число Рейнольдса для потока охлаждающей воды:

$$Re = \frac{w_1 \cdot d_1}{\nu_1}$$

Число Нуссельта для потока охлаждающей воды:

$$Nu_1 = 0.021 \cdot Re_1^{0.8} \cdot Pr_{ж1}^{0.48} \cdot \left(\frac{Pr_{ж1}}{Pr_{см1}} \right)^{0.25}$$

где $Pr_{см1}$ - число Прандтля при температуре стенки.

Температура стенки:

$$t_{см1} = 0.5 \cdot (t_1 + t_2) = 0.5 \cdot (65.6 + 36) = 50.8$$

Коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_1}$$

Поток нагреваемой воды:

Эквивалентный диаметр, м:

$$d_s = D - d_2$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{w_2 \cdot d_s}{\nu_2}$$

Число Нуссельта для потока охлаждаемой воды:

$$Nu_2 = 0.021 \cdot Re_2^{0.8} \cdot Pr_{ж2}^{0.48} \cdot \left(\frac{Pr_{ж2}}{Pr_{см2}} \right)^{0.25}$$

$$Pr_{см2} \approx Pr_{см1}$$

Коэффициент теплоотдачи, Вт/м²К:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_s}$$

Коэффициент теплопередачи, Вт/м²К:

- толщина и теплопроводность стенки трубы:

$$\delta_{cm} = \frac{d_2 - d_1}{2} = 0.0015, \text{ м.}$$

$$\lambda_{cn} = 50, \text{ Вт/мК}$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Изобразить схему теплообменника.

3. Определить коэффициент теплопередачи водо-водяного холодильника типа «труба в трубе». Охлаждающая вода движется по внутренней стальной трубе ($\lambda_1 = 50$ Вт/м К) диаметром d_1 (внутренний) и d_2 (наружный) и имеет температуру на входе t_1' . Расход охлаждающей воды G_1 кг/ч. Охлаждаемая вода движется противотоком по кольцевому каналу между трубами и охлаждается от t_2' до t_2'' . Расход охлаждаемой воды G_2 кг/ч. Длина одной секции теплообменника L , м. Потерями теплоты через внешнюю поверхность теплообменника пренебречь. Внутренний диаметр наружной трубы D , мм.

Исходные данные взять из таблицы №18.

Таблица №18

Последняя цифра курсантского билета	d_1 , мм	d_2 , мм	t_1' , °С	G_1 , кг/ч	Предпоследняя цифра курсантского билета	t_2' , °С	t_2'' , °С	G_2 , кг/ч	L , м	D , мм
0	25	28	10	3000	0	50	45	2000	1,5	48
1	27	30	8	2800	1	55	48	1900	1,6	50
2	31	34	17	2600	2	60	56	1800	1,7	54
3	33	36	5	2500	3	65	45	1700	1,8	58
4	32	35	7	2400	4	45	36	1600	1,9	56
5	35	38	9	2300	5	40	31	1500	2,0	60
6	34	37	11	2200	6	42	33	1400	2,1	62
7	30	33	14	2100	7	52	47	1300	2,2	52
8	28	31	20	2000	8	62	58	1200	2,5	53
9	29	32	15	2250	9	57	50	1350	2,3	55

4. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.47/66

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёт).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Какими способами передается тепло от более нагретого тела к менее нагретому?
2. Какие известны случаи простого и сложного теплообмена?
3. Что такое конвективный теплообмен? Как определяется коэффициент конвективной теплоотдачи?
4. Объяснить каким образом происходит сложная передача тепла от одной жидкости к другой через разделяющую их стенку.
5. Объяснить уравнения теплового баланса.

Тема 2.3 Теплообменные аппараты

Практическое занятие №13 Определение площади поверхности теплообмена

Цель работы: Приобретение навыков в расчетах по определению площади теплообмена.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [1]; [2]; [4]; [6].

Теоретическая часть:

Порядок расчёта площади поверхности теплообмена.

