

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «МГТУ»)
«ММРК имени И.И. Месяцева» ФГБОУ ВО «МГТУ»



УТВЕРЖДАЮ
Начальник ММРК имени И.И. Месяцева
ФГБОУ ВО «МГТУ»

И.В. Артеменко

«29» мая 2021 года



**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ**

учебной дисциплины ОП.09 Техническая термодинамика и теплопередача
программы подготовки специалистов среднего звена (ППССЗ)
специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок
по программе базовой подготовки
Профиль технологический
Форма обучения очная, заочная

Мурманск
2021 г.

Рассмотрено и одобрено на заседании
Методическая комиссия преподавателей
дисциплин профессионального цикла
специальностей отделения судовой
энергетики.

Председатель МКо (МО/ ЦК)
Е.В. Колоянов

Разработано

на основе ФГОС СПО по специальности
26.02.05 Эксплуатация судовых
энергетических установок, утвержденного
приказом Министерства образования и науки
РФ от 26 ноября 2020 г. № 674 и
Международной конвенции о подготовке и
дипломированию моряков и несению вахты
1978 года и Кодекса по подготовке и
дипломированию моряков и несению вахты
(Кодекс ПДНВ-78) в редакции от 25 июня
2010 года (с учетом Манильских поправок) с
поправками в части выполнения требований
раздела А-III/1

Автор(ы) (составители): Лебедев О.В., преподаватель «ММРК имени И.И. Месяцева»
ФГБОУ ВО «МГТУ»

1. Пояснительная записка

1.1. Методические указания по практической работе по учебной дисциплине «Техническая термодинамика и теплопередача» составлена в соответствии ФГОС СПО по специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок базовой подготовки, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 26 ноября 2020 г. № 674 и Международной конвенции о подготовке и дипломированию моряков и несению вахты 1978 года и Кодекса по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты (Кодекс ПДНВ-78) в редакции от 25 июня 2010 года (с учетом Манильских поправок) с поправками в части выполнения требований раздела А-III/1; учебного плана очной и заочной форм обучения, утвержденного 28.05.2021 г.

1.2 Цели и задачи учебной дисциплины - требования к результатам освоения учебной дисциплины: обеспечить более высокий уровень подготовки обучающихся.

1.3.Требования к результатам освоения:

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен *уметь*:

У1 - выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей;

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен *знать*:

31 - общие законы статики и динамики жидкостей и газов,

32 - основные понятия теории теплообмена,

33 - законы термодинамики,

34 - характеристики топлив.

Процесс изучения дисциплины «Техническая термодинамика и теплопередача» направлен на формирование компетенций в соответствии с ФГОС СПО (табл. 1).

Таблица 1 - Компетенции, формируемые дисциплиной «Техническая термодинамика и теплопередача» в соответствии с ФГОС СПО

Код компетенции	Содержание компетенции	Требования к знаниям, умениям, практическому опыту
ОК 1.	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество.	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 3.	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность.	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 4	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития.	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 5	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.	У1, 31, 32, 33, 34

ОК 6.	Работать в коллективе и команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями.	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 7.	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), результат выполнения заданий.	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 8	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации.	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 9.	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности.	У1, 31, 32, 33, 34
ОК 10	Владеть письменной и устной коммуникацией на государственном и иностранном языке	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 1.1	Обеспечивать техническую эксплуатацию главных энергетических установок судна, вспомогательных механизмов и связанных с ними систем управления.	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 1.2	Осуществлять контроль выполнения национальных и международных требований по эксплуатации судна.	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 1.3	Выполнять техническое обслуживание и ремонт судового оборудования.	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 1.4	Осуществлять выбор оборудования, элементов и систем оборудования для замены в процессе эксплуатации судов.	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 1.5	Осуществлять эксплуатацию судовых технических средств в соответствии с установленными правилами и процедурами, обеспечивающими безопасность операций и отсутствие загрязнения окружающей среды.	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 3.1	Планировать работу структурного подразделения.	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 3.2	Руководить работой структурного подразделения.	У1, 31, 32, 33, 34
ПК 3.3	Анализировать процесс и результаты деятельности структурного подразделения.	У1, 31, 32, 33, 34

Практическое занятие № 1.

Тема: Измерение температуры и давлений с помощью приборов.

Цели работы:

1. Изучить устройство термометра.
2. Научиться пользоваться термометром.
3. Изучить виды давлений, применяемых в технике.
4. Изучить устройство механических приборов для измерения давлений: барометра, вакуумметра, манометра, мановакуумметра.
5. Научить оценивать состояние прибора для измерения давлений его пригодность в эксплуатации.
6. Изучить расположение приборов на насосной установке.
7. Научить правильно снимать показания при помощи приборов для измерения давлений

Оборудование:

1. Термометры – 3 шт.
2. Манометры – 4 шт.
3. Мановакуумметры – 4 шт.
4. Насосная установка с поршневым насосом – 1 шт.
5. Плакаты – 2 шт

Литература:

1. В. А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи» стр 3-19.
2. Конспект.
3. Методичка.

Теоретическое обоснование

В термодинамике и гидравлике основными параметрами рабочего тела являются параметры:

Температура, давление, удельный объем.

Температура измеряется термометрами, шкалы, которых могут быть выполнены в градусах Цельсия и Кельвина.

Температура - степень нагретости тела, которая характеризует среднюю скорость движения молекул.

Термометр состоит из колбочки, куда залита легко расширяющаяся жидкость (ртуть, подкрашенный спирт и другие жидкости). К колбочке припаяна стеклянная капиллярная трубочка, в которой расширяется жидкость. Капиллярная трубочка крепится к шкале, градуированной как правило в градусах Цельсия.

Пересчет в градусы оК идет по формуле

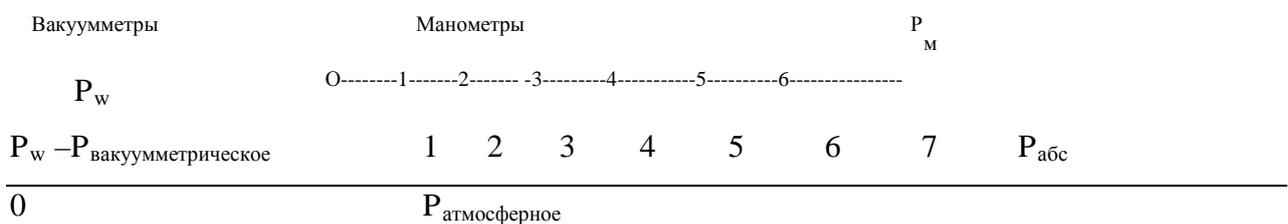
$$T = \text{°C} + 273\text{oK}$$

Корпус стеклянный, в котором размещены колба, капиллярная трубка, шкала, может быть закрыт пробкой или запаян.

Давление – сила удара молекул на площадь, расположенную перпендикулярно движению молекул

$$P = N|S \text{ (n/m}^2\text{) (Па) (КПа)(МПа)}$$

На практике приходится работать с сосудами, в которых давление может быть больше или меньше атмосферного, отобразим это на шкале давлений



$$T = -273 \text{°C}$$

$$1 \text{атм (физ)} = 101,325 \cdot 10^3 \text{Па}$$

Колебания атмосферного давления измеряются

барометрами

$$1 \text{атм} = 10^6 \text{ КПа}$$

$$1 \text{атм} = 10^9 \text{ КПа}$$

в мм Рт ст или Па

$$1 \text{атм (тех)} = 98.0665 \cdot 10^3 \text{Па}$$

$$1 \text{кгс /см}^2 = 98.0665 \cdot 10^3 \text{Па}$$

$$1 \text{бар} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$1 \text{атм} = 760 \text{ мм Рт ст}$$

$$1 \text{атм} = 10 \text{ м вод ст}$$

Содержание отчета

1. Дать определение температуре.

2. Вычертить схему термометра, указать на ней детали, единицы измерения, диапазон измерения температуры, снятые с образца термометра.
3. Вычертить шкалу сопоставления температурных шкал Цельсия и термодинамической Кузовлев В.А. (Рис2.4, стр 18)
4. Дать определение давлению
5. Вычертить шкалу давлений и указать на ней область названия приборов для измерения давлений.
6. Вычертить схему механического манометра и указать на ней детали.
7. По полученным приборам определить:
 - 7.1 название и назначение прибора
 - 7.2 единицы измерения давления
 - 7.3 диапазон измерения давления
 - 7.4 точность измерения давления
 - 7.5 класс точности прибора
 - 7.6 тип прибора: контрольный или бытовой
8. Определить пригодность полученных приборов к эксплуатации по критериям:
 - 8.1 Есть ли вмятины на корпусе?
 - 8.2 Разбито стекло
 - 8.3 Стоит стрелка прибора на 0
 - 8.4 Есть ли пломба
 - 8.5 Срок проверки приборов через 12 месяцев в лабораториях КИП. Ставится клеймо и проверки.
9. Вычертить схему насосной установки и указать прибор установленный на всасывающем трубопроводе и на нагнетательном

Вопросы для самоконтроля :

1. Дать определение температуре.
2. Определить температуру в градусах Кельвина, если температура в градусах Цельсия равна 27,55, 80
3. Рассказать ,какими приборами измеряются колебания атмосферного давления.?
4. Рассчитать вакуумметрическое давление в 80% в мм Рт ст.
5. Определить величину абсолютного давления, если величина манометрического составляет 0,5 МПа.

Практическая работа №2

Тема: Решение задач по применению законов идеальных газов и определение основных параметров состояния.

Цели работы:

Научиться :

1. Определять параметры идеального газа на основании законов Бойля – Мариота, Гейлюсака, Шарля.
2. Пользоваться уравнением состояния идеальных газов.
3. Пользоваться уравнением Менделеева.

Оборудование:

1. Плакаты
2. Задачи
3. В.А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи» стр 19 – 27
4. МикроЭВМ.

Содержание отчета.

Решение задач

Задача №1

В баллоне содержится кислород массой 3 кг при давлении 10 МПа и температуре 20 °С. Определить вместимость баллона.

Решение.

На основании уравнения $PV = m R_o T$

$$V = m R_o T / P = 3 \cdot 259,8 \cdot (20 + 273) / 10 \cdot 10^6 = 0,00228 \text{ (м}^3\text{)} = 22,8 \text{ л}$$

$R_o = 259,8$ (Дж/ кг*0К) Взято из приложения № 3

Задача №2

Определить массу воздуха, израсходованного на пуск дизеля в ход, если известно, что вместимость пускового баллона 200 литров, температура в машинном отделении (и воздуха в баллоне) 20 °С. Давление воздуха до пуска 2,26 МПа, после пуска 1,86 МПа.

Решение.

Определяем перепад давления, затраченный на пуск дизеля.

$$P_3 = P_1 - P_2 = 2,26 - 1,86 = 0,4 \text{ МПа}$$

На основании уравнения $P V = m R_o T$

$R_0 \text{ в} = 287,1 \text{ (Дж/ кг*0К)}$ Взято из приложения № 3

$$m = P_3 V / R_0 \text{ в} T = (0,4 * 0,2) 10^6 / 287,1 293 = 0,951 \text{ кг}$$

Задача № 3

По трубопроводу протекает азот при температуре $130 \text{ }^0\text{C}$ и давлении 300 кПа . Найти массовый расход азота, если объемный расход его $20 \text{ м}^3 / \text{мин}$.

Решение.

Из приложения № 3 находим $R_0 \text{ аз} = 296,8 \text{ (Дж/ кг*0К)}$

Из уравнения $PV = m R_0 T$ определяем массовый расход

$$M = PV / R_0 \text{ аз} T = 300 * 20 * 10^3 / 296,8 * 505 = 40 \text{ (кг/мин)}$$

Вопросы для самоконтроля :

1. Объяснить, с какой целью в термодинамику введено понятие идеальный газ?
2. Сформулировать закон Шарля.
3. Перечислить основные параметры идеального газа.
4. Объяснить закон Бойля – Мариота.
5. Объяснить, почему молярная газовая постоянная называется универсальной газовой постоянной?

Практическое занятие № 3

Тема: Определение теплоемкости с помощью формул и таблиц. Расчет количества теплоты.

Цели работы:

1. Изучить виды теплоемкостей и научиться их рассчитывать.
2. Научиться пользоваться «Таблицами истинных удельных теплоемкостей некоторых газов и водяных паров».
3. Научиться рассчитывать теплоемкость смесей.

Оборудование:

1. Плакаты
2. Задачи
3. В.А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи» стр 38 – 47, 318 – 319.
4. МикроЭВМ.

Содержание отчета.

Решение задач

Задача №1

Найти среднюю удельную теплоемкость азота при постоянном давлении при повышении его температуры от 400 до 600° С

Решение.

Искомую теплоемкость принимаем равной истинной удельной теплоемкости при средней арифметической температуре – t_{cp}

$$t_{cp} = (t_1 + t_2) / 2 = (400 + 600) / 2 = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

В приложении № 4 находим истинную удельную теплоемкость азота при

$$t_{cp} = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$C_p = 1,2414 \text{ (кДж/ кг } ^\circ\text{K)}$$

Это значение истинной удельной теплоемкости изобарной азота в интервале температур от 400 - 600° С.

Задача № 2

Найти среднюю молярную изобарную теплоемкость водяного пара при повышении температуры от 400 – 1600° С.

Решение.

1. Находим среднюю молярную изобарную теплоемкость можно по уравнению $C = C_m | M$

$$C_{p,m} = C_p M$$

Определяем молярную массу из приложения № 2

$$M_{\text{вод пара}} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/ моль}$$

2. Из приложения № 4 находим среднюю удельную изобарную теплоемкость водяного пара C_p , как истинную удельную изобарную теплоемкость водяного пара при средней температуре.

$$t_{cp} = (t_1 + t_2) / 2 = (400 + 1600) / 2 = 1000 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$C_p = 2,4794 \text{ (кДж/ кг } ^\circ\text{K)} = 2,5 \text{ (кДж/ кг } ^\circ\text{K)}$$

4. Определяем искомую среднюю молярную изобарную теплоемкость

$$C_{p,M} = C_p M_{\text{вод пара}} = 2,5 \cdot 18 = 45 \text{ кДж/(моль } \cdot\text{K)}$$

Задача № 3

Найти средние удельные изохорную и изобарную теплоемкость азота в интервале температур 2000 – 1000° С.

Решение.

1. Находим среднюю температуру

$$t_{cp} = (t_1 + t_2) / 2 = (2000 + 1000) / 2 = 1500 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2. Из приложения № 4 находим среднюю удельную изобарную и изохорную теплоемкость азота при $t_{cp} = 1500 \text{ } ^\circ\text{C}$.

$$C_p = 1,2694 \text{ кДж/(моль } \cdot \text{К)}$$

$$C_v = 0,9726 \text{ кДж/(моль } \cdot \text{К)}$$

Задача № 4

Состав отработанных газов двигателя внутреннего сгорания в молях следующий

$$n_{CO_2} = 74,8; \quad n_{H_2O} = 68; \quad n_{O_2} = 119; \quad n_{N_2} = 853$$

найти количество теплоты, выделенное газами при понижении их температуры от 360 до 40 $^\circ\text{C}$ при постоянном давлении.

Решение.

