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

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

Подписано цифровой подписью: Колесниченко Андрей Игоревич
Причина: Я являюсь автором этого документа
Дата: 21 Август 2025 г. 11:48:20
DN: E=uc_fk@roskazna.ru, S=77 Москва, ИНН ЮЛ=7710568760, ОГРН=1047797019830, STREET="Большой Златоустинский переулок, д. 6, строение 1", L=г. Москва, C=RU, O=Казначейство России, CN=Федеральное казначейство

ОП.07 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА, ТЕПЛОПЕРЕДАЧА И ГИДРАВЛИКА

Методическое пособие для выполнения практических занятий
по специальности

26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок

МО-26 02 05-ОП.07. ПЗ

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

Содержание

Введение 3
Перечень практических занятий 4
Практическое занятие № 1 5
Практическое занятие № 2 7
Практическое занятие № 3 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
Практическое занятие № 4 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
Практическое занятие № 5 11
Практическое занятие № 6 16
Практическое занятие № 7 21
Практическое занятие № 8 28
Практическое занятие № 9 ..... **Ошибка! Закладка не определена.**
Практическое занятие № 10
…… **Ошибка! Закладка не определена.**
Используемые источники литературы 38

Введение

Методические указания по выполнению практических занятий составлены в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Техническая термодинамика, теплопередача и гидравлика» по специальности 26.02.05 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

Целью проведения практических занятий является закрепление теоретических знаний и приобретения необходимых практических навыков и умений по отдельным темам дисциплины. Наряду с формированием умений и навыков в процессе практических занятий обобщаются, систематизируются, конкретизируются и углубляются теоретические знания, вырабатывается способность и готовность применять эти знания на практике, развиваются интеллектуальные умения.

Выполнение практических заданий направлено на формирование у обучающихся следующих элементов компетенций:

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 04. Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде.

ОК 05. Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста.

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.

ПК 1.1. Обеспечивать техническую эксплуатацию главных энергетических установок судна, вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления.

ПК 1.3. Выполнять техническое обслуживание и ремонт судового оборудования.

Перед проведением практических занятий обучающиеся обязаны проработать соответствующий материал, уяснить цель занятия, ознакомиться с содержанием и

последовательностью его проведения, а преподаватель проверить их знания готовность к выполнению задания.

Решение задач по термодинамике, теплотехнике и гидравлике является одним из вариантов практических занятий. На экзамене необходимо показать умение применять теоретические знания к решению практических задач. Недостаточно решение задачи в виде алгебраической формулы без цифровых значений. Необходимо получить конкретный числовой результат и указать единицы измерения, дать соответствующий анализ.

После каждой практической работы проводится защита. На защите курсант должен:

- пояснить, как проводится расчёт;
- уметь проанализировать полученные результаты (в соответствии с основными требованиями к знаниям и умениям по данной теме рабочей программы);
- ответить на вопросы для самопроверки.

Перечень практических занятий

№ п/п	Практическое занятие	Кол-во часов
1	Решение задач по газовым смесям	2
2	Расчет основных термодинамических процессов	2
3	Расчёт циклов ДВС с изохорным и изобарным подводом теплоты.	2
4	Расчет цикла ДВС со смешанным подводом теплоты.	2
5	Расчёт цикла газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты.	2
6	Определение параметров состояния водяного пара.	2
7	Расчёт процесса истечения газов и паров.	2
8	Решение задач по гидростатике.	2
9	Уравнение Бернулли. Определение режима течения жидкости.	2
10	Определение напора и мощности насоса.	2
	ИТОГО	20

Практическое занятие № 1 Решение задач по газовым смесям

Цель работы:

Закрепление полученных теоретических знаний.

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, °C	Предпоследняя цифра курсантского билета	t_1, °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?
6. Какое давление принимается за параметр состояния рабочего тела, как оно рассчитывается?
7. Запишите аналитическое выражение для закона Дальтона и дайте пояснения к нему.

Практическое занятие №2 Расчет основных термодинамических процессов

Цель работы:

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

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 $м^3$ содержится М кг воздуха при давлении P_1 МПа и температуре t_1 ^oC. Определить параметры воздуха в конце изохорного охлаждения до температуры t_2 ^oC, 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, ^oC	Предпоследняя цифра курсантского билета	t_2, ^oC	М, 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 м^3 и массой М кг нагревается при постоянном давлении Р МПа от температуры t_1 ºС до температуры t_2 ºС. 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, ºС	Предпоследняя цифра курсантского билета	t_2, ºС	М, 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, ºС 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
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 циклов ДВС с изохорным и изобарным подводом теплоты

Цель работы:

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

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.