Температура газов на выходе, °С:

$$t_{ж1}'' = t_{ж1}' - \frac{Q}{G_1 \cdot c_{p1}}$$

Температура воды на выходе, °С:

$$t_{ж2}'' = t_{ж2}' + \frac{Q}{G_2 \cdot c_{p2}}$$

Средние температуры воды и газов, °С:

$$t_{ж1} = \frac{t'_{ж1} + t''_{ж1}}{2}$$

$$t_{ж2} = \frac{t'_{ж2} + t''_{ж2}}{2}$$

Разность температур:

$$\Delta t_a = t_{ж1} - t_{ж2} \text{ °С.}$$

Удельный тепловой поток, Вт/м²:

$$q = K \cdot \Delta t_a$$

Площадь теплопередающей поверхности, м²:

$$F = \frac{Q}{q}$$

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Изобразить схему теплообменника.

3. Определить площадь поверхности нагрева водяного экономайзера F , в котором теплоносители движутся по противоточной схеме, если известны следующие величины: температура газов на входе в экономайзер $t_{ж1}'$; расход газов G_1 ; теплоемкость газов c_{p1} , температура воды на входе $t_{ж2}'$, расход воды G_2 ; количество передаваемой теплоты Q ; коэффициент теплопередачи от газов к воде K . Изобразить в масштабе изменения температуры теплоносителей по длине водяного экономайзера. Теплоёмкость газов принять $c_{p1} = 1,065$ кДж/(кг·градус). Теплоёмкость воды принять $c_{p2} = 4,19$ кДж/(кг·градус).

Исходные данные взять из таблицы №19.

Таблица №19

Последняя цифра курсантского билета	G_1 , кг/ч	$t'_{ж1}$, °С	Q , кВт	Предпоследняя цифра курсантского билета	G_2 , кг/ч	$t'_{ж2}$, °С	K , Вт/(м ² ·°С)
0	1500	300	110	0	1100	100	79
1	2000	315	120	1	1200	105	80
2	2200	330	130	2	1300	110	81
3	3100	345	160	3	900	115	82
4	1400	350	170	4	800	120	83
5	1700	285	180	5	700	95	75
6	4100	270	190	6	1000	90	92

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»		
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА		С.49/66

7	4500	365	220	7	1400	85	97
8	3400	380	240	8	1500	80	68
9	3800	395	250	9	600	75	71

4. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёт, график).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие виды теплообменных аппаратов Вам известны?
2. Какие схемы движения нагревающей и нагреваемой жидкостей вы знаете?
3. Каков порядок расчёта теплообменного аппарата?

РАЗДЕЛ 3 ГИДРАВЛИКА

Тема 3.2 Гидростатика

Практическое занятие № 14 Решение задач по гидростатике

Цель работы:

Приобретение навыков в гидравлических расчетах по определению гидростатического напора и давления.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [3]; [5]; [7].

Теоретическая часть:

Перед изучением теоретического материала по гидравлике необходимо повторить материал о характеристиках жидкостей из курса физики, обратив внимание на определения и размерности.

Для выполнения гидравлических расчетов судовых систем и трубопроводов необходимо знать свойства транспортируемых жидкостей. Особое внимание

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.50/66

следует обратить на вязкость реальной жидкости - свойство жидкости оказывать сопротивление сдвигу или относительному перемещению её слоев при воздействии внешних сил. Следует учитывать, что динамический коэффициент вязкости характеризует силу трения между соседними слоями жидкости, движущимися с различными скоростями, а коэффициент кинематической вязкости характеризует ускорение, которое по второму закону Ньютона равно силе, деленной на плотность. Вязкость зависит от рода жидкости и температуры, с повышением которой вязкость уменьшается. На вязкость также влияет наличие воздуха в жидкости в растворенном и смешанном виде. При увеличении содержания воздуха в жидкости вязкость её уменьшается.

Для жидкости находящейся в покое, нормальное напряжение, т.е. напряжение, создаваемое силой давления, называется гидростатическим давлением. При изучении этих вопросов нужно уделить большое внимание основному уравнению гидростатики, его геометрическому и энергетическому смыслам. Ввести понятия: абсолютное (полное) давление, внешнее давление на поверхности жидкости (поверхностное давление). При решении практических вопросов чаще всего пользуются понятиями: избыточное (манометрическое) или вакуумметрическое давления. При решении задач следует учитывать соотношения между единицами измерения давления, пользоваться приборами для измерения давления: манометрами, пьезометрами, вакуумметрами, барометрами.

Следует обратить внимание на то, что манометрическому (пьезометрическому) давлению соответствует манометрическая (пьезометрическая) высота, а давлению вакуума - вакуумметрическая высота. Необходимо знать, чем отличается напор от давления.