1. Определяем среднюю температуру процесса

$$t_{cp} = (t_1 + t_2) / 2 = (360 + 40) / 2 = 200 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2. Из приложения № 4 находим средние удельные изобарные теплоемкости:

$$CO_2 \quad C_p = 1,11 \text{ кДж/(моль } \cdot \text{К)} \quad M = 44 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$O_2 \quad C_p = 1,02 \text{ кДж/(моль } \cdot \text{К)} \quad M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$H_2O \quad C_p = 1,93 \text{ кДж/(моль } \cdot \text{К)} \quad M = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль};$$

$$N_2 \quad C_p = 1,09 \text{ кДж/(моль } \cdot \text{К)} \quad M = 28 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

3. Вычисляем значения молярных теплоемкостей компонентов

$$CO_2 \quad C_{pM} = 1,11 \cdot 44 \cdot 10^{-3} = 48,84 \text{ Дж/(моль } \cdot \text{К)}$$

$$O_2 \quad C_{pM} = 1,02 \cdot 32 \cdot 10^{-3} = 32,64 \text{ Дж/(моль } \cdot \text{К)}$$

$$N_2 \quad C_{pM} = 1,09 \cdot 28 \cdot 10^{-3} = 30,52 \text{ Дж/(моль } \cdot \text{К)}$$

4. Определяем количество теплоты, выделенное этими газами при понижении температуры

$$Q = (n_{CO_2} C_{pM} + n_{H_2O} C_{pM} + n_{N_2} C_{pM} + n_{N_2} C_{pM}) (t_1 - t_2)$$

$$Q = (74,8 \cdot 1,11 \cdot 44 \cdot 10^{-3} + 68 \cdot 1,02 \cdot 32 \cdot 10^{-3} + 119 \cdot 1,93 \cdot 18 \cdot 10^{-3} + 853 \cdot 1,09 \cdot 28 \cdot 10^{-3}) (360 - 40) = (3653,22 + 2219,52 + 4134,06 + 26053,56) \cdot 320 \cdot 10^{-3} = 11,53 \text{ МДж}$$

Контрольные вопросы:

1. Назвать, от каких параметров зависит значение теплоемкости паров и идеальных газов?
2. Расскажите, как молярную теплоемкость газа по его удельной теплоемкости?
3. Расскажите, как определить среднюю теплоемкость с помощью таблиц?

4. Рассчитайте, во сколько раз молярная теплоемкость кислорода больше его удельной теплоемкости.
5. Найти связь между удельной молярной теплоемкостью.

Практическая работа №4

Тема: Расчет адиабатного и политропного процессов.

Цели работы:

1. Изучить термодинамические процессы с точки зрения первого закона термодинамики.
 2. Изучить особенности политропного процесса.
 3. Научиться работать с термодинамическими таблицами.
 4. Научиться рассчитывать термодинамические процессы и изображать их в координатах PV и TS .

Оборудование: 1. Плакаты

2. Задачи
3. В.А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи» стр 58 – 82
4. МикроЭВМ.

Содержание отчета.

Решение задач

Задача №1

В баллоне объемом 15 литров содержится воздух под давлением $P = 0.5$ МПа, при температуре $t_1 = 30$ °С. Какова температура воздуха в результате подвода к нему 16 кДж теплоты?

Найти температуру воздуха в конце подвода тепла t_2

Решение

1. Вычерчиваем схему баллона и наносим на нее данные.
2. Определяем вид термодинамического процесса – изохорный.
3. Из приложения №4 (стр 318) определяем изохорную теплоемкость воздуха

$$c_v = 717 \text{ Дж / кг } \cdot \text{ }^\circ\text{K}$$

4. Из уравнения состояния идеальных газов определяем массу воздуха, содержащуюся в баллоне

$$PV = m R_v T \quad m = PV / R_v T$$

R_v – удельная газовая постоянная для воздуха выбирается из приложения №3 (стр 318)

$$R_v = 287,1 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

$$m = PV / R_v T = 0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,015 / 287,1 \cdot 303 = 0,071 \text{ кг}$$

4. Из уравнения средней теплоемкости определим t_2

$$Q_{1-2} = m c_v (t_2 - t_1) \text{ (Вт)}$$

$$t_2 = t_1 + Q_{1-2} / m c_v = (273 + 30) + 16 / 0,071 \cdot 717 = 344 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ответ: $t_2 = 344 \text{ }^\circ\text{C}$

Задача 2

В цилиндре дизеля находится воздух при $t = 550^\circ\text{C}$. Определить конечную температуру, удельную работу, сообщенную теплоту, изменение внутренней энергии, если при $P = \text{const}$ объем воздуха удваивается.

Решение.

Термодинамическая температура воздуха

$T_1 = 273 + t_1$, $T_1 = 273 + 550 = 823 \text{ К}$. В цилиндре двигателя происходит изобарный процесс.

По условию имеем:

$$V_2 = 2V_1,$$

Температура воздуха в конце изобарного процесса

$T_2 = T_1 V_2 / V_1 = T_1 (2V_1) / V_1 = 2T_1$, $T_2 = 2 \cdot 823 = 1646 \text{ К}$. Удельная газовая постоянная воздуха

$R_0 = 0,287 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$. Удельная работа изменения объема

$l = R_0 (T_2 - T_1) = 0,287 \cdot (1646 - 823) = 236,2 \text{ Дж/кг}$. Средняя температура в данном процессе

$T_{\text{ср}} = (T_1 + T_2) / 2$, $T_{\text{ср}} = (823 + 1646) / 2 = 1235 \text{ К}$. При этой температуре воздуха ([1], прил. 4)

- средняя удельная изобарная теплоемкость

$$c_p = 1,1587 \text{ кДж/}(\text{кг} \cdot \text{К});$$

- средняя удельная изохорная теплоемкость

$$c_v = 0,8715 \text{ кДж/}(\text{кг} \cdot \text{К}).$$

Удельная теплота, сообщенная воздуху в процессе расширения

$$q = C_p(T_2 - T_1),$$

$$q = 1,1587(1646 - 823) = 953,6 \text{ кДж/кг.}$$

Изменение внутренней энергии

$$u = c_v(T_2 - T_1), u = 0,8715(1646 - 823) = 717,2 \text{ кДж/кг.}$$

Ответ: $T_2 = 1646 \text{ K}$; $I = 236,2 \text{ кДж/кг}$;

$$q = 953,6 \text{ кДж/кг}; \quad u = 717,2 \text{ кДж/кг.}$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислить термодинамические процессы.
2. Сформулировать первый закон термодинамики
3. Дать определение изобарному процессу и указать на что идет подведенное тепло?
4. Дать определение изотермическому процессу и указать на что идет подведенное тепло?
5. Дать определение изохорному процессу и указать на что идет подведенное тепло?
6. Дать определение адиабатному процессу и указать как идет процесс?
7. Записать уравнение политропного процесса.
8. Объяснить, как меняется коэффициент политропы n

Практическая работа № 5.

Тема: Построение теоретического цикла паровой холодильной машины. Расчет цикла.

Практическое занятие № 5.

Тема: Решение задач на расчет прямого и обратного цикла Карно.

Цели работы:

1. Изучение круговых циклов тепловых машин
2. Изучение прямого цикла Карно
3. Изучение обратного цикла Карно

Оборудование:

1. Задачи
2. В.А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи»

Стр83 -96

3. МикроЭВМ

Задача № 1

Определить КПД прямого цикла Карно для теплового двигателя, если температура теплоотдатчика 300°C , а теплоприемника 30°C .

Решение.

$$\eta_t = T_2 / (T_1 - T_2)$$

$$\eta_t = 1 - T_2 / T_1 = 1 - (30 + 273) / (300 + 273) = 0,527 = 52,7 \%$$

Задача № 2

Определить холодильный КПД холодильной машины, работающей по обратному циклу Карно, если температура теплоотдатчика 300°C , а теплоприемника 30°C .

Решение.

$$\epsilon = T_2 / (T_1 - T_2) = 303 / 270 = 1,122$$

Задача № 3

Исследовать цикл Карно, совершаемый азотом, если параметры точки 1 имеют следующие значения: $P_1 = 2 \text{ МПа}$ и $T_1 = 600^{\circ}\text{K}$, а параметры в точке 3: $P_3 = 120 \text{ кПа}$, $T_3 = 300^{\circ}\text{K}$

Решение.

1. Вычерчиваем цикл Карно в координатах $P - V$ и наносим характерные точки.
2. Определяем параметры в точке 1

$$P_1 = 2 \text{ МПа,}$$

$$T_1 = 600^{\circ}\text{K}$$

Удельный объем азота определяем по уравнению состояния

$$\nu_1 = R_0 T_1 / P_1 = 296,8 * 600 / 2 * 10^6 = 0,083 (\text{ м}^3 / \text{кг})$$

3. Точки 2 и 3, принадлежащих адиабате 2-3

$$T_2 = 600^{\circ}\text{K}$$

$$P_3 = 120 \text{ кПа}$$

$$T_3 = 300^{\circ}\text{K}$$

Удельный объем находим из уравнения состояния ν_3

$$\nu_3 = R_o T_3 / P_3 = 296,8 * 300 / 120 * 10^3 = 0,742 (\text{ м}^3 / \text{ кг})$$

Из уравнения адиабаты 2-3 находим ν_2

$$\nu_2 = \nu_3 (T_3 / T_2)^{1/\kappa - 1} = 0,742 (300 / 600)^{1/0,4} = 0,132 (\text{ м}^3 / \text{ кг})$$

По уравнению изотермы 1-2 находим P_2

$$P_1 / P_2 = \nu_2 / \nu_1 \quad P_2 = P_1 (\nu_1 / \nu_2)$$

$$P_2 = 2 * 10^6 (0,083 / 0,132) = 1,257 \text{ МПа}$$

4. Точка 4

$$T_4 = 300^\circ \text{ К}$$

$$\text{Так как } \nu_2 / \nu_1 = \nu_3 / \nu_4$$

$$\nu_4 = \nu_3 (\nu_1 / \nu_2)$$

$$\nu_4 = 0,742 (0,083 / 0,132) = 0,466 (\text{ м}^3 / \text{ кг})$$

По уравнению состояния находим P_4

$$P_4 = R_o T_4 / \nu_4 \quad P_4 = 296,8 * 600 / 0,466 = 191 \text{ кПа}$$

5. Определяем удельную работу цикла.

Находим предварительно значение удельных работ изменения объема на отдельных участках цикла.

5.1 по изотерме расширения 1-2.

$$L_{1-2} = 2,3 R_o T_1 \lg (\nu_2 / \nu_1) = 2,3 * 296,8 * 600 \lg (0,132 / 0,083) = 74,9 \text{ (кДж/кг)}$$

5.2 по адиабате расширения 2-3

$$L_{2-3} = R_o / \kappa - 1 (T_2 - T_3) = 296,8 / 0,4 * 300 = 222,3 \text{ (кДж/кг)}$$

5.3 по изотерме сжатия 3-4

$$L_{3-4} = 2,3 R_o T_3 \lg (\nu_3 / \nu_4) = 2,3 * 296,8 * 300 \lg (0,742 / 0,466) = 32,5 \text{ (кДж/кг)}$$

5.4 по адиабате сжатия 4 - 1

$$L_{4-1} = R_o / \kappa - 1 (T_1 - T_4) = 296,8 / 0,4 * 300 = 222,3 \text{ (кДж/кг)}$$

Удельная работа цикла

$$L_o = L_{1-2} + L_{2-3} - L_{3-4} - L_{4-1} = 74,9 + 222,3 - 32,5 - 222,3 = 42,4 \text{ (кДж/кг)}$$

6. Термический КПД цикла Карно

$$\eta_t = 1 - T_3 / T_1 = 1 - 300/600 = 0,5 = 50\%$$

Задача №4

Температура океанской воды в тропиках на глубине 1000 м равна 5°C , а на поверхности 35°C . Найти термический КПД теплового двигателя, если он работает по циклу Карно в указанном интервале температур.

$$\eta_t = 1 - T_2 / T_1 = 1 - 278/396 = 0,099 = 9,9\%$$

Вопросы для самоконтроля:

1. Объяснить, какие процессы взял Карно для построения своего цикла?
2. Рассказать на что расходуется подведенное тепло в изотермическом процессе.
3. Записать формулу КПД прямого цикла Карно.
4. Записать формулу КПД обратного цикла Карно.
5. Объяснить, какие значения может иметь КПД обратного цикла Карно?

Практическое занятие № 6

Тема: Расчет термодинамических процессов в компрессорных машинах.

Цели работы:

1. Изучить устройство и принцип действия идеального одноступенчатого поршневого компрессора и рассчитывать его параметры.
2. Изучить устройство и принцип действия идеального многоступенчатого поршневого компрессора и рассчитывать его параметры
3. Изучить устройство и принцип действия реального двухступенчатого поршневого компрессора и рассчитывать его параметры
4. Изучить подготовку и пуск реального двухступенчатого поршневого компрессора .

Оборудование:

1. Модель воздушного компрессора
2. Плакаты.
3. Задача
4. Справочник по воздушным компрессорам
5. МикроЭВМ
6. В.А.Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи».

Решение задачи

Задача: Вычертить схему получения и хранения сжатого воздуха с давлением 3МПа , если температура наружного воздуха 20 ° С, давление 0,1МПа , сжатие идет по политропе $n = 1,2$, расход воздуха 0,05м³ / с

Решение

1. Вычерчиваем схему получения и хранения сжатого воздуха

2. Определяем степень повышения давления

$$\epsilon = P_2 / P_1 = 3/0,1 = 5,4$$

3. Определяем давление в конце сжатия в цилиндре низкого давления

$$P_2^1 = \epsilon * P_1 = 5,4 * 0,1 = 0,54 \text{ (МПа)}$$

4. Определяем температуру в конце сжатия в цилиндре низкого давления

5. Определяем температуру в конце сжатия в цилиндре низкого давления

$$T_2^1 = T_1 * \epsilon^{-1/n} = 293^{0,2/1,2} = 380,9 \text{ }^\circ \text{ K} = 107,9^\circ \text{ C}$$

6. Определяем величину давления в начале сжатия в цилиндре высокого давления

$$P_3 = P_2^1 = 0,54 \text{ (МПа)}$$

7. Определяем температуру в начале сжатия в цилиндре высокого давления

$$T_3 = T_2^1 = 380,9 \text{ }^\circ \text{ K} = 107,9^\circ \text{ C}$$

8. Определяем величину давления в конце сжатия в цилиндре высокого давления

$$P_4 = \epsilon * P_3 = 5,4 * 0,54 = 2,96 \text{ (МПа)}$$

9. Определяем температуру в конце сжатия в цилиндре высокого давления

$$T_4 = T_3 * \epsilon^{-1/n} = 380,9 * 1,3 = 432 \text{ }^\circ \text{ K} = 211^\circ \text{ C}$$

10. Определяем мощность, затраченную. На сжатие воздуха в ступене низкого давления

$$N = P_1 V_t (P_2^1 / P_1)^{n-1/n} - 1) n-1/n - 0,1 * 10^6 * 0,05(5,4^{0,2/1,2} - 1) * 6 = 5,6 \text{ кВт}$$

11. Мощность, затраченная на привод компрессора

$$N_k = 2 N = 11,2 \text{ кВт}$$

12. Расчетные параметры сжатого воздуха нанести на схему.

Контрольные вопросы:

1. Дать определение степени повышения давления.

2. Объяснить, почему ограничивается степень повышения давления в воздушных компрессорах?

3. Назвать состав воздуха.

4. Объяснить, что такое гремучая смесь и от чего будет зависеть ее воспламенение?
5. Рассказать для какой цели за каждой ступенью компрессора ставятся воздушные холодильники?
6. Объяснить, как работает водомаслоотделитель?

Практическое занятия №. 7 и № 8

Тема: Расчет термодинамического цикла ДВС с изохорным подводом теплоты.

Расчет параметров в точках процесса.

Цели работы:

1. Изучить устройство и схему работы 4 – х тактного ДВС.
2. Научиться строить циклы с изохорным подводом тепла на $P - S$ и $T - S$ диаграммах.
3. Научиться рассчитывать параметры в точках цикла.
4. Научиться рассчитывать работу цикла.

Оборудование:

1. Модель 4 – х тактного ДВС.
2. Плакаты.
3. МикроЭВМ
4. В.А. Кузовлев стр 127 – 137

Содержание отчета:

1. Кратко описать устройство и схему работы 4 – х тактного ДВС.
Вычертить 4 такта ДВС с указанием положения поршня и клапанов.
2. Изобразить схему работы 4 – х тактного ДВС в координатах $P - V$ и $T - S$ и подписать процессы.
3. Задача: Исследовать цикл мотоциклетного двигателя с изохорным подводом теплоты, если дано: $P_a = 0,1 \text{ МПа}$, $t_a = 100^\circ \text{ C}$, $V_c = V_{\text{кв}} = 1,5$ литра. $\epsilon = 6$,
 $\lambda = 1,8$, $\kappa = 1,4$, рабочее тело воздух.