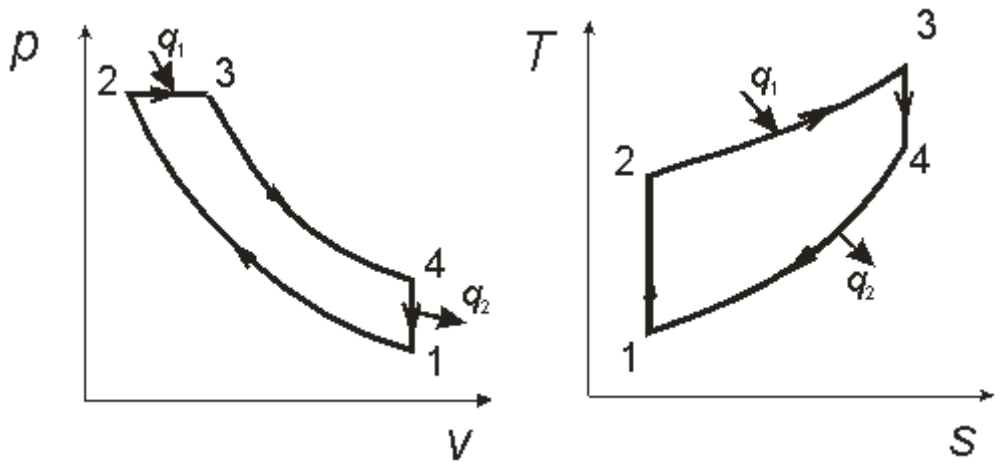

Рис.1. Цикл Дизеля. Рабочая (*p*-*v*) и тепловая (*T*-*s*) диаграммы.

(1-2 – адиабатное сжатие, 2-3 – изобарный подвод теплоты,

3-4 – адиабатное расширение, 4-1 – изохорный отвод теплоты)

Характеристики цикла:

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

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

Процесс 1-2 –адиабатное сжатие воздуха в цилиндре. Удельный объём в точке 1, м^3/кг:

$$\upsilon_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объём в точке 2, м^3/кг:

$$\upsilon_2 = \frac{\upsilon_1}{\varepsilon}$$

Температура в точке 2, К:

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

Давление в точке 2, МПа:

$$P_2 = \frac{RT_2}{\upsilon_2}$$

Процесс 3-4 – изобарный подвод тепла. Удельный объём в точке 3, м^3/кг:

$$\upsilon_3 = \upsilon_2 \cdot \rho$$

Температура в точке 3, К:

$$T_3 = \frac{\upsilon_3 \cdot T_2}{\upsilon_2}$$

Давление в точке 3, МПа:

$$P_3 = P_2$$

Процесс 3-4 – адиабатное расширение. Удельный объём в точке 4, м^3/кг:

$$\upsilon_4 = \upsilon_1$$

Температура в точке 4, К:

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{\upsilon_3}{\upsilon_3}\right)^{k-1}$$

Давление в точке 4, МПа:

$$P_4 = \frac{RT_4}{\upsilon_4}$$

Подводимая теплота:

$$q_1 = c_p\left(T_3 - T_2\right)$$

Отводимая теплота:

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

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:

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

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

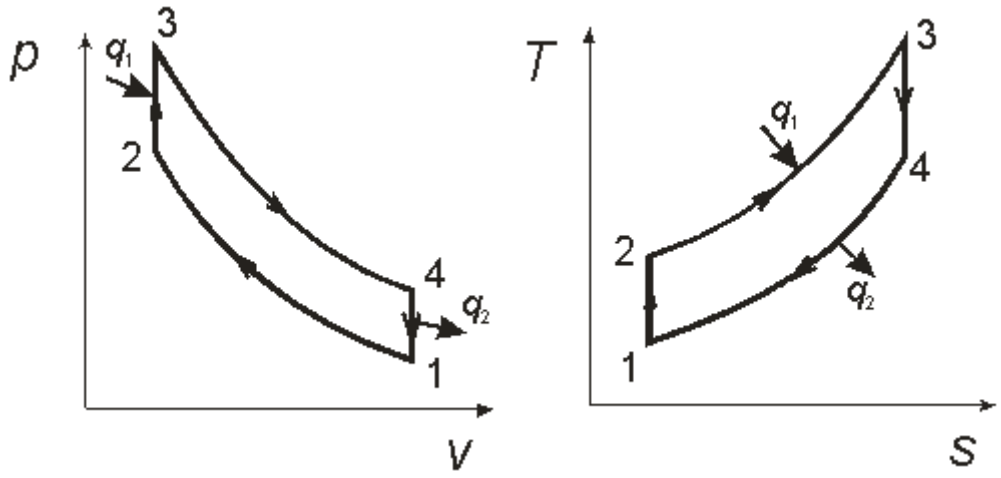

Рис.2. Цикл Отто. Рабочая (*p*-*v*) и тепловая (*T*-*s*) диаграммы.

(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 объём в точке 1, м^3/кг:

$$\upsilon_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объём в точке 2, м^3/кг:

$$\upsilon_2 = \frac{\upsilon_1}{\varepsilon}$$

Температура в точке 2, К:

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

Давление в точке 2, МПа:

$$P_2 = \frac{RT_2}{\upsilon_2}$$

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

$$P_3 = P_2 \cdot \lambda$$

Температура в точке 3, К:

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

$\upsilon_3 = \upsilon_2$ м^3/кг.

Процесс 3-4 – адиабатное расширение. Удельный объём в точке 4, м^3/кг:

$$\upsilon_4 = \upsilon_1$$

Температура в точке 4, К:

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{\upsilon_3}{\upsilon_3}\right)^{k-1}$$

Давление в точке 4, МПа:

$$P_4 = \frac{RT_4}{\upsilon_4}$$

Подводимая теплота:

$$q_1 = c_v\left(T_3 - T_2\right)$$

Отводимая теплота:

$$\left|q_2\right| = c_v\left(T_5 - T_1\right).$$

Работа цикла

$$l_ц = q_1 - \left|q_2\right|.$$

Термический КПД цикла:

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

.

Изменение энтропии, кДж/кгград:

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

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:

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 №4 Расчет цикла ДВС со смешанным подводом теплоты

Цель работы:

Произвести расчет цикла ДВС со смешанным подводом теплоты

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).

Документ управляется программными средствами 1С Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся 1С Колледж

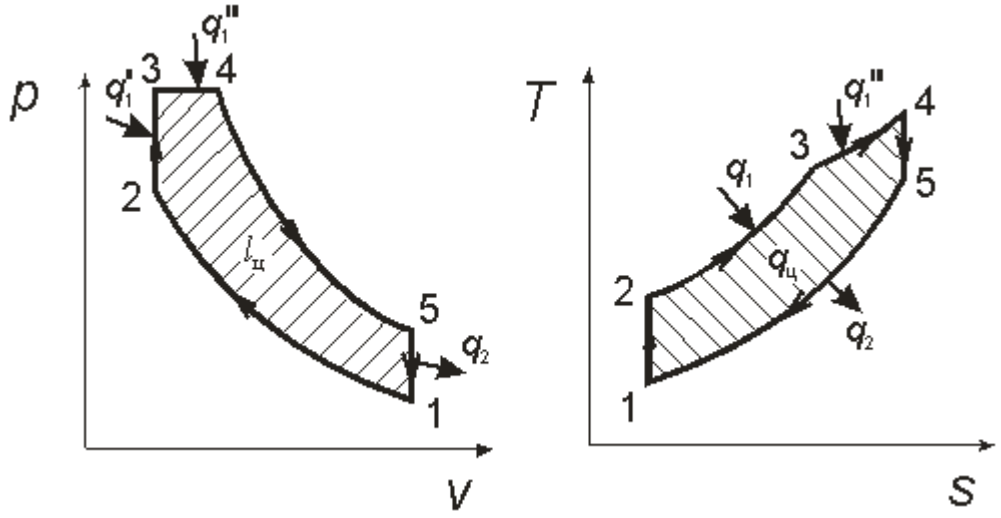

Рис.3. Цикл Тринклера. Рабочая (*p*-*v*) и тепловая (*T*-*s*) диаграммы.

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*),

- 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 объём в точке 1, м^3/кг:

$$\upsilon_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объём в точке 2, м^3/кг:

$$\upsilon_2 = \frac{\upsilon_1}{\varepsilon}$$

Температура в точке 2, К:

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

Давление в точке 2, МПа:

$$P_2 = \frac{RT_2}{\upsilon_2}$$

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

$$P_3 = P_2 \cdot \lambda$$

Температура в точке 3, К:

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

$\upsilon_3 = \upsilon_2$ м^3/кг.