Гидростатический напор - это мера механической энергии.

Гидростатическое давление - это мера внутренних сил, действующих в жидкости.

При определении силы гидростатического давления на плоскую поверхность следует иметь в виду, что она может быть найдена и с помощью эпюр давления. Можно определить силу избыточного давления жидкости для некоторых случаев, зная, что она равна весу жидкости в объеме эпюры напора и проходит через её центр тяжести, а эпюра давления представляет собой график изменения давления в зависимости от глубины.

На законе Паскаля основаны принципы работы многих гидростатических машин и объемного гидропривода, предназначенные для преобразования энергии одного потока рабочей жидкости в энергию другого потока с изменением давления.

Закон Архимеда является фундаментом теории плавания. Для плавания тела центр его масс должен совпадать с точкой приложения выталкивающей силы. Если плотность жидкости больше плотности твердого тела, то тело всплывает. Если плотность твердого тела больше плотности жидкости, то тело тонет.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Найти значение гидростатического давления на тело, находящееся на глубине h , если известно значение атмосферного давления и плотность жидкости.

Исходные данные взять из таблицы №20.

Таблица №20

Последняя цифра курсантского билета	P_0 , МПа	h , м	Предпоследняя цифра курсантского билета	ρ , кг/м ³
0	0,101	1,5	0	980
1	0,105	2,0	1	970
2	0,109	2,5	2	960
3	0,112	3,0	3	1000
4	0,098	3,5	4	1050
5	0,095	4,0	5	1020
6	0,091	4,5	6	990
7	0,103	5,0	7	997
8	0,107	5,5	8	1005
9	0,099	0,5	9	1010

3. Определить избыточное давление на дне океана, глубина которого H , км, приняв плотность морской воды ρ , кг/м³ и считая ее несжимаемой. Определить плотность воды на той же глубине с учетом сжимаемости и приняв модуль объемной упругости K , МПа.

Исходные данные взять из таблицы №21.

Таблица №21

Последняя цифра курсантского билета	K , МПа	H , км	Предпоследняя цифра курсантского билета	ρ , кг/м ³	P_0 , МПа
0	$2,1 \cdot 10^3$	1,5	0	980	0,101
1	$2,3 \cdot 10^3$	2,0	1	970	0,105

2	$2,5 \cdot 10^3$	2,5	2	960	0,109
3	$2,7 \cdot 10^3$	3,0	3	1000	0,112
4	$2,9 \cdot 10^3$	3,5	4	1050	0,098
5	$1,9 \cdot 10^3$	4,0	5	1020	0,095
6	$2,0 \cdot 10^3$	4,5	6	990	0,091
7	$1,7 \cdot 10^3$	5,0	7	997	0,103
8	$1,5 \cdot 10^3$	5,5	8	1005	0,107
9	$1,3 \cdot 10^3$	0,5	9	1010	0,099

4. Определить, какой объем воды V м³ нужно накачать при гидравлическом испытании трубопровода на давление P МПа если его длина L м, внутренний диаметр d мм. Принять для воды $\beta=48 \cdot 10^{-11}$ Па⁻¹.

Исходные данные взять из таблицы №22.

Таблица №22

Последняя цифра курсантского билета	P , МПа	L , м	Предпоследняя цифра курсантского билета	d , мм
0	0.025	3.0	0	40
1	0.03	3.5	1	45
2	0.035	4.0	2	50
3	0.04	4.5	3	20
4	0.045	5.0	4	25
5	0.05	5.5	5	30
6	0.055	2.0	6	35
7	0.06	2.5	7	55
8	0.02	6.0	8	27
9	0.015	6.5	9	23

5. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёты).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Понятие идеальной и реальной жидкостей.
2. Основные свойства жидкости.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.53/66

3. Гидростатическое давление и его свойства.
4. Основное уравнение гидростатики.
5. Закон Паскаля и его практическое использование.
6. Плавание тел в жидкости. Применение закона Архимеда.

Тема 3.3 Гидродинамика

Практическое занятие №15 Уравнение Бернулли. Определение режима течения жидкости

Цель занятия:

Закрепление знаний по порядку определения режимов течения жидкости.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [3]; [5]; [7].