Определить:

1. Параметры рабочего тела в характерных точках,
2. Работу цикла и кпд.

Решение:

Определяем параметры в характерных точках;

Точка т. «а»:

1. Подсчитываем объем в т. «а»

$$1.1 \quad \lambda = V_a / V_c = 6 \quad V_a = 6 * 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,009 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$1.2 \quad T_a = 273 + 100^\circ\text{C} = 373 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$1.3 \quad P_a = 0,1 \text{ МПа}$$

Точка т. «с»:

$$2.1 \quad P_c = P_a * \epsilon^\kappa = 0,1 * 6^{1,4} = 1,1 \text{ МПа}$$

$$2.2 \quad T_c = T_a \epsilon^{\kappa-1} = 373 * 6^{0,4} = 720 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$2.3 \quad V_c = 1,5 \text{ л} = 0,0015 \text{ (м}^3\text{)}$$

3. Точка т. «z»:

$$3.1 \quad \lambda = P_z / P_c = 1,8 \quad P_z = \lambda P_c = 1,8 * 1,1 = 1,98 \text{ (МПа)}$$

$$3.2 \quad T_z = T_c \lambda = 720 * 1,8 = 1296 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$3.3 \quad V_z = V_c = 0,0015 \text{ (м}^3\text{)}$$

4. Точка т. «б»:

$$4.1 \quad V_b = V_a = 0,009 \text{ (м}^3\text{)}$$

$$4.2 \quad P_b = P_z / \epsilon^\kappa = 1,98 / 6^{1,4} = 0,14 \text{ (МПа)}$$

$$4.3 \quad T_b = T_a \quad P_b / P_a = 373 \cdot 0,14 / 0,1 = 373 * 1,4 = 522,2 \text{ }^\circ\text{K}$$

Расчетные параметры точек нанести на диаграмму P – V

Определяем работу цикла:

Работа цикла

$$L_o = L_{z-b} - L_{a-c}$$

$$\begin{aligned} L_{z-b} &= P_z V_z - P_b V_b / \kappa - 1 = 1,98 \cdot 10^6 * 0,0015 - 0,14 \cdot 10^6 * 0,009 / 0,4 = \\ &= 0,004275 * 10^6 = 4275 \text{ Дж} = 4,275 \text{ (КДж)} \end{aligned}$$

$$L_{a-c} = P_c V_c - P_a V_a / \kappa - 1 = 1,110^6 * 0,0015 - 0,1 \cdot 10^6 * 0,009 / 0,4 = 1,875 \text{ (КДж)}$$

$$L_o = L_{z-b} - L_{a-c} = 4,275 - 1,875 = 2,4 \text{ (КДж)}$$

$$\text{Термический КПД цикла } \mathcal{E}_t = 1 - 1 / \epsilon^{\kappa-1} = 1 - 0,476 = 0,52 = 52\%$$

Практическое занятие №. 9

Тема: Определение параметров воды и водяного пара по таблицам и диаграммам

Цели работы:

1. Изучить таблицы водяных паров.
2. Научиться пользоваться диаграммами водяных паров.

Оборудование:

1. Таблицы водяных паров.
 2. Диаграмма водяных паров $h-S$
3. В.А.Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи».
Стр 156 - 170

Ход выполнения работы:

1. Приложение №5, Стр 320 , Параметры насыщенного водяного пара по давлениям
выбираем параметры пара по заданному давлению.

Задача № 1

Давление насыщенного пара составляет 0.2 МПа.

Определить параметры насыщенного пара и записать их величины, дать определение параметрам, параметры насыщенного пара приводятся на Стр157 – 162.

Решение

Насыщенный пар при $P = 0.2$ МПа имеет следующие параметры:

$$t_s = 60.08 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$v^1 = 0,0010171 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$v^{11} = 7,647 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$p = 0.1308 \text{ кг/ м}^3$$

$$h^1 = 251,4 \text{ кДж/ кг}$$

$$h^{11} = 2609 \text{ кДж/ кг}$$

$$r = 2358 \text{ кДж/ кг}$$

$$s^1 = 0,8321 \text{ кДж/(кг К)}$$

$$s^{11} = 7.830 \text{ кДж/(кг К)}$$

Определение параметров перегретого пара.

Перегретый пар определяется двумя параметрами: давлением и температурой перегрева и его параметры приводятся в приложении № 6,

Стр 322

Задача № 2

Определить параметры перегретого пара под давлением 0,2 МПа
и температурой 200оС

Решение

По приложению № 6 по $P = 0,2$ МПа и $t = 200$ оС, определяем параметры:

$$v = 10,905 \text{ м}^3/\text{кг}$$

$$h = 2879 \text{ кДж/ кг}$$

$$s = 8,576 \text{ кДж/(кг К)}$$

Задача № 3

1. По диаграмме водяных паров $h - S$ определить параметры:

1.1 Для насыщенного пара $P = 0,2$ МПа

1.2 Для сухого пара $P = 0,2$ МПа

1.3 Для перегретого пара $P = 2$ МПа и $t = 200$ оС

Практическое занятие №. 8

Тема: Решение задач на расчет теоретического цикла Ренкина

Цели работы:

1. Изучить состав элементов теоретического цикла Ренкина.
2. Научиться строить цикл Ренкина в координатах $P - V$ и $T - S$.
3. Научиться пользоваться диаграммой водяных паров для определения параметров водяного пара.
4. Научиться решать задачи на цикл Ренкина.

Оборудование:

7. Задачи

8. В.А. Кузовлев «Техническая термодинамика и основы теплопередачи»

Стр 205 – 235.

3. МикроЭВМ

Содержание отчета:

Решение задач.

Задача № 1

Найти удельный расход водяного пара и термический КПД идеального парового двигателя, работающего по циклу Карно, если начальные параметры пара $P_1 = 2$ МПа, $X = 0.9$, а давление в конденсаторе $P_2 = 20$ кПа.

Решение.

1. Вычерчиваем схему идеальной паросиловой установки и подписываем ее элементы.
2. Строим цикл Ренкина в координатах $P - V$ и $T - S$ и подписываем элементы в которых происходят процессы.
3. Для нахождения удельного расхода пара и термического КПД на h_s диаграмме водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии h_t . Для этого находим на h_s диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары $P_1 = 2$ МПа $X = 0.9$ находим $h_1 = 2799$
4. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой $P_2 = 20$ кПа = 0,02 МПа получаем точку 2.

В этой точке 2 $h_2 = 1980$ кДж/кг

5. Находим, что $h_t = h_1 - h_2 = 2799 - 1980 = 819$

6. Удельная работа равна циклу Ренкина равна h_t

$L_0 = h_t = 819$ (кДж/кг)

7. Удельная работа пара в кВт*ч/кг $L_{01} = L_0 / 3.6 * 10^6$ Дж

$L_{01} = 819 / 3.6 * 10^6 = 0.2275$ (кВт*ч/кг)

8. Определяем удельный расход пара, величина обратная удельной работе

$d_0 = 1 / L_0 = 1 / 819 = 0.00122$ (кг/Дж)

$d_0 = 1 / L_{01} = 1 / 0.2275 = 4.395$ (кг/Дж)

9. Для вычисления \mathcal{E}_t найдем в приложении № 5 удельную энтальпию воды h_{2-1} при $P_1 = 0.02$ МПа и температуре кипения t_{2s} $h_{2-1} = 251.4$ Дж/кг

$\mathcal{E}_t = h_t / (h_1 - h_{2-1}) = 819 / (2799 - 251.4) = 0.307$

Задача № 2

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина с массовым расходом пара 2660 кг/ч. Пар поступает в машину с сухим с $P_1 = 2$ МПа и расширяется адиабатно до $P_2 = 20$ кПа = 0,02 МПа.

Найти \mathcal{E}_t Расход пара на 1кВт * ч и мощность машины.

Решение.

1. Вычерчиваем схему идеальной паросиловой установки и подписываем ее элементы.

10. Строим цикл Ренкина в координатах $P - V$ и $T - S$ и подписываем элементы в которых происходят процессы.

11. Для нахождения удельного расхода пара и термического кпд на h_s диаграмме водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии h_t . Для этого находим на h_s диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары $P_1 = 2$ МПа и $X = 1$, находим $h_1 = 2799$ кДж/кг

12. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой $P_2 = 20$ кПа = 0,02 МПа получаем точку 2.

В этой точке 2 $h_2 = 1980$ (кДж/кг)

13. Находим, что $h_t = h_1 - h_2 = 2799 - 1980 = 819$ (кДж/кг)

14. Удельная работа равна цикла Ренкина равна h_t

$L_0 = h_t = 819$ (кДж/ кг)

15. Удельная работа пара в кВт*ч/кг $L_{01} = L_0 / 3.6 * 10^6$ Дж
 $L_{01} = L_0 / 3.6 * 10^6 = 819 / 3.6 * 10^6 = 0,227$ (кВт*ч/кг)

16. Определяем удельный расход пара, величина обратная удельной работе

$d_0 = 1 / L_0 = 1 / 819 = 1,22 * 10^{-3}$ (кг/Дж)

$d_{01} = 1 / L_{01} = 1 / 0,227 = 4,4$ кг/ (кВт *ч)

.Определяем термический кпд

$$\mathcal{E}_t = h_t / h_1 - h_{2-1} = 819 / 2799 - 251,4 = 0.3214 \quad (32\%)$$

17. Определяем мощность паровой машины

$N =$

Задача № 3

Паросиловая установка работает по циклу Ренкина сухим насыщенным паром в пределах давлений $P_1 = 1.6$ МПа, $P_2 = 0,12$ МПа. Для повышения экономичности был введён перегрев пара до 320 °С с сохранением прежних давлений. Сравнить термические КПД.

Решение.

1. На диаграмме h_s водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии h_t . Для этого находим на h_s диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары $P_1 = 1.6$ МПа и $X = 1$, находим $h_1 =$ (кДж/кг)

2. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой $P_2 = 0,12$ МПа получаем точку 2.

В этой точке 2 $h_2 =$ (кДж/кг)

18. Находим, что $h_t = h_1 - h_2 =$

4. Для вычисления \mathcal{E}_t найдем в приложении № 5 удельную энтальпию воды h_{2-1} при $P_1 = 0,12$ МПа и температуре кипения t_{2s} $h_{2-1} = 231,7$ Дж/кг

Определяем $\mathcal{E}_{t-1} = h_t / h_1 - h_{2-1} =$

1. На диаграмме h_s водяного пара устанавливаем адиабатный перепад удельной энтальпии h_{t-2} . Для этого находим на h_s диаграмме водяного пара точку 1 на линии пересечения изобары $P_1 = 1.6$ МПа и $11:19 t = 320$ °С находим $h_1 =$ (кДж/кг)

2. Проведя из этой точки линию параллельную оси ординат, в пересечении с изобарой $P_2 = 0,12$ МПа получаем точку 2.

В этой точке 2 $h_2 =$ (кДж/кг)

5. Находим, что $h_{t-2} = h_1 - h_2 =$

6. Определяем $\mathcal{E}_{t-2} = h_{t-2} / h_1 - h_{2-1} =$

Задача № 4

К паросиловой установке, работающей по циклу Ренкина с параметрами

$P_1 = 2,5$ МПа и $11:19 t = 360$ °С, присоединен конденсатор. В котором поддерживается вакуум 60%. Найти параметры отработанного пара x_2 , $11:19 t_2$, v_2 и подсчитать относительную экономию по сравнению с работой при $P_2 = 0.11$ МПа

Практическое занятие №. 10

Тема: Расчет обратного цикла Карно для одноступенчатой идеальной холодильной установки.

Цели работы:

1. Изучить свойства хладагентов: аммиака и фреона.
2. Изучить состав одноступенчатой идеальной холодильной установки.
3. Научиться строить обратный цикл Карно на диаграмме $P - h$ для аммиака.
4. Определять параметры аммиака в характерных точках.

Оборудование:

1. Плакаты.
2. Диаграмма $P - h$ для аммиака
3. Задача.
4. МикроЭВМ

Теоретическое обоснование:

Хладагенты – жидкости, кипящие при низких температурах; аммиак и фреон, наиболее распространенные в промышленности.

Аммиак – бесцветный газ, легче воздуха, обладающий удушливыми свойствами, воздействует на слизистые оболочки дыхательных путей и глаз.

При концентрации аммиака в воздухе 16 – 25 % образуется гремучая смесь, что увеличивает пожароопасность.

Аммиак в присутствии воды корродирует цинк, медь и другие сплавы, поэтому все элементы холодильной установки делают из черных металлов.

Аммиак не разрушает озоновый слой атмосферы.

Фреон – газ без цвета и запаха, тяжелее воздуха, скапливается внизу, при больших концентрациях является ядом и приводит к смерти.

Фреон не реагирует с цветными металлами, обладает большей холодопроизводительностью, чем аммиак, обладает большой текучестью – способностью проникать через малейшие не плотности, даже через поры чугуна.

Отсутствие запаха и цвета затрудняет обнаружение утечек.

Фреон разрушает озоновый слой атмосферы, поэтому согласно международной конвенции к 2024г будет полностью заменен на другие хладагенты.

Задача:

Построить цикл Карно для одноступенчатой идеальной холодильной установки, работающей на аммиаке, если температура кипения – 20°C , температура конденсации $+30^{\circ} \text{C}$, Построение произвести на диаграмме $P - h$ для аммиака, определить параметры аммиака в характерных точках, термический КПД цикла.

Решение:

1. Вычерчиваем схему одноступенчатой идеальной холодильной установки,
2. Расставляем характерные точки и подписываем элементы схемы.
3. Разбираемся с диаграммой $P - h$ для аммиака, находим пограничные кривые, определяем зоны жидкости, насыщенного пара, сухого пара, перегретого пара.
4. На диаграмме $P - h$ находим температура кипения аммиак $- 20^{\circ} C$ и проводим прямую параллельную оси ординат до пересечения с линией сухого пара, точка 2. Процесс происходит в испарителе, изотерма совпадает с изобарой, происходит отвод тепла от горячего источника к холодному, при этом насыщенный пар превратился в сухой и отсасывается компрессором и нагнетается в конденсатор, точка 3. Процесс 3 – 4 происходит в конденсаторе, где тепло, отобранное аммиаком от холодного источника и полученное в компрессоре в результате сжатия отдается прокачиваемой воде и аммиак из газообразного состояния превращается в жидкость точка 4.

На диаграмме $P - h$ находим температура конденсации аммиака $+30^{\circ} C$ и проводим прямую параллельную оси ординат до пересечения с линией сухого пара,

Из точки 4 проводим перпендикуляр на линию кипения аммиака, получаем точку 1, входа аммиака в испаритель.

Процесс 4 – 1 происходит в ТРВ и сопровождается падением давления и жидкий аммиак получается перегретым относительно нового давления и кипит.

5. Определяем параметры в точках.