Процесс 3-4 – изобарный подвод тепла. Удельный объём в точке 4, м^3/кг:

$$\upsilon_4 = \upsilon_3 \cdot \rho$$

Температура в точке 4, К:

$$T_4 = \frac{\upsilon_4 \cdot T_3}{\upsilon_3}$$

Давление в точке 4, МПа:

$$P_4 = P_3$$

Процесс 4-5 – адиабатное расширение. Удельный объём в точке 5, м^3/кг:

$$\upsilon_5 = \upsilon_1$$

Температура в точке 5, К:

$$T_5 = T_4 \cdot \left(\frac{\upsilon_4}{\upsilon_5}\right)^{k-1}$$

Давление в точке 5, МПа:

$$P_5 = \frac{RT_5}{\upsilon_5}$$

Подведённое тепло, кДж/кг:

$$q_1' = c_{vm} \cdot \left(T_3 - T_2\right)$$

$$q_1'' = c_{pm} \cdot (T_4 - T_3)$$

$$q_{подв} = q_1' + q_1''$$

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:

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

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?
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 №5 Расчёт цикла газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты

Цель работы:

Рассчитать цикл газотурбинной установки с изобарным подводом теплоты.

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.

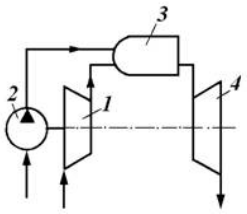

Рис. 3. Схема ГТУ

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

$P_4 = P_1$, МПа.

Удельный объем в точке 1, м^3/кг:

$$\upsilon_1 = \frac{RT_1}{P_1}$$

Удельный объем в точке 4, м^3/кг:

$$\upsilon_4 = \frac{\upsilon_1 \cdot T_4}{T_1}$$

Степень предварительного расширения:

$$\rho = \frac{\upsilon_4}{\upsilon_1} = \frac{\upsilon_3}{\upsilon_2}$$

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, м^3/кг:

$$\upsilon_2 = \frac{\upsilon_1}{\sqrt[\kappa]{\frac{P_2}{P_1}}}$$

Удельный объём в точке 3, м^3/кг:

$$\upsilon_3 = \rho \cdot \upsilon_2$$

Температура в точке 3, К:

$$T_3 = \frac{\upsilon_3 \cdot T_2}{\upsilon_2}$$

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:

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

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 координатах.
3. Цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты в T-S координатах.
4. Элементы ГТУ.

Практическое занятие №6 Определение параметров состояния водяного пара

Цель работы:

Изучить диаграммы водяных паров.

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:

$$\upsilon_1 = \upsilon_x = x \cdot (\upsilon'' - \upsilon') + \upsilon'$$

υ' - удельный объём влажного насыщенного пара, м^3/кг.

υ'' - удельный объём сухого насыщенного пара, м^3/кг.

Энтропия 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:

$$u_1 = u_x = i_1 - P_1 \cdot \upsilon_1$$

Температура пара в точке 1 по диаграмме

Масса пара, кг:

$$m = \frac{V_1}{\upsilon_1}$$

Энтропия 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, υ_2, i_2.

Объём в точке 2:

$$V_2 = m \cdot \upsilon_2 \text{ м}^3$$

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.

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

Определить степень сухости x_2, объем 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
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 № 7 Расчёт процесса истечения газов и паров

Цель работы:

Произвести расчёт процесса истечения газов и паров.

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).

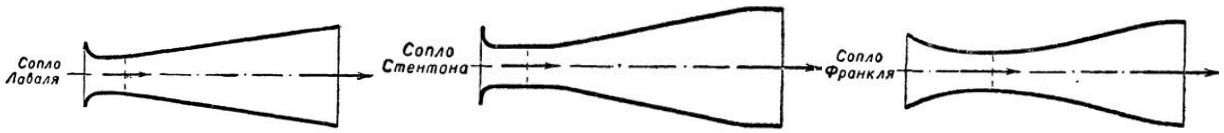

Рис. 4. Разновидности сопел

В сопле Лаваля в сужающейся части скорость газового потока увеличивается от 0 до звуковой скорости (докритичное 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:

$\upsilon_1 = \frac{RT_1}{P_1}$, м^3/кг

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

$$c = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot P_1 \cdot \upsilon_1 \cdot \left(1 - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}\right)}$$, м/с

Секундный расход, кг/с:

$$G = f \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{\upsilon_1} \cdot \left(\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k+1}{k}}\right)}$$

Температура после истечения:

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

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

$$c = \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot P_1 \cdot \upsilon_1}$$, м/с

Секундный расход, кг/с:

$$G = f \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{k}{k+1} \cdot \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \frac{P_1}{\upsilon_1}}$$

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
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?