Теоретическая часть:

Изучение темы начинается с понятия об удельной энергии потока жидкости. Итак, удельная потенциальная энергия потока жидкости, находящаяся в потоке, равна гидростатическому напору и для всех точек рассматриваемого объема жидкости одинакова. Вводятся понятия: удельная потенциальная энергия положения, удельная потенциальная энергия давления, удельная кинетическая энергия скоростного напора. Единицей измерения этих величин в системе СИ является 1 м.

Основным уравнением гидродинамики является уравнение Бернулли, которое устанавливает связь между скоростью движения и давлением жидкости при установившемся движении.

Сначала рассматривается уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости. Энергетическая сущность данного уравнения заключается в том, что оно выражает закон сохранения энергии элементарной струйки. Полная удельная энергия элементарной струйки есть величина постоянная для всех рассматриваемых сечений, хотя удельная кинетическая энергия в различных

сечениях может быть различной. Гидродинамический напор есть сумма трёх высот: геометрической, пьезометрической (манометрической) и высоты скоростного напора.

Расчётным уравнением является уравнение Бернулли для потока реальной жидкости. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости есть уравнение баланса удельной энергии с учетом потерь. Энергия теряется жидкостью, но не исчезает бесследно, а лишь превращается в тепловую. Рассматриваются полные потери напора. Определяется режим движения жидкости.

Рассматривая режимы движения жидкости, следует уяснить, в чем физический смысл числа Рейнольдса. Число Рейнольдса характеризует отношение сил инерции к силам трения в движущейся жидкости. Зная значение числа Рейнольдса можно судить о режиме движения жидкости.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Определить режим течения жидкого хладагента в трубопроводе диаметром d мм от линейного ресивера до регулирующей станции вязкостью ν мм²/с для двух случаев: при расходе жидкости V_1 м³/с и V_2 м³/с.

Исходные данные взять из таблицы №23.

Таблица №23

Последняя цифра курсантского билета	d , мм	$\nu \cdot 10^7$ м ² /с	Предпоследняя цифра курсантского билета	$V_1 \cdot 10^3$ м ³ /с	$V_2 \cdot 10^3$ м ³ /с
0	20	2,83	0	0,1	0,27
1	25	2,71	1	0,15	0,19
2	30	2,63	2	0,2	0,07
3	35	2,52	3	0,25	0,02
4	18	2,48	4	0,3	0,21
5	24	2,41	5	0,35	0,31
6	40	2,35	6	0,05	0,29
7	21	2,29	7	0,17	0,33
8	15	2,24	8	0,08	0,16
9	10	2,15	9	0,03	0,24

3. Водяной раствор хлористого кальция с кинематическим коэффициентом вязкости ν м²/с движется по трубопроводу. С каким расходом раствор будет двигаться по трубе диаметром d мм при числе Рейнольдса Re ?

Исходные данные взять из таблицы №24.

Таблица №24

Последняя цифра курсантского билета	d, мм	$\nu \cdot 10^6$ м ² /с	Предпоследняя цифра курсантского билета	Re
0	22	1.15	0	1100
1	32	1.44	1	957
2	12	2.00	2	803
3	17	2.36	3	1574
4	28	1.32	4	1990
5	26	1.64	5	1243
6	34	2.27	6	561
7	36	2.70	7	497
8	38	3.60	8	672
9	29	1.54	9	733

4. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёты).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение установившегося и неустановившегося, равномерного и неравномерного движения.
2. Формулировка и значение уравнения неразрывности потока жидкости.
3. Какие существуют режимы движения жидкости?
4. Что называется числом Рейнольдса? Каково значение критического числа Рейнольдса?
5. Что такое полная удельная энергия потока?

Практическое занятие №16 Расчёт гидравлических сопротивлений. Определение потерь напора в трубопроводах

Цель работы:

Определение гидравлических потерь напора в трубопроводах.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.56/66

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [3]; [5]; [7].

Теоретическая часть:

В гидродинамике рассматривают законы движения жидкости в трубах, каналах и пористых телах, а также вопросы обтекания тел жидкостью. В кинематике жидкости изучаются геометрические свойства механического движения жидкости без учета их массы и действующих на них сил. Движение жидкости характеризуется скоростью частиц в отдельных точках потока, давлением, а также общей формой потока.

