



МИНТРАНС РОССИИ

РОСМОРРЕЧФЛОТ

**Беломорско-Онежский филиал
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
образования
«Государственный университет морского и речного флота имени адмирала
С.О. Макарова»
(Беломорско-Онежский филиал ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»)**

**КОМПЛЕКТ КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

ОП.07 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

**ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ СРЕДНЕГО ЗВЕНА
по специальности
26.02.05 ЭКСПЛУАТАЦИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК
квалификация
ТЕХНИК-СУДОМЕХАНИК**


**Петрозаводск
2026**

СОГЛАСОВАН
Заместитель директора по УМиВР
БОФ ГУМРФ




Л.М. Каторина
10 июня 2026

УТВЕРЖДЕН
Директор БОФ ГУМРФ



А.В. Васильев
10.06. 2026

ОДОБРЕН
на заседании методического совета
Беломорско-Онежского филиала
«ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Протокол от 09.06.2026 № 8
Председатель  С.И. Мартынова

РАЗРАБОТЧИКИ:

Бобылева С.В. – преподаватель механики и инженерной графики, председатель цикловой комиссии общепрофессиональных дисциплин Беломорско-Онежского филиала.

Левоева Е.И. - преподаватель технической термодинамики и теплопередачи Беломорско-Онежского филиала;

Филатова Юлия Николаевна - начальник организационного отдела, преподаватель Беломорско-Онежского филиала ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова».

Комплект контрольно-оценочных средств по учебной дисциплине ОП.07 Техническая термодинамика и теплопередача разработан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом среднего профессионального образования (далее - ФГОС СПО) по специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 12.12.2024 г. № 873 (зарегистрирован в Минюсте России от 21.01.2025 г. рег. № 80986), и с учетом требований МК ПДНВ по специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок, профессиональным стандартом 17.107 «Механик судовой», утвержденным приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 07.09.2020 г. № 576н (зарегистрирован Министерством юстиции Российской Федерации 25.09.2020, рег. № 60030), примерной образовательной программой государственного реестра ПОП, с учётом Стратегии развития воспитания в Российской Федерации на период до 2030 года, примерной программы воспитания.

СОДЕРЖАНИЕ

- 1. ПАСПОРТ КОМПЛЕКТА КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**
- 2. КОДИФИКАТОР ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**
- 3. СИСТЕМА ОЦЕНКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО КАЖДОМУ ОЦЕНОЧНОМУ СРЕДСТВУ**
- 4. БАНК КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСВОЕНИЯ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. ПАСПОРТ КОМПЛЕКТА КОНТРОЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

ОП.07 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

1.1. Область применения контрольно-оценочных средств

Контрольно-оценочные средства (КОС) являются частью нормативно-методического обеспечения системы оценивания качества освоения обучающимися программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых энергетических установок и обеспечивают повышение качества образовательного процесса.

КОС по учебной дисциплине представляет собой совокупность контролирующих материалов, предназначенных для измерения уровня достижения обучающимся установленных результатов обучения.

КОС по учебной дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в виде экзамена

1.2. Результаты освоения дисциплины, подлежащие проверке

| од ОК | Формулировка компетенции | Знания, умения |
|--|---|---|
| К 01 | Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам | Умения: |
| | | распознавать задачу и/или проблему в профессиональном и/или социальном контексте, анализировать и выделять её составные части |
| | | определять этапы решения задачи, составлять план действия, реализовывать составленный план, определять необходимые ресурсы |
| | | выявлять и эффективно искать информацию, необходимую для решения задачи и/или проблемы |
| | | владеть актуальными методами работы в профессиональной и смежных сферах |
| | | оценивать результат и последствия своих действий (самостоятельно или с помощью наставника) |
| | | Знания: |
| | | актуальный профессиональный и социальный контекст, в котором приходится работать и жить |
| | | структура плана для решения задач, алгоритмы выполнения работ в профессиональной и смежных областях |
| | | основные источники информации и ресурсы для решения задач и/или проблем в профессиональном и/или социальном контексте |
| методы работы в профессиональной и смежных сферах | | |
| порядок оценки результатов решения задач профессиональной деятельности | | |
| К 02 | Использовать современные средства поиска, анализа и | Умения: |
| | | определять задачи для поиска информации, планировать процесс поиска, выбирать необходимые источники информации |