Практическое занятие № 8 Решение задач по гидростатике

Цель работы:

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

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 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_o, 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 Н, км, приняв плотность морской воды ρ, кг/м^3 и считая ее несжимаемой. Определить плотность воды на той же глубине с учетом сжимаемости и приняв модуль объемной упругости К, МПа.

Исходные данные взять из таблицы №21.

Таблица №21

Последняя цифра курсантского билета	К, МПа	Н, км	Предпоследняя цифра курсантского билета	ρ, кг/м^3	P_o, МПа
0	$2{,}1\cdot10^3$	1,5	0	980	0,101
1	$2{,}3\cdot10^3$	2,0	1	970	0,105
2	$2{,}5\cdot10^3$	2,5	2	960	0,109
3	$2{,}7\cdot10^3$	3,0	3	1000	0,112
4	$2{,}9\cdot10^3$	3,5	4	1050	0,098
5	$1{,}9\cdot10^3$	4,0	5	1020	0,095
6	$2{,}0\cdot10^3$	4,5	6	990	0,091
7	$1{,}7\cdot10^3$	5,0	7	997	0,103
8	$1{,}5\cdot10^3$	5,5	8	1005	0,107
9	$1{,}3\cdot10^3$	0,5	9	1010	0,099

4. Определить, какой объем воды V м^3 нужно накачать при гидравлическом испытании трубопровода на давление Р МПа если его длина L м, внутренний диаметр d мм. Принять для воды $\beta=48\cdot10^{-11}$ Па$^{-1}$.

Исходные данные взять из таблицы №22.

Таблица №22

Последняя цифра курсантского билета	Р, 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.
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.

Практическое занятие №9 Уравнение Бернулли. Определение режима течения жидкости

Цель занятия:

Закрепление знаний по порядку определения режимов течения жидкости.

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 объёма 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 v мм^2/с для двух случаев: при расходе жидкости V_1 м^3/с и V_2 м^3/с.

Исходные данные взять из таблицы №23.

Таблица №23

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
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 v м^2/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	$v \cdot 10^6$ 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 №10 Определение напора и мощности насоса

Цель работы:

Закрепить знания по порядку определения напора и мощности насоса.

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 давление, 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* м^3/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
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 м^3/ч по трубопроводу общей длиной *L* м. При этом диаметр трубы d мм, высота всасывания $h_{вс}$ м, высота нагнетания $h_н$ м, коэффициент сопротивления трения 0,04, сумма коэффициентов местных сопротивлений равна 18. У шестерен *m* 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.

Таблица №28- Исходные данные

Последняя цифра курсантского билета	$h_{вс}$, м	$h_н$, м	d, мм	L, м	z, мм	Предпоследняя цифра курсантского билета	m	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

Документ управляется программными средствами 1С Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся 1С Колледж

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:

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

Документ управляется программными средствами 1С Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся 1С Колледж

Используемые источники литературы

1. Гидравлика: учебник и практикум для среднего профессионального образования / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, А.Г. Коваленко, И.В. Кудинов; под редакцией В.А. Ку динова. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. — 386 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-10336-6.

2. Кудинов, В.А. Техническая термодинамика и теплопередача: учебник для ву зов / В.А. Кудинов, Э.М. Карташов, Е.В. Стефанюк. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2023. - 454 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-06669-2.

3. Теплотехника: Техническая термодинамика и теплопередача: учебник / М.К. Овсянников, И.И. Костылев. - СПб.: Элмор, 2013. - 206 с. - ISBN 978-5-4469-0178-4.

4. Ерофеев В.Л., Пряхин А.С. Теплотехника в 2 т. Том. 1. Термодинамика и теория теплообмена. 2022.

5. Ерофеев В.Л., Пряхин А.С. Теплотехник. Практикум. 2022.

6. Гусев, А. А. Основы гидравлики: учебник для сред. проф. образования / А. А. Гусев. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Юрайт, 2017.

Документ управляется программными средствами 1С Колледж
Проверь актуальность версии по оригиналу, хранящемуся 1С Колледж