Вводится понятие: установившееся и неустановившееся движение. По воздействию давления на поток различают напорное и безнапорное движение жидкости.

В гидравлике при решении практических задач предполагают, что поток движущейся жидкости состоит из отдельных элементарных струек, которые при установившемся движении жидкости обладают следующими свойствами: а) имеют постоянную форму; б) частицы жидкости, движущейся в одной струйке, не могут перетекать в соседнюю с ней струйку; в) скорость элементарной струйки во всех точках данного нормального сечения является постоянной ввиду её малого сечения. Следует знать уравнение неразрывности потока, а это значит, что за единицу времени через все сечения элементарной струйки, а также потока протекает одинаковое количество жидкости.

Большую роль при изучении движения реальной жидкости играет уравнение Бернулли для элементарной струйки потока, которое выражает закон сохранения энергии элементарной струйки (полная удельная энергия элементарной струйки есть величина постоянная для всех рассматриваемых сечений, хотя удельная кинетическая энергия в различных сечениях может быть различной). Геометрический смысл уравнения заключается в том, что для струйки идеальной жидкости напор - величина постоянная, равная сумме трех высот. Энергетический смысл уравнения заключается в том, что полная энергия струйки идеальной жидкости постоянна и равна сумме удельной потенциальной и кинетической энергии.

При выводе уравнения Бернулли для потока реальной жидкости необходимо учесть: а) неравномерность распределения скоростей по сечению потока; б) потери напора, обусловленные вязкостью реальной жидкости. Вводится коэффициент

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.57/66

Кориолиса физический смысл, которого заключается в том, что он выражает отношение действительной энергии в данном сечении, подсчитанной по местным скоростям, к кинетической энергии, подсчитанной по средней скорости. Коэффициент Кориолиса учитывает неравномерность распределения скоростей по сечению потока и зависит от режима движения жидкости. Следует помнить, что уравнение Бернулли для потока реальной жидкости это уравнение баланса удельной энергии с учетом потерь (энергия теряется жидкостью, но не исчезает бесследно, а лишь превращается в тепловую). Каждый член уравнения Бернулли имеет размерность длины и показывает высоту: геометрическую, пьезометрическую, скоростного напора, потерянного напора.

Все гидравлические потери энергии делятся на два типа: потери на трение по длине трубопроводов и местные потери, вызванные такими элементами трубопроводов, в которых вследствие изменения размеров или конфигурации русла происходит изменение скорости потока, отрыв потока от стенок русла и возникновение вихреобразования.

Простейшие местные гидравлические сопротивления можно разделить на расширения, сужения и повороты русла, каждое из которых может быть внезапным или постепенным. Более сложные случаи местного сопротивления представляют собой соединения или комбинации перечисленных простейших сопротивлений.

Потери напора на местные сопротивления, м:

$$\xi * \frac{w^2}{2g}$$

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что потери напора на трение по длине вычисляются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_T = l * \lambda * \frac{w^2}{2g * d_T}$$

где λ – безразмерный коэффициент потерь на трение по длине трубопровода (зависит от режима течения).

Для расчёта коэффициента λ можно использовать таблицу, представленную ниже.

Режим движения		Число Рейнольдса	Определение λ
Ламинарный		$Re < 2300$	$\lambda = \frac{64}{Re}$ или $\lambda = \frac{75}{Re}$
Переходный		$2300 < Re < 4000$	Проектирование трубопроводов не рекомендуется
Турбулентный	1-я область	$4000 < Re < 10 \frac{d}{\Delta_3}$	$\lambda_T = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ (ф-ла Блазиуса) $\lambda_T = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2}$ (ф-ла Конакова)

Режим движения		Число Рейнольдса	Определение λ
Турбулентный	2-я область	$10 \frac{d}{\Delta_3} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_3}$	$\lambda_T = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля)
	3-я область	$Re > 560 \frac{d}{\Delta_3}$	$\lambda_T = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля) $\frac{1}{\sqrt{\lambda_T}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_3}{3,71d} \right)$ (ф-ла Никурадзе)

Под кавитацией понимается гидродинамический процесс образования парогазовых пузырьков (каверн) в зонах, где давление снижается до давления насыщенных паров при данной температуре и последующего замыкания (захлопывания пузырей) в зонах повышенного давления. Чтобы понять, почему давление понижается в некоторых местах (сечениях) потока, следует вспомнить два уравнения: уравнение неразрывности потока и уравнение Бернулли.