Точка 1 $P_1 = 2 \text{ Bar}, T_1 = - 20^{\circ} C, X_1 = 1, V_1 = 0,7 \text{ м}^3 / \text{кг}$

$$S_1 = 0,23 \text{ Дж}/^{\circ} \text{ K} * \text{кг}, I_1 = 340 \text{ Дж}/ \text{кг}.$$

Точка 2 $P_2 = 2 \text{ Bar}, T_2 = - 20^{\circ} C, X_2 = 0,22, V_2 = 0,1 \text{ м}^3 / \text{кг}$

$$S_2 = 6,5 \text{ Дж}/^{\circ} \text{ K} * \text{кг}, I_2 = 1450 \text{ Дж}/ \text{кг}.$$

Точка 3. $P_3 = 12 \text{ Bar}, T_3 = +30^{\circ} C, X_3 = 0,98, V_3 = 0,15 \text{ м}^3 / \text{кг}$

$$S_3 = 6,5 \text{ Дж}/^{\circ} \text{ K} * \text{кг}, I_3 = 1450 \text{ Дж}/ \text{кг}.$$

Точка 4 $P_4 = 12 \text{ Bar}, T_4 = +30^{\circ} C, X_4 = 0,25, V_4 = 0.006 \text{ м}^3 / \text{кг}$

$$S_4 = 0,23 \text{ Дж/}^\circ \text{ К*кг}, I_4 = 340 \text{ Дж/ кг}.$$

Точка 5

$$P_5 = 2 \text{ Bar}, T_5 = -20^\circ \text{ C}, X_5 = 0,008, V_5 = 0,01 \text{ м}^3 / \text{кг}$$

$$S_5 = 0,7 \text{ Дж/}^\circ \text{ К*кг}, I_5 = 140 \text{ Дж/ кг}$$

6. Параметры аммиака в характерных точках наносим на схему одноступенчатой идеальной холодильной установки.
7. Определяем термический КПД
8. $\mathcal{E}_x = 1 / (T_1 / T_2 - 1) = 1 / (303 / 253 - 1) = 1 / 0,197 = 5,07$

Вопросы для самоконтроля:

1. Объяснить свойства аммиака.
2. Рассказать о процессах, протекающих в испарителе.
3. Объяснить, где заканчивается процесс отвода тепла в испарителе на диаграмме $P - h$?
5. Определить параметры аммиака в точке 3.
6. Рассказать о процессах, протекающих в конденсаторе.
7. Объяснить процессы, протекающие в ТРВ.
8. Рассказать, что представляет собой холодильный КПД?

Практическое занятие №. 11

Тема: Расчет передачи тепла через многослойную стенку.

Цели работы:

1. Изучить процесс передачи тепла через многослойную стенку теплопроводностью.
2. Изучить процесс передачи тепла через многослойную стенку теплопередачей.

Оборудование:

1. Плакаты.
2. Задачи.

3. МикроЭВМ

Теоретическое обоснование:

Теплообменом называется процесс переноса теплоты в пространстве и передаче ее от одних тел к другим.

Различают три способа переноса теплоты в пространстве: теплопроводностью, конвекцией и излучением. И два способа теплообмена между телами - конвективный и лучистый.

Теплопроводность

Перенос теплоты теплопроводностью происходит в основном в твердых телах, так как теплопроводность жидкостей не велика.

Теплопроводность рассматривается как самостоятельный процесс, который может протекать только в твердых телах. Обязательным условием процесса передачи теплоты теплопроводностью является разность температур поверхностей стенки, при этом образуется поток теплоты, направленный от поверхности стенки с большей температурой к поверхности стенки с меньшей температурой.

По основному закону коэффициент теплопроводности и – закону Фурье – тепловой поток прямо пропорционален площади поверхности, разности температур на обеих ее поверхностях и обратно пропорционален толщине стенки.

$$\Phi = \lambda S (t_{1cn} - t_{2cn}) / \delta \text{ (Вт)}$$

λ - коэффициент теплопроводности характеризует способность тел проводить тепло и зависит от природы тела, его относительной влажности и пористости. Влага, заполняя поры тела, увеличивает его теплопроводность, а пористость тела наоборот, уменьшает ее. Чем пористее тело, тем больше в нем содержится воздуха, а теплопроводность воздуха в 20 – 25 раз меньше теплопроводности воды.

На коэффициент теплопроводности влияет температура тела, чем она выше, тем выше коэффициент теплопроводности.

Поверхностная плотность теплового потока

$$g = \Phi / S = \lambda (t_{1cn} - t_{2cn}) / \delta \text{ (Вт/ м}^2\text{)}$$

$$g = (t_{1cn} - t_{2cn}) R \text{ (Вт/ м}^2\text{)}$$

$$R = \delta / \lambda \text{ (м}^2 \text{ } ^\circ\text{K / Вт)}$$

В паровых котлах поверхность нагрева покрыта сажей и накипью, поэтому тепловой поток, проходя через эту стенку, преодолевает сопротивление трех слоев: сажи, металла и накипи. Поверхностная плотность теплового потока сквозь трехслойную стенку определяется по формуле

$$g = (t_{1cn} - t_{4cn}) / (R_1 + R_2 + R_3) \text{ (Вт/ м}^2\text{)}$$

$$t_{2ct} = t_{1ct} - g R_1$$

$$t_{3ct} = t_{2ct} - g R_2$$

$$t_{4ct} = t_{3ct} - g R_3$$

Общее правило: температура данной поверхности плоской стенки равна температуре предыдущей поверхности за вычетом произведения плотности теплового потока на термическое сопротивление рассматриваемой стенки.

Конвективный теплообмен.

Конвективный теплообмен – это процесс совместной передачи теплоты конвекцией и теплопроводностью. На практике это теплообмен между поверхностью твердой стенки и омывающей ее жидкостью и называется теплоотдачей.

Тепловой поток при конвективном теплообмене рассчитывается по уравнению Ньютона – Рихмана.

$$\Phi = \alpha S (t_1 - t_2) \text{ (Вт)}$$

$$\alpha - \text{коэффициент теплоотдачи (Вт/ м}^2 \text{ } ^\circ\text{К)}$$

На коэффициент теплоотдачи влияют: скорость потока жидкости, характер сил, вызывающих ее движение, физические свойства жидкости (плотность, вязкость, теплопроводность) и режим движения жидкости: ламинарный, турбулентный.

S – площадь поверхности через которую происходит передача тепла.

$$t_1 - \text{температура нагревающего тела } ^\circ\text{С}$$

$$t_2 - \text{температура нагреваемого тела } ^\circ\text{С}$$

Задача № 1

Рассчитать процесс передачи тепла теплопроводностью через поверхность,

Площадью $2,5(\text{м}^2)$, состоящую из слоя накипи, толщиной 1мм, металла толщиной 5 мм и масла толщиной 0,5 мм, если через нее проходит тепловой поток 30000Дж. Температура на поверхности накипи равна 30°С .

Определить t_{2ct} , t_{3ct} , t_{4ct}

Решение:

1. Вычерчиваем в масштабе схему передачи теплоты через трехслойную стенку в координатах $t - \partial$

2. Из таблицы 18.1 находим λ - коэффициент теплопроводности для:

Накипи $\lambda_H = 1$ (Вт/м² °К),

$$\lambda_{ст} = 40 \text{ (Вт/м}^2 \text{ °К)},$$

$$\lambda_M = 1,2 \text{ (Вт/м}^2 \text{ °К)},$$

3. Определяем поверхностную плотность теплового потока

$$g = \Phi / S = 30000 / 2,5 = 12000 \text{ (Вт/м}^2 \text{)}$$

4. Рассчитываем термические сопротивления каждого слоя

$$R_1 = \partial_1 / \lambda_1 = 1 \text{ мм} / 1 \text{ Вт/м}^2 \text{ °К} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2 \text{ °К/Вт)}$$

$$R_2 = \partial_2 / \lambda_2 = 5 / 40 = 0,125 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2 \text{ °К/Вт)}$$

$$R_3 = \partial_3 / \lambda_3 = 0,5 / 1,2 = 0,416 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^2 \text{ °К/Вт)}$$

5. Определяем температуры стенок.

$$t_{2ст.} = t_{1ст.} - g R_1 = 30 - 12000 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 30 - 12 = 18 \text{ °С.}$$

$$t_{3ст.} = t_{2ст.} - g R_2 = 18 - 12000 \cdot 0,125 \cdot 10^{-3} = 18 - 1,5 = 16,5 \text{ °С.}$$

$$T_{4ст.} = t_{3ст.} - g R_3 = 16,5 - 12000 \cdot 0,416 \cdot 10^{-3} = 16,5 - 5 = 11,5 \text{ °С.}$$

6. На схеме передачи теплоты через трехслойную стенку в координатах $t - \partial$ откладываем температуры стенок.

Задача № 2

Рассчитать конвективный теплообмен в конденсаторе холодильной установки, если температура заборной воды 30 °С, коэффициент теплоотдачи от воды к стенке $\lambda_{н20} = 3000$ Вт/м² °К, толщина накипи 0,2 мм, толщина металла 3 мм, толщина слоя масла 1,5 мм, коэффициент теплоотдачи от стенки к аммиаку при конденсации $\lambda_K = 6000$ Вт/м² °К, температура конденсации аммиака - 30 °С, а тепловой поток составляет 3000 Дж.

1. Вычерчиваем схему передачи теплоты через трехслойную стенку в координатах $t - \partial$

3. Из таблицы 18.1 находим λ - коэффициент теплопроводности для:

Накипи $\lambda_H = 1$ (Вт/м² °К),

$$\lambda_{ст} = 40 \text{ (Вт/м}^2 \text{ °К)},$$

$$\lambda_M = 1,2 \text{ (Вт/м}^2 \text{ °К)},$$

4. Вычисляем термические сопротивления каждого слоя стенки при теплопередаче.

$$R_1 = 1/\lambda_{H_2O} = 1/3000 = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^0 \text{ К/Вт)}$$

$$R_2 = \partial_H / \lambda_H = 0,2 \cdot 10^{-3} / 1 = 0,2 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^0 \text{ К/Вт)}$$

$$R_3 = \partial_{ст} / \lambda_{ст} = 3 \cdot 10^{-3} / 40 = 0,075 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^0 \text{ К/Вт)}$$

$$R_4 = \partial_M / \lambda_M = 1,5 / 1,2 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ (м}^0 \text{ К/Вт)}$$

$$R_5 = 1/\lambda_K = 1/6000 = 1,66 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^0 \text{ К/Вт)}$$

5. Определяем коэффициент теплопередачи – К

$$K = 1/R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5$$

$$K = 1/(3,3 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 10^{-3} + 0,075 \cdot 10^{-3} +$$

$$1,25 \cdot 10^{-3} + 1,66 \cdot 10^{-4}) = 706 \text{ (Вт/м}^2 \text{ °К)},$$

6. Определяем величину поверхности, через которую проходит тепловой поток

$$S = \Phi / K (t_{зн20} - t_{там}) = 30000 / 262 \cdot 60 = 1,9 \text{ м}^2$$

7. Определяем поверхностную плотность теплового потока

$$g = \Phi / S = 30000 / 1,9 = 15789 \text{ Дж/м}^2$$

8. Определяем температуры стенок.

$$t_{1ст} = t_{зн20} - g R_1 = 30 - 15789 \cdot 3,3 \cdot 10^{-4} = 30 - 5,2 = 24,8 \text{ °С},$$

$$t_{2 \text{ CT}} = t_{1 \text{ CT}} - g R_2 = 24.8 - 15789 * 0.2 * 10^{-3} = 24.8 - 3.2 = 21.6 \text{ } ^\circ \text{C},$$

$$t_{3 \text{ CT}} = t_{2 \text{ CT}} - g R_3 = 21.6 - 15789 * 0.416 * 10^{-3} = 21.6 - 6.6 = 15 \text{ } ^\circ \text{C},$$

$$t_{4 \text{ CT}} = t_{3 \text{ CT}} - g R_4 = 15 - 15789 * 1.25 * 10^{-3} = 15 - 19.62 = -4.6 \text{ } ^\circ \text{C},$$

$$t_{5 \text{ CT}} = t_{4 \text{ CT}} - g R_5 = -4.6 - 15789 * 0.166 * 10^{-3} = -4.6 - 2.6 = -7.2 \text{ } ^\circ \text{C},$$

Практическое занятие № 12

Тема : Изучение физических свойства жидкости и приборов для их измерения

Цели работы:

2. Изучение физических свойств жидкости.
3. Изучение устройства и принципа действия приборов для определения физических свойств жидкости.

Оборудование:

1. Лаборатория «Капелька», устройство № 1.
2. Методичка по выполнению работы.

Теоретическое обоснование:

Описание устройства № 1. Устройство для изучения физических свойств жидкостей содержит 5 приборов выполненных в общем прозрачном корпусе (рисунок 1.1.), на котором указаны параметры для обработки опытных данных.

Приборы 3 – 5 начинают действовать при перевертывании устройства № 1. Термометр 1 показывает температуру окружающей среды и, следовательно. Температуру жидкостей во всех устройствах.

Порядок выполнения работы:

1. Получить у преподавателя устройство №1.
2. Осмотреть приборы.
3. Убедиться в их- целостности
4. Разобраться с данными нанесенными на желтом фоне у приборов.

1.1. Определение коэффициента теплового расширения жидкости.

Термометр 1 имеет стеклянный баллон с капилляром, заполненный термометрической жидкостью и шкалу . принцип его действия основан на тепловом расширении жидкости .

Варьирование температуры окружающей среды приводит к соответствующему изменению объема термометрической жидкости и ее уровня в капилляре. Уровень указывает на шкале значение температуры.

Коэффициент теплового расширения термометрической жидкости определяется в следующем порядке на основании мыслительного эксперимента. т.е предполагается. Что значений термометра и уровень жидкости в капилляре возрос на величину L .

1.1.1. Подсчитать общее число градусных делений T в шкале термометра и измерить расстояние между крайними штрихами шкалы.

1.1.2. Вычислить приращение объема термометрической жидкости

$$W = \pi \cdot r^2 \cdot L \text{ (см}^3\text{)}$$

где r (см) радиус капилляра термометра

1.1.3. С учетом начального (при 0°C) объема термометрической жидкости W найти значение

Коэффициента теплового расширения

$$\beta_t = (W|W)|T \text{ и сравнить его со справочным значением (таблица 1.1.)}$$

Жидкость	ρ , кг/м ³	$\beta_P \cdot 10^3$, МПа ⁻¹	$\beta_T \cdot 10^3$, °C ⁻¹	$\nu \cdot 10^6$, м ² /с	$\sigma \cdot 10^3$, Н/м
Вода пресная	998	0,49	0,15	1,01	73
Спирт этиловый	790	0,78	1,10	1,52	23
Масло:					
моторное М-10	900	0,60	0,64	800	25
индустриальное 20	900	0,72	0,73	110	25
трансформаторное	890	0,60	0,70	30	25
АМГ – 10	850	0,76	0,83	20	25

Р Значение используемых величин занести в таблицу 3 1.2.

Вид жидкости	r , см	W , см ³	ΔT , °C	l , см	ΔW , см ³	β_T , °C ⁻¹	β_T^* , °C ⁻¹
Спирт							

1.2.1. Измерение плотности жидкости ареометром

Ареометр 2 служит для определения плотности жидкости поплавковым методом . Он представляет собой пустотелый цилиндр с миллиметровой шкалой и грузом в нижней части. Благодаря грузу ареометр плавает в исследуемой жидкости в вертикальном положении. Глубина погружения ареометра является мерой плотности и считывается со шкалы по верхнему краю мениска жидкости вокруг ареометра .В обычных ареометрах шкала отградуирована по плотности жидкости.

В ходе работы выполнить следующие операции.

1. Измерить глубину погружения h ареометром по миллиметровой шкале на нем.
2. Вычислить плотность жидкости по формуле

$$\rho = 4m / (\pi d^2 h) \text{ (г/см}^3\text{)},$$

Где m и d масса и диаметр ареометра.

Эта формула получена путем приравнивания силы тяжести ареометра $G = m \cdot g$ и выталкивающей (архимедовой) силы $P = \rho g W$, где объем погруженной части ареометра

$$W = (\pi d^2 / 4) h \text{ (см}^3\text{)}$$

3. Сравнить опытное значение плотности ρ со справочным значением ρ^* (смотри таблицу

1.1.) Значения используемых величин ввести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3.

Вид жидкости	m , г	d , см	h , см	ρ , г/см ³	ρ^* , г/см ³
Вода					

1.3.3. Определение вязкости вискозиметром Стокса.

Вискозиметр Стокса достаточно прост, содержит цилиндрическую емкость. Заполненную исследуемой жидкостью, и шарик. Прибор позволяет определить вязкость жидкости по времени падения шарика в ней следующим образом . .

1. Повернуть устройство № 1 в вертикальной плоскости на 180° и зафиксировать секундомером время t прохождения шариком расстояния L между двумя точками в приборе 3. Шарик должен падать по оси емкости без соприкосновения с о стенками. Опыт выполнить три раза, а затем определить среднеарифметическое значение времени t .

2. Вычислить опытное значение кинематического коэффициента вязкости жидкости $\nu = g d^2 t (\rho_{ш}/\rho - 1) / \{ 18L + 43.2L (d/D) \}$

Где $g = 9/8$ (м/сек²)- ускорение свободного падения;

d и D – диаметры шарика и цилиндрической емкости;
 ρ и $\rho_{ш}$ – плотности жидкости и материала шарика.