Гидравлический удар представляет собой колебательный процесс давления, возникающий при внезапном изменении скорости жидкости в трубопроводе при закрытии или открытии клапана. Кинетическая энергия погашенной скорости жидкости переходит в работу деформации, что приводит к шуму, вибрации, а зачастую и к разрыву трубопровода, аварии.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.
2. Определить режим течения жидкого хладагента в трубопроводе диаметром d мм от линейного ресивера до регулирующей станции вязкостью ν мм²/с для двух случаев: при расходе жидкости V_1 м³/с и V_2 м³/с. В зависимости от полученных

результатов определить потери напора на трение на участке трубопровода длиной L м, а также потери напора на местные сопротивления (плавный поворот трубопровода на 90° ($\xi=1,2$); частично открытый клапан ($\xi=4$)).

Исходные данные взять из таблицы №25.

Таблица №25

Последняя цифра курсантского билета	d, мм	$v \cdot 10^7$ м ² /с	Предпоследняя цифра курсантского билета	$V_1 \cdot 10^3$ м ³ /с	$V_2 \cdot 10^3$ м ³ /с	L, м
0	21	2,83	0	0,12	0,25	1,0
1	24	2,71	1	0,14	0,20	1,1
2	32	2,63	2	0,22	0,09	1,2
3	34	2,52	3	0,24	0,05	1,3
4	17	2,48	4	0,28	0,24	1,4
5	22	2,41	5	0,32	0,33	1,5
6	30	2,35	6	0,04	0,27	1,6
7	25	2,29	7	0,16	0,32	1,7
8	10	2,24	8	0,06	0,14	1,8
9	15	2,15	9	0,08	0,22	2,0

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёты).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя

Вопросы для самоконтроля:

1. Уравнение Бернулли для реальной жидкости: каковы его смысл и значение. Какова размерность величин, входящих в это уравнение?
2. Расчетные формулы для определения потерь напора по длине и местных потерь. Как учитывается полная потеря напора в круглой трубе?
3. В чем заключается сущность гидравлического удара? Какими методами можно снизить величину ударного давления?

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.60/66

4. Что называется кавитацией жидкости? Какие меры рекомендуется применять для предотвращения кавитации жидкости в насосах?

Практическое занятие №17 Расчет простого и сложного трубопроводов при установившемся движении жидкости.

Цель занятия:

Изучить порядок расчёта трубопроводов.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [3]; [5]; [7].

Теоретическая часть:

Гидравлический расчёт при разработке проекта трубопровода направлен на определение диаметра трубы и падения напора потока носителя. Данный вид расчёта проводится с учетом характеристик конструкционного материала, используемого при изготовлении магистрали, вида и количества элементов, составляющих систему трубопроводов(прямые участки, соединения, переходы, отводы и т. д.), производительности, физических и химических свойств рабочей среды.

Подбор труб по диаметру и материалу проводится на основании заданных конструктивных требований к конкретному технологическому процессу. В настоящее время элементы трубопровода стандартизированы и унифицированы по диаметру. Определяющим параметром при выборе диаметра трубы является допустимое рабочее давление, при котором будет эксплуатироваться данный трубопровод.

Основными параметрами, характеризующими трубопровод являются:

- условный (номинальный) диаметр;
- давление номинальное;
- рабочее допустимое (избыточное) давление;
- материал трубопровода, линейное расширение, тепловое линейное расширение;
- физико-химические свойства рабочей среды;

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.61/66

- комплектация трубопроводной системы (отводы, соединения, элементы компенсации расширения и т.д.);

- изоляционные материалы трубопровода.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.

2. По трубопроводу переменного сечения протекает вода с расходом Q л/с, диаметр суженной части d_2 . Определить диаметр основного трубопровода d_1 и скорость в сечениях 1-1 и 2-2, если разность показаний пьезометров Δh . Плотность жидкости принять 1000 кг/м^3 . Изобразить схему трубопровода в масштабе.

Исходные данные взять из таблицы №26.