3. Сравнить опытное значение коэффициента вязкости ν с табличным значением ν^* (смотри таблицу 1. 1.)

Значение используемых величин свести в таблицу 1.4.

Вид жидкости	ρ , кг/м ³	τ , с	l , м	d , м	D , м	$\rho_{ш}$, кг/м ³	ν , м ² /с	ν^* , м ² /с
М – 10								

1.3.4. Измерение вязкости капиллярным вискозиметром.

Капиллярный вискозиметр 4 включает емкость с капилляром. Вязкость определяется по времени истечения жидкости из емкости через капилляр.

1. Перевернуть устройство № 1 (смотри рис 1.1.) в вертикальной плоскости и определить секундомером время t истечения через капилляр объема жидкости между метками (высотой S) из емкости вискозиметра 4 и температуру T по термометру 1

2. Вычислить значение кинематического коэффициента вязкости $\nu = M t$ (M – постоянная прибора) и сравнить его с табличным значением ν^* (смотри таблицу № 1.). Данные свести в таблицу № 1.5.

Таблица № 1.5.

Вид жидкости	M , м ² /м ²	τ , с	ν , м ² /с	T , °С	ν^* , м ² /с
М – 10					

1.3.5. Измерение поверхностного натяжения сталагмометром.

Сталагмометр 5 служит для определения поверхностного натяжения жидкости методом отрыва капле и содержит емкость с капилляром , расширенным на конце для накопления жидкости в виде капли. Сила поверхностного натяжения в момент отрыва капли равна ее весу (силе тяжести) и поэтому определяется по плотности жидкости и числу капель, полученных при опорожнении емкости с заданным объемом. из объема высотой S между двумя метками. Опыт повторить три раза и вычислить среднее арифметическое значение числа капель n

1. Найти опытное значение коэффициента поверхностного натяжения $\sigma = Kr/n$, где K – постоянная сталагмометра и сравнить его с табличным значением σ^* (смотри таблицу 1.1.) Данные свести в таблицу 1.6.

Таблица 1. 6.

Вид жидкости	$K, \text{ м}^3/\text{с}^2$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	n	$\sigma, \text{ Н}/\text{м}$	$\sigma^*, \text{ Н}/\text{м}$
М – 10					

Контрольные вопросы:

1. Дать определение жидкости.
2. Расскажите, как классифицируются жидкости?
3. Объясните, какие жидкости называются капельными?
4. Расскажите, какими свойствами обладают капельные жидкости ?
5. Объясните, какими механизмами перекачиваются капельные жидкости?
6. Объясните, какими свойствами обладают газообразные жидкости ?
7. Дать определение температуре жидкости.
8. Объяснить, что на практике принято за шкалу Цельсия?
9. Рассказать, чем отличается шкала Кельвина от шкалы Цельсия?
10. Дать определение плотностью жидкости.
11. Рассказать, какими приборами измеряется плотность жидкости ?
12. Объяснить, какой принцип действия ареометра?
13. Рассказать, что называется сжимаемостью жидкости?
14. Объяснить , что понимается под тепловым расширением жидкости?
15. Дать определение вязкости жидкости
16. Рассказать , какими коэффициентами оценивают вязкость жидкости?
17. Объяснить, что понимается под коэффициентом кинематической вязкости?
18. Рассказать, что собой представляет кинематический коэффициент вязкости?
19. Объяснить, в каких единицах измеряют коэффициент кинематической вязкости?
20. Объяснить, Чем отличается стокс от сантистокса?
21. Объяснить, что называется поверхностным натяжением жидкости?
22. Рассказать, какие принципы положены в основу принципа действия вискозиметров?
23. Объяснить, как устроен вискозиметр Стокса?
24. Рассказать, как устроен вискозиметр Енглера?
25. Объяснить, как устроен простейший вискозиметр?
26. Рассказать, что такое сталагмометр и что им измеряют?

Практическое занятие № 13

Тема: Построение характеристик трубопровода и их анализ.

Цели занятия:

1. Разобраться с понятием характеристика трубопровода.
2. Изучить уравнение теряемого напора на преодоление гидравлических сопротивлений в трубопроводе.
3. Научиться строить и анализировать характеристики трубопроводов.
4. Подбирать насос для данного трубопровода.

Оборудование:

1. Данные по расчету трубопроводов.
2. Характеристики трубопроводов Плакаты.
3. Справочники.
4. Б.Е.Богомольный: «Судовые вспомогательные и рыбопромысловые механизмы»
5. МикроЭВМ.

Теоретическое обоснование:

Теоретическое обоснование:

1. Напор, теряемый на преодоление гидравлических сопротивлений в трубопроводе, можно выразить через степенную функцию расхода жидкости

$$H_n = K Q^m \quad (\text{м.в. ст.})$$

$m = 1$ Лам. режим $m = 2$ Тур, режим.

2. Определяем коэффициент сопротивления трубопровода $K = H_n \setminus Q^m$
3. Характеристикой трубопровода называется графическая зависимость между потерянным напором в трубопроводе и его производительностью.

Для ламинарного режима - это линейная зависимость $H_n = K (Q)^m$ (м.в. ст.)

Для турбулентного режима - это квадратичная зависимость $H_n = K (Q)^m$ (м. в.ст.)

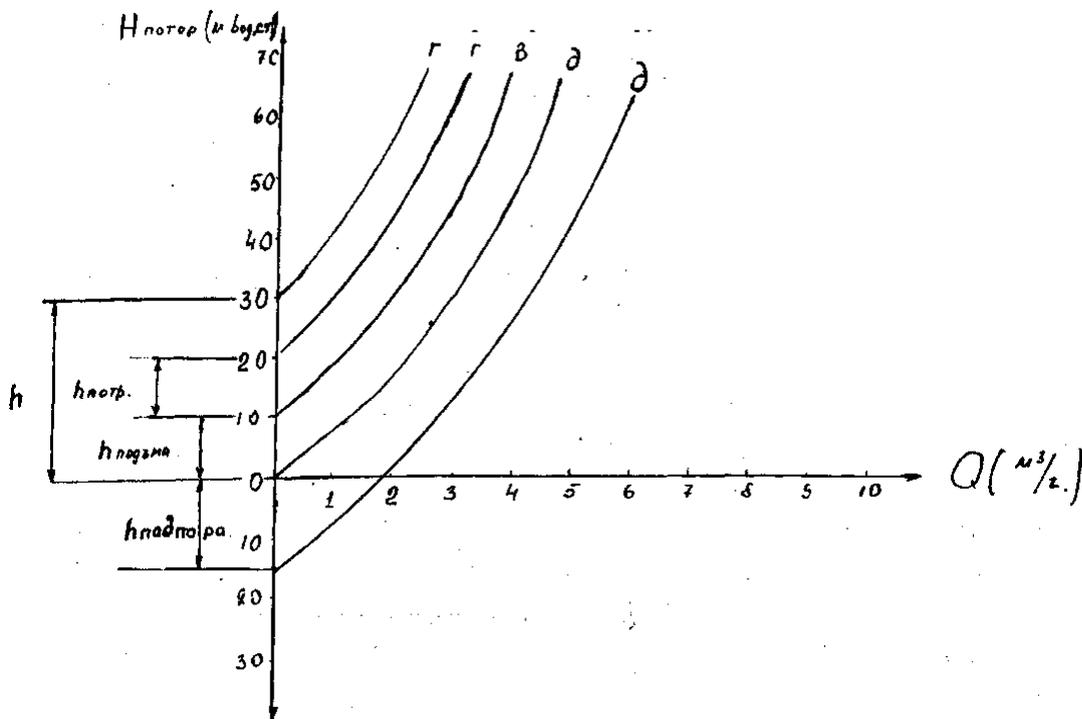
Трубопроводы бывают:

- а. горизонтальные, работающие на слив
- б. горизонтальные, работающие на потребитель
- в. трубопроводы, работающие на подъем жидкости
- г. трубопроводы, работающие на подъем жидкости и

потребитель.

д. трубопроводы, работающие с подпором.

Характеристики трубопроводов.



Из рисунка видно, что характеристика трубопровода складывается из статической и динамической характеристик. Статическая характеристика есть величина постоянная для данного трубопровода и складывается из высоты подъема жидкости и энергии работы потребителя – $H_{под} + H_{потр}$ - горизонтальная прямая. Динамическая характеристика зависит от величины квадрата скорости движения жидкости или расхода жидкости.

$$H_n = H_{под} + H_{потр} + (j L_{рас} / d_{тр} + S_m) c^2 / 2g \text{ (м. вод. ст.)}$$

$$H_n = H_{под} + H_{потр} + (j L_{рас} / d_{тр} + S_m) 16Q^2 \sqrt{2g} \pi^2 d^4 \text{ (м. вод. ст.)}$$

Для построения динамической характеристики трубопровода пользуемся уравнением

$$H_{д пот} = KQ^m \text{ (м. вод. ст.)}$$

$m = 1$ Лам. режим $m = 2$ Тур режим

10. Определяем Коэффициент сопротивления трубопровода $K = H_n \setminus Q^m$

11. Характеристикой трубопровода называется графическая зависимость между потеряннм напором в трубопроводе и его производительностью.

Для ламинарного режима - это линейная зависимость $H_n = K (Q)^m$ (м.в. ст.)

Для турбулентного режима - это квадратичная зависимость $H_n = K (Q)^m$

(м. в.ст.)

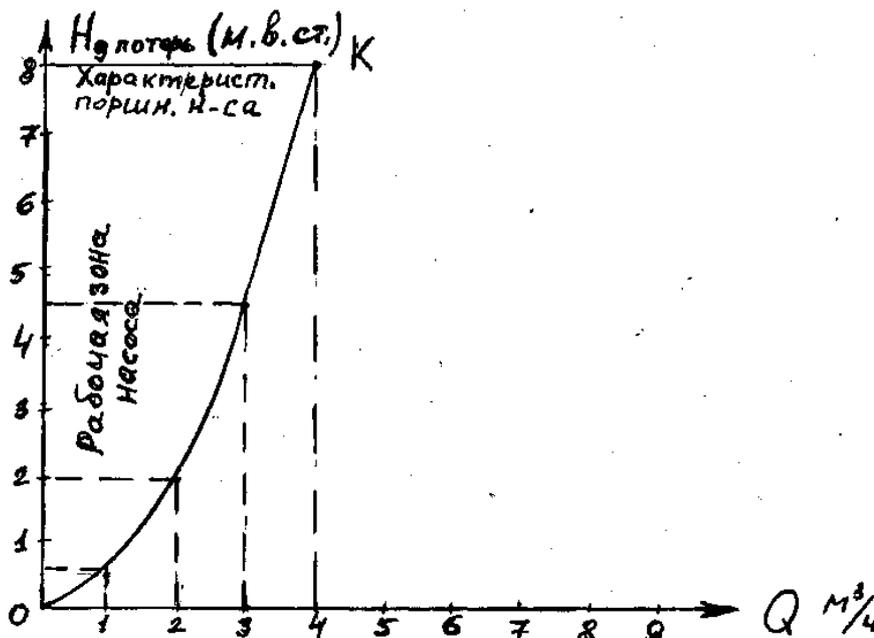
Например: $K = 0.5$ $m = 2$ величины известны, задаемся Q от 0 до $4 \text{ м}^3/\text{час}$ и рассчитываем H д пот и результаты вносим в таблицу.

$Q(\text{м}^3/\text{час})$	0	1	2	3	4
H д потр (м.вод ст.)	0	0.5	2	4.5	8

По данным таблицы строим график – характеристику трубопровода, выбираем масштабы:

$$M_Q = 1:1$$

$$M_{H \text{ д потр}} = 1:10$$



На характеристику трубопровода накладываем характеристику насоса и определяем рабочую зону насоса

Вывод: для работы трубопровода необходим насос марки ЭПН 8\4

его основные параметры $Q = 4 \text{ м}^3/\text{час}$, $H_n = 8$ (м. вод ст.),

рабочая зона насоса располагается, слева от точки K -координаты и характеристики трубопровода и ниже характеристики насоса.

Анализ характеристик трубопроводов.

Задача №1

Определить, какой из двух трубопроводов большего диаметра, если характеристики начинаются с 10 м. вод ст.

Решение: задаемся производительностью и поднимаем прямую до пересечения с характеристиками трубопроводов, из точек пересечения проводим прямые на вертикальную ось – потерянный напор. Там, где потерянный напор больше, скорость больше, а диаметр меньше.

Задача №2

Определить, по характеристикам трубопровода для перекачки масла, когда он качает холодное и горячее масло, где температура масла больше, вязкость меньше.

Решение:

Имеем две характеристики трубопровода, начинающиеся с «0» трубопроводы – горизонтальные, работающие на слив.

задаемся производительностью и поднимаем прямую до пересечения с характеристиками трубопроводов, из точек пересечения проводим прямые на вертикальную ось – потерянный напор. Там, где потерянный напор больше вязкость больше, температура меньше и наоборот.

Вопросы для самопроверки

1. Объяснить, что называется характеристикой трубопровода?
2. Рассказать, что такое статическая характеристика трубопровода?
3. Перечислить, какие факторы влияют на динамическую характеристику трубопровода
4. Объяснить, как построить динамическую характеристику трубопровода?
5. Рассказать, как определяется рабочая зона работы насоса?
6. Объяснить, как выглядит характеристика трубопровода, работающего на подъем жидкости на потребитель.
7. Построить характеристику трубопровода, работающего с подпором.
8. Объяснить, как по характеристикам трубопроводов определить, какой из них короче?

Практическое занятие № 17

Тема: Изучение конструкции и правил эксплуатации поршневых и аксиально и радиально плунжерных насосов.

Цели работы:

1. Изучить устройство, принцип действия и область применения поршневых насосов.
2. Показать устройство, принцип действия и область применения аксиально и радиально плунжерных насосов.

1.

Оборудование :

- 1 .Насосная установка с поршневым насосом.
2. Насосная установка с аксиально - плунжерным насосом.
3. Радиально – плунжерный насос.
 4. Штангенциркуль – 2 шт
 5. Металлическая линейка – 2шт
 6. МикроЭВМ

Теоретическое обоснование:

Насосами называются механизмы, предназначенные для перемещения капельных жидкостей. Любой насос выполняет две функции: функцию всасывания и функцию нагнетания.

Насос состоит из корпуса, на котором располагаются всасывающий и нагнетательный трубопровод, внутри корпуса располагаются рабочие органы, которые преобразуют механическую энергию в энергию потока жидкости. Основными параметрами насоса являются:

1. Производительность Q – количество жидкости, перемещаемое насосом в единицу времени ($M^3/ч$, л/с)
2. Напор – энергия, затраченная на всасывание и нагнетание жидкости

$$H = p_{вс}/\gamma + p_{hf} / \gamma \quad (\text{мЮ вод ст})$$

4. Коэффициент полезного действия насоса

$$\eta_H = \eta_v * \eta_m * \eta_{\Gamma} < 1$$

η_v – объемный КПД, учитывающий утечки жидкости через неплотности

η_m – механический КПД учитывает потери в подвижных деталях насоса

η_{Γ} – гидравлический КПД учитывает потери, связанные с изменением направления движения жидкости в самом насосе.

5. Потребляемая мощность насосом

$$N = Q H \gamma / 102 \eta_H \quad (\text{кВт})$$

Насосы объемного действия перемещают жидкость отдельными порциями или объемами.

К ним относятся: поршневые, шестеренчатые, винтовые, роторно – пластинчатые насосы, аксиально и радиально – плунжерные насосы.

Поршневые насосы.

Поршневой насос состоит из корпуса, на котором расположены всасывающий и нагнетательные трубопроводы, внутри корпуса располагается цилиндр, в котором поршень совершает возвратно – поступательные движения, двигаясь от верхней мертвой точки к нижней поршень производит процесс всасывания, всасывающий клапан открыт, жидкость заполняет полость цилиндра,

При движении поршня от нижней мертвой к верхней, всасывающий клапан закрывается, а нагнетательный открывается и жидкость выталкивается в нагнетательный трубопровод и процессы повторяются.