Таблица №26

Последняя цифра курсантского билета	Q , л/с	Δh , м	Предпоследняя цифра курсантского билета	d_2 , м
0	20,0	0,151	0	0.085
1	22,5	0,192	1	0.080
2	30,0	0,121	2	0.095
3	33,5	0,234	3	0.120
4	11,5	0,144	4	0.090
5	12,0	0,249	5	0.100
6	17,2	0,198	6	0.110
7	16,4	0,351	7	0.115
8	15,6	0,162	8	0.075
9	21,2	0,173	9	0.070

3. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёты).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие основные параметры, характеризующие трубопровод, Вам известны?

*Документ управляется программными средствами ИС: Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в ИС: Колледж*

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.62/66

2. Какой материал применяется для изготовления аммиачных и хладоновых трубопроводов?

3. Какие потери напора возникают при движении жидкости по трубопроводу?

4. Как влияет коррозия на сопротивление движению жидкости по трубопроводу?

Тема 3.4 Гидравлические машины

Практическое занятие №18 Определение напора и мощности насоса

Цель работы:

Закрепить знания по порядку определения напора и мощности насоса.

Формируемые общие и профессиональные компетенции: ОК01, ОК02, ОК03, ОК04, ОК05, ОК06, ОК07, ОК09, ПК1.1, ПК 1.2, ПК 1.3, ПК 4.1, ПК 4.2, ПК 4.3.

Формируемые личностные результаты: ЛР 19, ЛР 31.

Использованные источники: [3]; [5]; [7].

Теоретическая часть:

Насос – это исполнительный механизм, преобразующий механическую энергию двигателя (привода) в гидравлическую энергию потока жидкости.

Насосом называется машина, предназначенная для создания потока рабочей жидкости. Рабочие жидкости, применяемые в гидроприводах, подразделяются на четыре типа: нефтяные, синтетические, водополимерные и эмульсионные. Наиболее существенное значение при выборе рабочей жидкости имеет вязкость, температура вспышки, застывания и окисляемость.

Роторные насосы имеют подвижные рабочие элементы, образующие рабочие камеры, совершающие вращательные или вращательное и возвратно-поступательное движение. Роторные насосы разделяют на шестерённые, пластинчатые и поршневые (радиально-поршневые и аксиально-поршневые). Основные параметры насосов: подача, мощность, коэффициент полезного действия определяют при номинальных давлении, частоте вращения и рабочем объёме. КПД насоса называется отношение полезной мощности к потребляемой.

Шестерённым называется роторный насос с рабочими звеньями в виде шестерён (зубчатых колёс), обеспечивающих геометрическое замыкание рабочих камер и передающих вращательный момент. Шестерённые насосы применяются в

гидроприводах как самостоятельные источники питания невысокого давления или как вспомогательные насосы для подпитки гидросистем.

Пластинчатым называется роторный насос с рабочими звеньями-замыкателями в виде пластин. Рабочие камеры образуются рабочими поверхностями статора, ротора, двух смежных пластин и боковых крышек.

Радиально-поршневым насосом называют поршневой насос, у которого рабочие камеры образованы рабочими поверхностями поршней и цилиндров, а оси поршней расположены перпендикулярно к оси блока цилиндров или составляют с ней угол более 45° . Аксиально-поршневым насосом называют поршневой насос, у которого рабочие камеры образованы рабочими поверхностями цилиндров и поршней, а оси поршней параллельны (аксиальны) оси блока цилиндров или составляют с ней угол не более 45° . К основным деталям объемных насосов предъявляются требования к точности и шероховатости рабочих поверхностей.

В судовых холодильных установках насосы применяются в системе хладагента (насосно-циркуляционное охлаждение – плиточные морозильные аппараты), рассола (циркуляция хладносителя), смазочного масла (обеспечение смазки компрессоров) и охлаждающей воды.

Порядок выполнения работы:

1. Изучить теоретическую часть работы.

2. По трубе диаметром d мм, длиной L м и общим подъемом h м и с коэффициентом сопротивления трения 0,04 и суммой коэффициентов местных сопротивлений, равной 12, нужно перекачать воду в гидрофор, максимальное давление в котором P_2 МПа. Производительность насоса нужна V м³/ч. Определить напор и мощность насоса. Начальное давление жидкости P_1 , МПа. КПД насоса η .

Исходные данные взять из таблицы №27.