Условием нормальной работы является равенство скоростей движения поршня и скорости движения жидкости $C_{п} = C_{ж}$, если это условие не соблюдается, то в цилиндре происходят гидроудары, поэтому поршневые насосы тихоходны, обладают небольшой производительностью. Производительность зависит от диаметра поршня, хода поршня, кратности действия, числа двойных ходов, с их увеличением растут весогабаритные показатели.

Обладают:

1. неравномерной подачей жидкости, которая устраняется увеличением кратности действия насоса.
2. способностью сухого всасывания – способностью создавать разрежение во всасываемом трубопроводе и поднимать жидкость на высоту.
3. у поршневых насосов давление не зависит от производительности.
4. поршневые насосы перекачивают все виды чистых жидкостей.

Содержание отчета:

1. На насосной установке поршневого насоса разобраться с устройством, принципом действия и снять с нее конструктивные размеры, определить действительную производительность
2. Вычертить схему насосной установки и нанести на нее конструктивные размеры, путь движения жидкости в насосе
3. Определить основные параметры поршневого насоса
4. Построить график подачи и определить степень неравномерности подачи.
5. Вычертить схему аксиально - плунжерным насосом , указать на ней путь масла через насос, диаметр плунжера, ход плунжера, количество плунжеров, построить график подачи.
6. Указать область применения на практике. аксиально - плунжерных насосов.
7. Объяснить подготовку и пуск поршневого насоса в действие.

Вывод:

Разбирая по моделям устройство и принцип действия поршневых, аксиально и радиально плунжерных насосов, изучил их конструкцию и особенности эксплуатации.

Контрольные вопросы:

1. Объяснить, почему у поршневых насосов имеются клапана?
2. Рассказать, как на насосной установке определить высоту всасывания?
3. Объяснить способы устранения неравномерной подачи в поршневых насосах.
4. Рассказать, чем отличается аксиально - плунжерный насос переменной производительности от аксиально – плунжерного насоса постоянной производительности?
5. Указать область применения на практике. аксиально - плунжерных насосов.
6. Объяснить, что такое эксцентриситет в радиально – плунжерных насосах?
7. Показать на модели радиально – плунжерного насоса как подводится и отводится масло.

Практическая работа

Тема: Определение параметров ротационных насосов по конструктивным данным снятым с натуры.

Цели работы:

1. Закрепить теоретические знания по теме «Ротационные насосы».
2. Приобрести практические навыки в расчете и определении основных параметров шестеренчатых и винтовых насосов.

Оборудование:

1. Модели шестеренчатых насосов – 3 шт
2. Модели винтовых насосов – 3 шт
3. Роторно- пластинчатый насос -1шт
4. Плакаты
5. Измерительный инструмент
6. МикроЭВМ

Ротационные насосы.

К ротационным насосам относятся : шестеренчатые, винтовые роторно – пластинчатые насосы. Эти насосы перекачивают чистые вязкие жидкости, которые смазывают, охлаждают рабочие органы и отводят от них абразивные частицы, обладают небольшими весогабаритными показателями, соединяются с быстроходными двигателями, располагаются ниже уровня перекачиваемой жидкости, работоспособность их зависит от величины осевого и радиальных зазоров, которые должны лежать в пределах 0,03 – 0,05 (мм).

Содержание отчета:

1. На модели шестеренчатого насоса разобраться, где всасывающий, где нагнетательный клапан, куда вращается приводная шестерня.
2. Вычертить эскиз шестерни и нанести на нее снятые размеры.
3. Подсчитать производительность и мощность шестеренчатого насоса при $n =$
 $P_n = 3.00 \text{ МПа}$

4. На модели трех вального винтового насоса измерить диаметры винтов и разобраться со способом устранения осевого усилия.
5. Вычертить схему трех вального винтового насоса и нанести на нее путь жидкости и способ устранения осевого усилия.
6. Указать, как меняются производительность и напор винтовых насосов с увеличением длины и числа винтов
7. Вычертить схему роторно- пластинчатого насоса и показать на ней, как работает лопатка и как она устраняется от перекашивания.
8. Указать, как меняются производительность и напор у роторно – пластинчатых насосов с увеличением числа лопаток и рабочих полостей.
9. Указать область применения на практике.

Вывод:

Разбирая по моделям устройство и принцип действия ротационных насосов , изучил их конструкцию и особенности эксплуатации.

Контрольные вопросы:

1. Назвать виды ротационных насосов.
2. Показать на модели шестеренчатого насоса, где происходит явление замкнутых объемов?
3. Перечислить способы устранения замкнутых объемов в шестеренчатых насосах.
4. Объяснить, как увеличением длины винтов изменяются параметры винтовых насосов и увеличением количества винтов.
5. Объяснить, какие функции выполняет рабочая лопатка в роторно- пластинчатых насосах?
6. Объяснить, почему ротационные насосы всегда располагаются ниже уровня перекачиваемой жидкости?
7. Рассказать, как подготовить к пуску винтовой насос?
8. Объяснить, в чем заключается контроль во время работы ротационных насосов?

Практическая работа

Тема: Изучение конструкции и правил эксплуатации струйных насосов.

Цель работы: Изучить устройство, принцип действия и область применения струйных насосов, особенности их эксплуатации.

Оборудование:

1. Эжектор – 2 шт
2. Инжектор – 1шт
3. Плакаты –Эрлифты – 2 шт
4. Штангенциркуль – 2 шт
5. Металлическая линейка – 2шт
6. МикроЭВМ
7. Конспект.

Теоретическое обоснование

Для изучения струйных насосов необходимо знать процессы, протекающие в соплах и диффузорах. Процессы истечения жидкости в соплах и диффузорах происходят при условиях:

1. Непрерывный подвод и отвод рабочей жидкости от сопла или диффузора.
 2. Наличие перепада давлений, давление на входе должно быть больше давления на выходе.
- В струйных насосах применяются суживающие сопла, в которых потенциальная энергия давления преобразуется в кинетическую энергию, давление падает, а скорость потока возрастает.

Диффузор имеет расширяющую форму и преобразует кинетическую энергию в потенциальную, скорость потока падает, при увеличении сечения, а давление возрастает.

Особенностью конструкции струйных насосов является то, что кроме всасывающего и нагнетательного патрубков имеется патрубок для подвода рабочей жидкости. Производительность эжектора регулируется путем перемещения сопла относительно смесительной камеры. Для обеспечения нормальной работы струйных насосов необходимо, чтобы сопло, смесительная камера и диффузор располагались на одной оси. Через каждые полгода эксплуатации проверяется диаметр сопла и расположение сопла, смесительной камеры и диффузора на одной оси.

К преимуществам струйных насосов относится:

1. Простота конструкции и обслуживания
2. Отсутствие подвижных деталей,
3. Способность создавать вакуум.
4. Способность перекачивать грязные жидкости.

Недостатки:

1. Большой расход рабочей жидкости, для перекачки 1 кг жидкости требуется 6 – 9 кг рабочей жидкости.

2. Низкий КПД = 5 – 7 %

Эрлифты – струйные насосы, принцип действия которых основан на создании разницы удельных весов водовоздушной смеси с удельным весом меньше, чем у воды, она поднимается вверх и увлекает поток воды через всасывающее отверстие.

При непрерывном подводе сжатого воздуха к форсунке образуется водовоздушная смесь. Эрлифт состоит из всасывающего трубопровода – резиновый шланг, армированный внутри стальной проволокой диаметром 200 мм, форсунки – труба с отверстиями диаметром 5 – 6 мм, через которые проходит воздух, подаваемый от компрессора, через редукционный клапан по шлангу. Редукционным клапаном регулируется давление и количество подаваемого воздуха, в зависимости от глубины подъема смесей.

Преимущества:

1. Прост по конструкции
2. Нет подвижных деталей
3. Не пожаро и взрыво опасен.
4. Доступная рабочая среда – воздух
5. Прост в эксплуатации.

Недостатки:

1. Большой расход воздуха – 6 - 9 кг воздуха для подъема 1 кг воды.
2. Способен работать на глубинах до 100 м, так как возрастает сопротивление шланга и не хватает подъемной силы воздушных пузырьков.

Содержание отчета.

1. На эжекторе № 1 разобраться с устройством, найти сопло, смесительную камеру, диффузор, снять с них конструктивные размеры.
2. Вычертить схему эжектора и нанести на нее конструктивные размеры, путь движения жидкости в насосе, построить графики изменения давлений и скоростей в сопле и диффузоре.
3. На эжекторе № 2 разобраться, как регулируется производительность и указать в отчете.
4. Объяснить подготовку и пуск эжектора в действие.

5. Указать область применения на практике.
6. Вычертить схему эрлифта, указать детали и условия нормальной работы.

Вывод: в процессе выполнения и оформления работы я изучил устройство и область применения струйных насосов, особенности их конструкции, пуска и эксплуатации.

Контрольные вопросы:

1. Объяснить, что называется соплом?
2. Рассказать, какие условия необходимы для истечения рабочего тела из сопла?
3. Объяснить устройство диффузора и процессы, протекающие в нем.
4. Рассказать, как регулируется производительность в эжекторах?
5. Объяснить устройство и принцип действия эрлифта.
6. Рассказать об области применения эжекторов.

Практическая работа №18

Тема: Исследование конструкций судовых вспомогательных котлов, их параметров и способов изготовления.

Цель работы:

1. Изучение конструкции СВК – судовых вспомогательных котлов, их параметров и способов изготовления
2. Изучение организации циркуляции воды и пароводяной смеси в котлах

Оборудование:

1. Модель огнетрубного оборотного котла
2. Модель котла Кохран
3. Модель котла Атлантик – 333.
4. Чертежи котлов, одобренные МРС – морским Регистром судоходства:
 - 4.1. Чертеж котла КВВА – 2,5/ 5
 - 4.2. Чертеж котла Атлантик – 333.
5. Плакаты комбинированных и утилизионных котлов.

Содержание и порядок выполнения практической работы №1

Курсантам дается 45 мин времени, чтобы с помощью лекций, конспектов по самостоятельной работе, учебников, вопросов, задаваемых преподавателю, разобраться с указанными вопросами.

Вторая часть занятия отводится для оценки знаний курсантами.

На модели огнетрубного котла найти и показать:

1. Бочку котла и объяснить ее назначение и устройство
2. Топку котла и ее назначение и устройство
3. Устройство и назначение огневой камеры
4. Устройство и назначение лазов и горловин
5. Три пространства котла и указать процессы, там происходящие
6. Показать циркуляционные контуры в котле
7. Объяснить процесс циркуляции воды в котле
8. Рассказать каким параметром определяется надежность работы котла.
9. Найти верхнюю точку поверхности нагрева и объяснить ее назначение

На чертеже котла КВВА – 2,5/ 5 найти и показать:

1. Расшифровать марку котла КВВА – 2,5/ 5
2. Объяснить устройство котла КВВА – 2,5/ 5
3. Устройство и назначение коллекторов
4. Виды и назначение водогрейных труб, их размеры
5. Способы крепления водогрейных труб в барабанах котла
6. Три пространства котла и указать процессы, там происходящие, сравнить с огнетрубным котлом
7. Найти верхнюю точку поверхности нагрева и объяснить ее назначение
8. Объяснить как установлены водоуказательные приборы относительно верней точки поверхности нагрева
9. Найти основную и дополнительную поверхность нагрева котла
10. Объяснить, как организована циркуляция воды и пароводяной смеси в котле
11. Определить размеры пароводяного коллектора и найти паротбойный щит и объяснить его назначение
12. Найти расположение лазов и горловин на котле и объяснить их устройство.

На чертеже котла Атлантик – 333:

1. Определить устройство котла, какой котел: огнетрубный, водотрубный, комбинированный и почему?

2. Цель создания комбинированных котлов.
3. Объяснить как устроена топка котла.
4. Особенность конструкции жаровой трубы.
5. Показать путь топочных газов вдоль поверхности нагрева.
6. Как устроена водотрубная часть котла?
7. Найдите опускные трубы и определите их диаметр.
8. Объясните, как организована циркуляция воды и пароводяной смеси и дайте ей характеристику.
9. Расскажите, как устроены днища котла и объясните преимущества конструкции.

На плакатах Утилизационных котлов:

1. Разобраться с целью создания и областью применения утилизационных котлов.
2. Рассказать об особенностях конструкции и расположения на судне утилизационных котлов
3. Объяснить как, набираются поверхности нагрева утилизационных котлов?
4. Найти как, изготавливаются и удерживаются змеевики поверхности нагрева утилизационных котлов?
5. Объяснить как, добиваются равномерного распределения воды по змеевикам?
6. Рассказать как, осуществляется циркуляция воды в утилизационных котлах?
7. Объяснить назначение и устройство парового сепаратора.
8. Объяснить как, очищаются поверхности нагрева утилизационных котлов?

Оценка знаний курсантами производится по указанным выше вопросам.

Вопросы для самоконтроля

1. Дать определение котлу.
2. Рассказать, какие компоненты необходимы для выработки пара в котле?
3. Объяснить особенности конструкции огнетрубных котлов.
4. Показать на модели огнетрубного котла газовое пространство котла.
5. Объяснить особенности конструкции жаровой трубы огнетрубного оборотного котла.
6. Определение циркуляции воды в котле и объяснить ее назначение.
7. Привести марки сталей для изготовления котлов и объяснить их особенности.
8. Найти верхнюю точку поверхности нагрева огнетрубного котла и объяснить ее назначение.
9. Расшифровать марку котла КВВА – 2,5 / 5.
10. Объяснить устройство котла КВВА – 2,5 / 5 и его циркуляционный контур.

11. Найти верхнюю точку поверхности нагрева котла КВВА – 2,5 / 5 на и объяснить ее назначение.
12. Объяснить, как устроены и установлены на котле водоуказательные приборы?
13. Рассказать об особенностях конструкции предохранительных клапанов котлов.
14. Объяснить причины создания комбинированных котлов.
15. Показать на чертеже котла Атлант – 333 циркуляционный контур.
16. Объяснить причины создания утилизационных котлов и их расположение на судне.
17. Показать на плакате устройство поверхности нагрева утилизационных котлов и организацию циркуляции воды в них.
18. Объяснить причины появления искр при эксплуатации утилизационных котлов и действия механика при этом.

Практическая работа № 19

Тема: Изучение состава топочных устройств, форсунок и правил их эксплуатации

Цель занятия:

1. Изучить:
 - 1.1. состав топливной системы котла.
 - 1.2. требования, предъявляемые к топочным устройствам котлов.
 - 1.3. состав и назначение элементов топочного устройства.
 - 1.4. устройство и виды форсунок.
 - 1.5. защиту котлов от срыва факела.

Оборудование:

1. Тренажер топочного устройства котла
2. Форсунки:
 - Механические – 2 шт.
 - Паромеханические – 2 шт.
3. Плакаты ротационных форсунок – 2 шт.

Содержание и порядок выполнения:

Топливная система котла.

Топливная система котла предназначена для подогрева, очистки топлива от механических примесей и воды и подачи его к форсункам котла.

Она состоит из расходной цистерны, трубопровода, запорных и быстрозапорных клапанов, фильтров грубой и тонкой очистки, насоса и форсунок.

Расходная цистерна оборудована устройством для контроля уровня топлива, датчиком верхнего и нижнего уровня топлива, переливной трубой, диаметр, равен 1.25 диаметра напорной трубы, внизу краном спуска отстоя, поддоном, соединенном трубой с танком грязного топлива, быстрозапорным клапаном, приводы которого выведены: один в коридор на главную палубу, другой на пульт управления котлом.

Фильтры отличаются друг от друга размером отверстий фильтрующего материала. Топливные насосы котлов это ротационные насосы, давление и производительность, которых зависит от типа форсунки.

Ротационные форсунки обслуживаются насосами низкого давления и большой производительности требуют больших б

Механические форсунки требуют насосов с давлением до 1.8 МПа

Паромеханические форсунки работают с давлением до 1.2 МПа.

Требования, предъявляемые к топочным устройствам котлов.