Таблица №27

Последняя цифра курсантского билета	h , м	d , мм	L , м	Предпоследняя цифра курсантского билета	P_1 , МПа	P_2 , МПа	V , м ³ /ч	η
0	2,0	15	5,0	0	0,101	0,211	1,1	0,63
1	2,5	20	5,5	1	0,103	0,295	1,2	0,65
2	3,0	25	4,5	2	0,105	0,290	1,3	0,68
3	3,5	30	4,0	3	0,107	0,285	1,4	0,79

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»		
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.64/66	

4	4,0	17	6,0	4	0,109	0,280	1,5	0,71
5	4,5	19	6,5	5	0,110	0,275	1,6	0,70
6	5,0	22	7,0	6	0,113	0,270	1,7	0,72
7	5,5	24	5,9	7	0,115	0,265	1,8	0,73
8	6,0	28	6,9	8	0,117	0,260	1,9	0,74
9	6,5	29	7,9	9	0,119	0,255	2,0	0,75

3. Шестеренчатый насос перекачивает масло из цистерны основного запаса в расходную в количестве Q м³/ч по трубопроводу общей длиной L м. При этом диаметр трубы d мм, высота всасывания $h_{вс}$ м, высота нагнетания h_n м, коэффициент сопротивления трения 0,04, сумма коэффициентов местных сопротивлений равна 18. У шестерен t зубьев, модуль z мм, ширина b мм. Определить мощность и скорость вращения приводного электродвигателя, если полный КПД насоса равен η и объемный КПД равен η_v .

Исходные данные взять из таблицы №28.

Таблица №28

Последняя цифра курсантского билета	$h_{вс}$, м	h_n , м	d , мм	L , м	z , мм	Предпоследняя цифра курсантского билета	t	b , мм	Q , м ³ /ч	η	η_v
0	2,0	12,0	35	7,0	4	0	10	60	7,1	0,63	0.65
1	2,5	12,5	40	8,5	6	1	8	40	7,2	0,65	0.67
2	3,0	13,0	45	9,5	4	2	12	50	7,3	0,68	0.70
3	3,5	13,5	50	9,0	6	3	14	54	7,4	0,79	0.81
4	4,0	13,7	57	10,0	4	4	16	44	7,5	0,71	0.70
5	4,5	13,9	38	11,5	6	5	10	48	7,6	0,70	0.70
6	5,0	14,1	42	9,2	4	6	8	58	7,7	0,72	0.72
7	5,5	14,3	48	9,6	6	7	12	52	7,8	0,73	0.71
8	6,0	14,5	52	7,5	4	8	14	42	7,9	0,74	0.74
9	6,5	14,7	55	7,8	6	9	16	62	8,0	0,75	0.75

4. Ответить на вопросы для самоконтроля.

Содержание отчета:

Номер и тема практического занятия

Цель занятия

Отчет о выполнении работы (расчёты).

Список использованной литературы и других источников

Выводы

Даты выполнения и подписи курсанта и преподавателя.

Вопросы для самоконтроля:

*Документ управляется программными средствами ИС: Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся в ИС: Колледж*

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.65/66

1. Как классифицируются насосы по принципу действия?
2. От чего зависит мощность насоса?
3. Из каких составляющих складывается полный КПД насоса?

Используемые источники литературы

1. Ерофеев В.Л., Пряхин А.С. Теплотехника в 2 т. Том. 1. Термодинамика и теория теплообмена. 2022.
2. Ерофеев В.Л., Пряхин А.С. Теплотехник. Практикум. 2022.
3. Гусев А.А. Основы гидравлики. 2022.
4. Иванов А.Е., Иванов С.А. Механика. Молекулярная физика и термодинамика. [Электронный ресурс] – М.: КНОРУС, 2016.
5. Брюханов О.Н. Основы гидравлики и теплотехники – М., Академия, 2011.

МО-15 02 06-ОП.06.ПЗ	КМРК БГАРФ ФГБОУ ВО «КГТУ»	
	ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОТЕХНИКА И ГИДРАВЛИКА	С.66/66

6. Трофимова Т.И. Основы физики. Термодинамика. [Электронный ресурс] – М.: КНОРУС, 2016.
7. Гусев, А. А. Основы гидравлики : учебник для сред. проф. образования / А. А. Гусев. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Юрайт, 2017.
8. Электронные библиотечные системы «Book.ru»; «ЮРАЙТ»; «Академия».