Современный паровой котел представляет собой сложный агрегат, в котором происходят разнообразные тепловые и физико - химические процессы, требующие постоянного наблюдения и контроля и характеризуются следующими основными параметрами :

1. Уровень воды
2. Давление пара
3. Температура пара
4. Соотношение между количеством сжигаемого топлива и воздуха (соотношение топливо – воздух). Это соотношение, поддерживаемое топочным устройством, является экономической характеристикой котла.

В судовых паровых котлах жидкое топливо сжигается факельным способом. Под факелом понимают воздушную струю со смешанными в ней испаряющимися и горючими каплями топлива, которые непрерывно движутся и находятся в топке 1- 2 сек, чтобы топливо за такое короткое время успело сгореть, его распыляют, что значительно увеличивает активную поверхность, приходящую на 1 кг топлива.

Для организации устойчивого факельного процесса горения необходимы:

1. Подача в топку подогретого и мелко распыленного мазута;

2. Защита корня факела от относительно холодного воздуха, который должен подаваться в эту зону в минимальном количестве, необходимом для начала смесеобразования;
3. Интенсивный подогрев начальной зоны факела, происходящий в результате излучения его активной зоны теплового излучения фурмы и диффузора;
4. Интенсивное перемешивание продуктов испарения и газификации мазута с воздухом по всей толщине активной зоны горения факела.
5. Бесперебойная подача воздуха и топлива к факелу и удаление продуктов сгорания.

Задания:

На тренажере топочного устройства:

1. Изучить:
 - 1.1. как подводится первичный и вторичный воздух в топочное устройство?
 - 1.2. способ регулирования подачи первичного воздуха.
 - 1.3. как крепится форсунка?
 - 1.4. устройство фурмы и турбулизаторов.
 - 1.5. способы розжига котла.
 - 1.6. устройство паромеханической форсунки
 - 1.7. устройство механической форсунки.
 - 1.8. ротационной форсунки.
 - 1.9. объяснить, почему форсунки распыливают топливо в виде полого конуса?
 - 1.10. объяснить понятие коэффициент избытка воздуха и показать, как он регулируется?
 - 1.11. и объяснить, как связана величина коэффициент избытка воздуха с КПД котла?
 - 1.12. как контролируется процесс горения топлива в котле?

На топливной системе тренажера:

1. Найти и указать назначение:
 - 1.1. расходной цистерны.
 - 1.2. быстрозапорных клапанов.
 - 1.3. фильтров, насосов.
 - 1.4. фотоэлемента и показать его работу.

Вопросы для самоконтроля

1. Рассказать, какие условия необходимы для организации процесса горения в топке котла?
2. Объяснить, как организован непрерывный процесс горения топлива в топках котлов?
3. Показать на тренажере, как подводится и регулируется первичный воздух?

4. Рассказать об устройстве и назначении фурмы в составе топочного устройства?
5. Объяснить, как создается зона обратного тока при факельном процессе горения и ее назначение.
6. Показать на тренажере, как устроена и работает защита от срыва факела.
7. Объяснить, как устроена механическая форсунка?
8. Рассказать об устройстве и преимуществах паромеханических форсунок.
9. Объяснить устройство, преимущества и недостатки ротационных форсунок.
10. Объяснить понятие коэффициент избытка воздуха и как классифицируется процесс горения по нему?
11. Рассказать о причинах горения топлива с недостатком воздуха и отрегулировать на тренажере.
12. Объяснить визуальные признаки горения с избытком воздуха и отрегулировать на тренажере.
13. Найти на тренажере быстрозапорные клапана и объяснить их приводы.
14. Объяснить вентиляции топки котла при розжиге и при срыве факела.
15. Объяснить причины распространения ротационных форсунок на вспомогательных котлах.

Практическая работа № 21

Тема: Исследование судовых атомных энергетических установок.

Цели работы:

Изучить:

1. Устройство судовых атомных установок.
2. Способы получения тепловой энергии в судовых атомных установок.
3. Устройство тепловыделяющих элементов.
4. Виды биологической защиты.

Оборудование:

1. А.А.Шабанов и другие «Судовые силовые установки, вспомогательные и промышленные механизмы.»
2. Быховский И.А., «Атомные суда», Судпромгиз 1961.
3. Батырев А.Н. и др. Корабельные ядерные установки зарубежных стран. СПб., 1994

Теоретическое обоснование.

Процесс получения тепловой энергии в атомном реакторе

Процесс цепной реакции деления протекает в так называемой активной зоне реактора, в которой расположен делящийся материал.

Испускаемые при делении ядер U^{235} нейтроны в среднем обладают большой энергией, а следовательно, и большой скоростью, при которой вероятность захвата их другими ядрами U^{235} невелика; это вызывает необходимость для обеспечения цепной реакции применять в ядерных реакторах в качестве горючего уран, обогащенный изотопом U^{235} , а также вводить в активную зону некоторых типов реакторов специальное вещество — замедлитель нейтронов. В качестве замедлителя применяют воду (обычную и тяжелую), бериллий и графит; наилучшими замедляющими свойствами обладает тяжелая вода; бериллий и графит по своим характеристикам весьма близки один к другому. Обычная вода обладает несколько худшими замедляющими свойствами, но ввиду наличия у нее ряда других преимуществ она нашла широкое применение как замедлитель и одновременно теплоноситель в реакторах судовых энергетических установок.

Таким образом, для реакторов, работающих на тепловых и промежуточных нейтронах, обязательным элементом, кроме ядерного горючего, является также и замедлитель нейтронов.

Расположение ядерного горючего в энергетических реакторах может быть различным. Если ядерное горючее собрано в блоки, окруженные замедлителем, то такой реактор называют гетерогенным. Если же ядерное горючее равномерно распределено в веществе замедлителя, то реактор называют гомогенным. В судовых ядерных энергетических установках в настоящее время применяются лишь гетерогенные реакторы.

Блоки ядерного горючего в гетерогенном реакторе состоят из тепловыделяющих элементов. Каждый тепловыделяющий элемент состоит из сердечника, содержащего делящийся материал, и из наружной оболочки, изолирующей последний от теплоносителя и исключающей его размыв, коррозионное разрушение или деформацию сердечника. Группа тепловыделяющих элементов обычно объединяется в топливные сборки (кассеты).

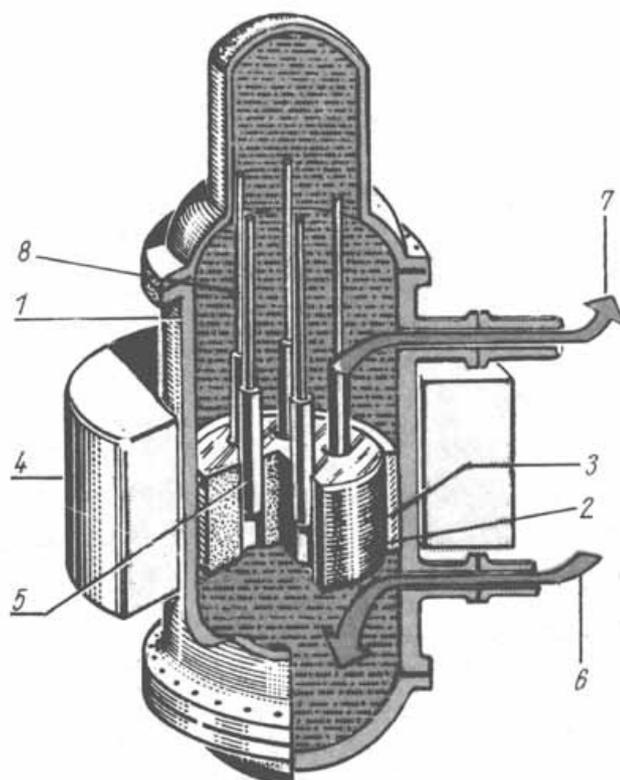
Пространство внутри корпуса реактора, занятое тепловыделяющими элементами и замедлителем, называют активной зоной. Она окружена отражателем, способствующим уменьшению потерь нейтронов, а следовательно, и уменьшению критических размеров активной зоны. Кроме того, отражатель повышает равномерность нейтронного потока в зоне. В качестве отражателя применяют те же вещества, что и для замедлителя. В водородном реакторе, где в качестве замедлителя и теплоносителя используется вода, последняя, окружая активную зону реактора, выполняет также и функции отражателя нейтронов.

Отвод тепла из активной зоны реактора осуществляется посредством охлаждающего вещества — теплоносителя. В качестве теплоносителей могут быть применены: обычная вода, органические жидкости, жидкие металлы и их сплавы (натрий, калий и их сплавы, сплавы свинца и висмута и пр.), а также газы (гелий, азот, углекислый газ и пр.).

К настоящему времени в судовых ядерных энергетических установках практическое применение нашли лишь реакторы на тепловых нейтронах, в которых в качестве теплоносителя и замедлителя нейтронов используется обычная вода высокой чистоты

Атомная энергетическая установка

Атомную энергетическую установку, которая в основном является модификацией паротурбинной, начали применять на судах в конце 50-х гг. XX в. К энергетической установке судна с атомным двигателем относятся реактор, парогенератор и турбинная установка, приводящая в движение судна в единицу времени является величиной постоянной, т. е. цепная реакция происходит постоянно.



1 — стальной корпус; 2 — замедлитель; 3 — отражатель; 4 — защита; 5 — тепловыделяющие элементы; 6 — вход теплоносителя; 7 — выход теплоносителя; 8 — регулирующие стержни

Ядерный реактор состоит из стального корпуса, внутри которого располагается тепловыделяющие элементы 5, так называемые твэлы заполненные ураном 235.

Лопасть, в которой происходит выделение тепловой энергии называется активной зоной, которая окружена отражателем

Для того чтобы активная зона не перегревалась, она активно прокачивается теплоносителем (вода, калий и их сплавы, сплавы свинца и висмута).

Тепловыделяющие элементы соединены с регулирующим стержнем, привод которых выводится за реактор.

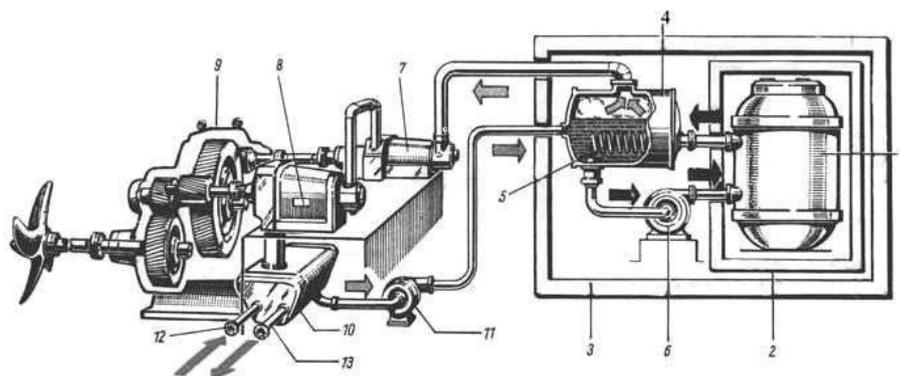


Схема атомной энергетической установки с реактором, охлаждаемым водой под давлением.
1 — реактор; 2 — первичная биологическая защита; 3 — вторичная биологическая защита; 4 — парогенератор; 5 — нагревательный змеевик первого контура; 6 — циркуляционный насос первого контура; 7 — турбина высокого давления; 8 — турбина низкого давления; 9 — редуктор; 10 — конденсатор; 11 — насос вторичного контура; 12 — вход морской воды; 13 — выход морской воды

Рисунок 9

<http://koreabli.ucoz.ru/>

Эта установка имеет два контура циркуляции. Первый контур - циркуляция воды под высоким давлением. Вода первого контура служит одновременно теплоносителем ядерного реактора и имеет давление приблизительно от 5,8 до 9,8 МПа. Она протекает через реактор и нагревается. Горячая вода первого контура, протекая через нагревательный змеевик, отдает свое тепло парогенератору, затем она снова возвращается к реактору. К парогенератору из второго контура низкого давления подается конденсат. Нагреваемая в парогенераторе вода испаряется. Этот пар с относительно низким давлением служит для питания турбин, которые через редуктор приводят во вращение гребной винт. Ядерный реактор изолирован от окружающей среды защитным экраном, не пропускающим вредные радиоактивные лучи. Обычно применяются двойные экраны. Первый (первичный) экран окружает реактор и изготавливается из свинцовых пластин с полиэтиленовым покрытием и из бетона. Вторичный экран окружает парогенератор и заключает внутри себя весь первый контур высокого давления. Этот экран в основном изготавливают из бетона толщиной от 500 мм а также из свинцовых пластин толщиной 200 мм и полиэтилена толщиной 100 мм. Оба экрана требуют много места и имеют очень большую массу. Наличие таких экранов является большим недостатком атомных энергетических установок. Другим, еще более

существенным недостатком, является, несмотря на все защитные меры, опасность заражения окружающей среды как во время нормального функционирования энергетической установки вследствие отходов использованного топлива, выпуска трюмной воды из реакторного отсека и т. д., так и во время случайных аварий судна и атомной энергетической установки. К неоспоримым преимуществам относятся очень низкий расход топлива, несколько грамм в сутки, тепловыделяющие элементы в реакторах меняются один раз в два – три года и практически не ограничивают дальностью плавания.

Содержание отчета.

1. Вычертить схему двухконтурной судовой атомной установки и указать на ней элементы первого контура и кратко описать процессы, происходящие в

1.1. Атомном реакторе, процессы, происходящие в нем, устройство, параметры.

1.2. Парогенераторе,

1.3. Циркуляционном насосе.

1.4. Биологической защите,

Элементах второго контура:

1.1. Парогенераторе,

1.2. Турбине,

1.3. Конденсаторе,

1.4. Циркуляционном насосе.

2. Сделать выводы о преимуществах и недостатках судовых атомных установок.

3. Контрольные вопросы:

1. Рассказать о видах топлива, используемого в судовых атомных реакторах.

2. Объяснить устройство атомного реактора.

3. Рассказать, почему судовые атомные установки делаются двухконтурными?

4. Объяснить назначение и устройство биологической защиты.

5. Рассказать о назначении и работе парогенератора.

6. Объяснить, почему давление во втором контуре меньше, чем в первом?

7. Рассказать о недостатках судовых атомных энергетических установок.

8. Объяснить преимущества судовых атомных энергетических установок.

Практическая работа №22

Тема: Исследование конструкции неподвижных деталей ДВС

Цель работы:

1. Приобрести практические навыки определения особенностей конструкции и компоновки остова ДВС,
2. Научить составлять силовую схему остова ,
3. Выполнить эскиз детали с натуры.

Общие методические указания по выполнению работы.

Перед выполнением лабораторно-практических работ следует предварительно ознакомиться с их содержанием по помещённым ниже методическим указаниям. Также следует повторить те разделы из классных занятий, которые имеют отношение к предстоящей работе. В лаборатории производится осмотр двигателя, на котором предстоит провести работу. Осмотр сопровождается объяснениями работников лаборатории. После беглого опроса учебной группы, в результате которого выясняется их готовность к выполнению задания, а также знание правил техники безопасности, относящиеся к данному учебному объекту, группа получает разрешение на производство работы.

Закончив работу, группа приводит в состояние долговременного хранения учебный объект, закрывает люки, убирает инструмент и т. п.

По каждой работе составляется отчёт, форма которого помещена ниже.

Инструкция по технике безопасности.

Лаборатория двигателей внутреннего сгорания представляет собой учебный объект повышенной опасности, в которой обязательно соблюдение правил по технике безопасности. Общие положения по технике безопасности в лаборатории ДВС следующие:

1. Все места, представляющие опасностью для учащихся должны быть ограждены, а именно: открытые участки валов, нагретые поверхности дизелей, электрические щиты, проёмы в площадках, и т. п.
2. Площадки управления дизелями и нагрузочными генераторами должны быть отделены от общих площадок.
3. Без разрешения старшего и ясного понимания своих действий учащийся не может проводить переключение магистралей и электролиний.
4. Приступая к выполнению работы, учащихся следует расставить на посты управления и наблюдения. Каждый знает свои действия, которые могут быть опасными, если они сделаны с нарушением инструкции.

5. Приступая к занятиям в лаборатории, следует ознакомиться с инструкцией, составленной к данной работе, получить также их подпись в специальном журнале.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.

Остов состоит из следующих основных частей: фундаментной рамы, картера(станина), цилиндров и крышек цилиндров. Все части остова связаны между собой в единую жёсткую систему во избежание деформации под действием сил давления газов, сил инерции, моментов этих сил. Части остова должны обеспечивать правильное расположение и взаимодействие деталей механизма движения.

К конструкции остова предъявляются следующие требования: наибольшая продольная и поперечная жёсткость, высокая прочность, простота конструкции.

ФУНДАМЕНТНАЯ РАМА является основанием остова двигателя. Она воспринимает силу давления газов в цилиндре, силы инерции движущихся частей и силу веса всех деталей, расположенных над рамой. На рамовых подшипниках лежит коленчатый вал двигателя. Рама должна иметь достаточную продольную и поперечную жёсткость, что необходимо для нормальной работы колен. вала.

Литые рамы изготавливаются из чугуна СЧ18-36, СЧ 21-40, СЧ 28-48.

Сварные, сварно-литые - сталь 25 , сталь 30.

В быстроходных двигателях узел блок-картер-фундаментная рама иногда отливают из алюминиевых сплавов АЛ5.

Основные преимущества сварных и сварно-литых конструкций: уменьшение массы на 20-25% , снижение стоимости на 10-20% , уменьшение брака при изготовлении.

Эти преимущества значительны при изготовлении мощных двигателей.

РАМОВЫЕ ПОДШИПНИКИ коленвала устанавливают в гнёзда (постели)

фундаментной рамы. Рамовый подшипник состоит из крышки, верхнего и нижнего вкладышей. Крышка крепится к раме с помощью болтов или шпилек.

Вкладыши делают толстостенными (с радиальной толщиной стенки $1/10 - 1/20$ диаметра наружной поверхности) и тонкостенными (с радиальной толщиной стенки менее $1/20$ диаметра наружной поверхности).

Толстостенные вкладыши изготавливаются из чугуна СЧ 21-40, СЧ 24-44, стали 30 или бронзы и заливают антифрикционным сплавом, чаще всего баббитом Б83.

Тонкостенные вкладыши изготавливаются из малоуглеродистой стали марок 10, 15, 20 и бронзы. Бронзовый вкладыш обеспечивает большую надёжность подшипника. Бронза хорошо отводит тепло и имеет тот же коэффициент линейного расширения, как и баббит, что способствует уменьшению остаточных напряжений в баббите, возникающих при заливке вкладышей.

Тонкостенные вкладыши можно заливать баббитом Б83 и свинцовистой бронзой.

Толщина заливки зависит от диаметра внутренней поверхности вкладыша.

$$\varnothing 50 \div 70 - / 1,6 \div 2,0 / \text{ мм}$$

$$\varnothing 550 \div 650 - / 4,5 \div 5,2 / \text{ мм.}$$

Б83 обладает хорошей пластичностью, высокой теплопроводностью, стойкостью к коррозии.

При высоких удельных давлениях на подшипниках (20МПа или 200 кг/см²), повышенных скоростях и высоких температурах усталостная прочность баббита недостаточна, поэтому в быстроходных двигателях рамовые вкладыши заливают свинцовистой бронзой Бр.С30

$$\varnothing 50 \div 75 - / 1 \div 1,2 / \text{ мм}$$

$$\varnothing 225 \div 275 - / 2,4 \div 2,6 / \text{ мм.}$$

Свинцовистая бронза сохраняет прочность при температуре 200°С.

Недостатки: меньшая пластичность и стойкость от коррозии. Для повышения работоспособности подшипников применяют гальванические покрытия из свинца, олова, индия.

Иногда применяют подшипниковые сплавы на основе алюминия АСМ, А9-2, А20-1. Эти сплавы наносят на стальную ленту совместной прокаткой. Из полученной биметаллической ленты изготавливают тонкостенные вкладыши.

Между плоскостями разъёма укладывают набор калиброванных прокладок, которыми регулируют величину масляного зазора между шейкой колен. вала и подшипников. При использовании тонкостенных вкладышей применение прокладок не допускается.

Вкладыши должны быть фиксированы как от осевого, так и от продольного перемещения установкой штифтов. Крышка рамового подшипника прижимает вкладыши к гнезду фундаментной рамы. Материал крышек СЧ 21-40 или сталь 30. Один из рамовых подшипников установочный (упорно-опорный). Вкладыши этого подшипника снабжены торцевыми упорными поверхностями, залитыми антифрикционным сплавом.

Зазор в подшипниках $0,0005 \text{ д.} - 0,05 \text{ мм}$, где д. - диаметр шейки вала.

Допустимые износы: тихоходные - 0,01 - 0,015мм, через 1000 часов быстроходные - 0,02 - 0,03 мм.

СТАНИНА служит для поддержания блока цилиндров и образует закрытую камеру для КШМ (картер).

В зависимости от типа двигателя станина может быть выполнена:

- в виде отдельных А-образных стоек, установленных на поперечных балках ф./рамы. Сечение стоек коробчатое или двутавровое. Стойки имеют особые полки для крепления

параллелей. Фундаментная рама, стойки и блок цилиндров связаны анкерными связями. Такую конструкцию имеют крейцкопфные двигатели;

- как блок-станина - цельная отливка для всех цилиндров. При большой длине двигателя блок-станина выполняется из 2-х - 3-х частей. На боковых стенках имеются отверстия для осмотра и разборки двигателя, которые закрываются съёмными крышками;
- в виде общего блок-картера вместе с рубашками рабочих цилиндров эта конструкция применяется на двигателях с диаметром цилиндров 2000 - 500 мм.

АНКЕРНЫЕ СВЯЗИ проходят через блок цилиндров и приливы, выполненные в станине и фундаментной раме.

Гайки а./связей затягивают усилием, превышающим силу давления газов на крышку цилиндра в 1,7 - 1,8 раза.

При наличии анкерных связей остов двигателя разгружается от растягивающих напряжений и работает на сжатии, что особенно важно при чугунном остове. Связи изготавливают из углеродистых сталей: 35, 40, или из легированных сталей 18ХНМА. Контроль затяжки производится по удлинению связи, замеряемой индикатором (линейным) или по давлению в гидравлическом домкрате.

$$P = 300 - 450 \text{ кг/см}^2 \quad l = 2,8 - 4,0 \text{ мм.}$$

РАБОЧИЙ ЦИЛИНДР двигателя состоит из рубашки и вставной рабочей втулки. Между рубашкой и втулкой расположено зарубашечное пространство, в котором циркулирует охлаждающая вода. Рубашки отливают в виде блока общего для всех цилиндров или группы цилиндров. Рубашки мощных 2-х тактных двигателей отливают для каждого цилиндра и скрепляют болтами.

Втулки испытывают значительные механические нагрузки от давления газов и тепловые напряжения от разности температур, они подвергаются коррозии и истиранию, поэтому материал должен иметь достаточно высокую прочность, стойкость к коррозии.

Материал: СЧ 28-48, СЧ 32-52, а также легированные чугуны с присадками хрома, никеля, ванадия. Втулки быстроходных двигателей можно изготавливать из кованных сталей 45Х, 35ХМЮА.

Внутреннюю поверхность для повышения износоустойчивости азотируют или покрывают пористым хромом, обрабатывают спец. инструментом, создающим на рабочей поверхности сеть неглубоких винтовых канавок (глубина 0,05 - 0,06 мм).

Наружную поверхность покрывают бакелитовым лаком или другими антикоррозийными покрытиями, иногда анодируют хромом, цинком, никелем, медью, кадмием.

В охлаждаемую воду вводят присадки, антикоррозийные эмульсионные масла (Шелл Дромус Ойл).

В верхней части втулку растачивают на конус по высоте до середины верхнего поршневого кольца. Расточка служит для того, чтобы при износе в верхней части не образовывался наработок.

Толщина стенки втулки по высоте неодинакова : наибольшая в верхней части , где она испытывает максимальные усилия , в 2-х тактных двигателях утолщение находится в средней части , где отфрезерованы выпускные и продувочные окна.

Пояс окон уплотняется от прорыва газов в зарубашечное пространство поясками из отожженной меди, закатанными в специальные канавки, а от протечек воды резиновыми кольцами или специальной асбесто-резиновой набивкой.

Смазка втулок высокооборотных двигателей с диаметром цилиндра до 250 мм обеспечивается за счёт разбрызгивания масла, вытекающего из головных и мотылёвых подшипников.

В среднеоборотных 2-х и 4-х тактных тронковых двигателях с диаметром цилиндра свыше 250 мм, а также во всех крейцкопфных двигателях смазка к цилиндрам подводится при помощи специальных штуцеров, ввёртываемых в стенку рабочей втулки. Количество штуцеров от 2-х до 8-ми. В 4-х тактных двигателях штуцеры устанавливаются по высоте цилиндра между 1-м и 2-м компрессионным кольцом поршня при его положении в НМТ. В 2-х тактных двигателях штуцеры должны быть снабжены невозвратными клапанами и расположены по высоте выше выхлопных окон.

Масло к точкам цилиндра подаётся отдельными насосами - лубрикаторами. Чтобы смазка лучше распределялась по поверхности втулки, в районе выходных отверстий имеется волнообразная канавка.

Чтобы исключить коксообразование и выгорания масла, температура втулки не должна превышать 453К (180С).

Отвод тепла производится охлаждающей водой, которая подводится в нижней части рубашки, поднимается и через переходные патрубки переходит в полость охлаждения крышки.

Наибольший износ втулок наблюдается в верхней части. Причины:

- коррозия от продуктов сгорания (сернистые топлива), и истирания от поршневых колец (удельное давление со стороны первого поршневого кольца из-за давления газов достигает 6 МПа, у второго кольца давление снижается в 3-5 раз);
- высокая температура в верхней части ухудшает смазку , что способствует усиленному износу.

Износы : крейцкопфных двигателей - 0,03 - 0,10 мм на 1000 часов. (предельные 0,5-1% от первоначального размера).

Срок службы втулок крейцкопфных двигателей	40-60 тыс. часов.
Высокооборотных	6-8 тыс. часов.
Среднеоборотных	до 40 тыс. часов.

КРЫШКИ ЦИЛИНДРОВ воспринимают силу давления газов и подвергаются действию высоких температур. Материал крышки должен быть жаростойким и обладать высокой механической прочностью.

Материал: чугун СЧ 28-48 , у более напряжённых двигателей СЧ 32-52, у мощных крейцкопфных двигателей молибденовая сталь 30М, лёгких быстроходных двигателей алюминиевые сплавы АЛ5, АЛ4.

Крышки цилиндров 4-х и 2-х тактных двигателей с прямоточно-клапанной продувкой наиболее сложны по конструкции. В них размещены впускные клапана, каналы для прохода воздуха и выхлопных газов, форсунка, пусковой клапан, предохранительный клапан и индикаторный кран. Огневая доска крышки должна интенсивно охлаждаться, поэтому внутри крышки расположена полость охлаждения. Крышки вышеуказанных двигателей крепятся к блоку 4-8 шпильками.

В 2-х тактных двигателях с контурной продувкой из-за отсутствия рабочих клапанов количество шпилек может быть значительно больше (до 20 штук). Это позволяет обеспечить более равномерное обжатие крышечной прокладки. За счёт уменьшения диаметра крышечных шпилек уменьшают диаметр самой крышки. Крышечные шпильки проходят через специальные приливы в крышке, вынесенные за пределы полости охлаждения.

Крышки двигателей с диаметром цилиндра свыше 600мм часто делают составными из 2-х частей. Это позволяет наилучшим образом подобрать материал для частей крышки.

Для защиты фланцевого утолщения верхней части втулки от перегрева, камеру сгорания выносят из втулки и размещают между поршнем и крышкой, выше верхнего фланца втулки, применяя крышки полуколпачкового типа. Эти крышки состоят из 2-х частей: нижней, охлаждаемой, из молибденовой стали и верхней, неохлаждаемой - из чугуна.

КРЫШКИ С КЛАПАННОЙ ВСТАВКОЙ состоит из наружной основной крышки и внутренней клапанной вставки. Значительные механические напряжения испытывает только основная крышка, которая воспринимает силу давления, действующую на всю площадь крышки. Вставка испытывает меньшие напряжения из-за небольшой площади, что позволило применить для их изготовления чугун, который обладает хорошими литейными качествами.

Для основной крышки, нагруженной сильнее применяется молибденовая сталь.

Основной вид повреждения крышек - трещины в огневой доске.

Причины:

- технологические недостатки (раковины, неоднородность металла, пустоты и т. д.);
- местный перегрев из-за , плохой циркуляции охлаждающей воды;
- перегрузка двигателя;
- колебания температуры охлаждающей воды;
- неравномерная затяжка шпилек крепления.

Исследование особенностей конструкции деталей остова заключается в следующем:

1. Составление силовой схемы компоновки остова исследуемого двигателя (с натуры или чертежа).
2. Анализ данной схемы:
 - а) указание названий деталей и краткое описание конструктивных и технологических особенностей;
 - б) выводы (указать, почему для данного двигателя выбрана именно эта схема компоновки, применены данные конструктивные решения).
3. Выполнение эскизов неподвижных деталей ДВС с натуры.

Порядок выполнения работы.

1. По атласу ДВС или с натуры составить силовую схему остова. Указать из каких деталей состоит данный остов, указать плоскости разъемов.
2. Сделать краткое описание конструкции деталей остова с указанием особенностей конструктивных и технологических:
 - а) фундаментная рама, рамовые подшипники;
 - б) станина (блок-картер);
 - в) цилиндр (блок цилиндров);
 - г) анкерные связи;
 - д) крышка цилиндров.

Примечание: в конце каждого описания необходимо делать вывод: почему на данном двигателе применена та или иная конструкция детали.

3. Выполнить эскиз одной из деталей остова с натуры или чертежа.

Оформление работы.

1. Работа выполняется на листах формата А2 в соответствии с требованиями ЕСКД.
2. Схемы, эскизы могут быть выполнены на миллиметровой бумаге.
3. Описательная часть выполняется только чернилами, графическая часть только карандашом.

Оборудование.

Действующие двигатели лаборатории ДВС

2., макеты, плакаты, схемы.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие напряжения испытывает остов двигателя ?
2. Какие требования предъявляют к остову двигателя при его проектировании?
3. Из каких элементов состоит остов двигателя ?
4. Назвать основные схемы компоновки двигателя ?
5. Какие силы воспринимает фундаментная рама?
6. Требования к конструкции рамы , материалы для изготовления.
7. Почему фундаментная рама мощных двигателей изготавливают сварными и сварно-литыми?
8. Как устроен рамовый подшипник колен. вала? Материалы .
9. Что такое установочный подшипник?
10. Какие подшипники называют толстостенными, тонкостенными?
11. Антифрикционные сплавы, область их применения.
12. Почему бронзовый вкладыш обеспечивает большую надёжность подшипника?
13. Сравнить Б83 и свинцовистую бронзу (достоинства и недостатки).
14. Какие покрытия применяются для повышения работоспособности подшипников?
15. Какое назначение выполняет станина (картер)?
16. Как выполнены конструкции станин в зависимости от типа двигателя?
17. Назначение анкерных связей , порядок и контроль затяжки.
18. Как выполняются конструкции цилиндров различных двигателей?
19. Требования, предъявляемые к материалам для изготовления рубашек и втулок?
20. Методы защиты деталей цилиндров от коррозии.
21. Назвать методы повышения износоустойчивости цилиндрических втулок.
22. Особенности конструкции цилиндрических втулок.
23. Как осуществляется смазка цилиндрических втулок?
24. Почему в верхней части втулок наибольший износ?
25. Какие требования предъявляются к конструкции цилиндрических крышек? Материалы?
26. Какие устройства расположены в крышках цилиндра 2-х и 4-х тактных двигателей?
27. Что такое составные крышки? Виды составных крышек , область их применения , достоинства.
28. Виды повреждения крышек, причины.
29. Уплотнения стыка крышка - втулка