| | | |
|------|---|---|
| | интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности | <p>выделять наиболее значимое в перечне информации, структурировать получаемую информацию, оформлять результаты поиска</p> <p>оценивать практическую значимость результатов поиска</p> <p>применять средства информационных технологий для решения профессиональных задач</p> <p>использовать современное программное обеспечение в профессиональной деятельности</p> <p>использовать различные цифровые средства для решения профессиональных задач</p> <p>Знания:</p> <p>номенклатура информационных источников, применяемых в профессиональной деятельности</p> <p>приемы структурирования информации</p> <p>формат оформления результатов поиска информации</p> <p>современные средства и устройства информатизации, порядок их применения и</p> <p>программное обеспечение в профессиональной деятельности, в том числе цифровые средства</p> |
| К 04 | Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде | <p>Умения:</p> <p>организовывать работу коллектива и команды</p> <p>взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами в ходе профессиональной деятельности</p> <p>Знания:</p> <p>психологические основы деятельности коллектива</p> <p>психологические особенности личности</p> |
| К 05 | Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке Российской Федерации с учетом особенностей социального и культурного контекста | <p>Умения:</p> <p>грамотно излагать свои мысли и оформлять документы по профессиональной тематике на государственном языке</p> <p>проявлять толерантность в рабочем коллективе</p> <p>Знания:</p> <p>правила оформления документов</p> <p>правила построения устных сообщений</p> <p>особенности социального и культурного контекста</p> |
| К 06 | Проявлять гражданско-патриотическую позицию, демонстрировать осознанное поведение на основе традиционных российских духовно-нравственных ценностей, в том числе с учетом гармонизации международных и межрелигиозных отношений, | <p>Умения:</p> <p>проявлять гражданско-патриотическую позицию</p> <p>демонстрировать осознанное поведение</p> <p>описывать значимость своей специальности</p> <p>применять стандарты антикоррупционного поведения</p> <p>Знания:</p> <p>сущность гражданско-патриотической позиции</p> <p>традиционных общечеловеческих ценностей, в том числе с учетом гармонизации международных и межрелигиозных отношений</p> <p>значимость профессиональной деятельности по специальности</p> <p>стандарты антикоррупционного поведения и последствия его нарушения</p> |

| | | |
|--|--|--|
| | применять стандарты антикоррупционного поведения | |
|--|--|--|

2. КОДИФИКАТОР ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

| Функциональный признак оценочного средства (тип контрольного задания) | Метод/форма контроля |
|---|---|
| Расчётная задача | Контрольная работа, индивидуальное домашнее задание, лабораторная работа, практические занятия, дифференцированный зачёт, экзамен |
| Практическое задание | Лабораторная работа, практические занятия, дифференцированный зачёт, экзамен |
| Тест, тестовое задание | Тестирование, дифференцированный зачёт, экзамен |
| Проектное задание | Учебный проект, исследовательский, обучающий, сервисный, социальный творческий, рекламно-презентационный |

Элементы знаний и умений

| Результаты обучения (освоенные умения, усвоенные знания) | |
|--|--|
| освоенные умения | |
| У1. Выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей. | |
| освоенные знания | |
| 31. Общие законы статики и динамики жидкостей и газов; | |
| 32. Основные понятия теории теплообмена; | |
| 33. Законы термодинамики, характеристики топлив. | |

Распределение типов контрольных заданий по элементам знаний и умений.

| Содержание учебного материала по программе учебной дисциплины | Тип контрольного задания | | | |
|--|--------------------------|----------|----|----------|
| | У1 | 31 | 32 | 33 |
| Раздел 1. Основные параметры состояния. Общие законы статики и динамики идеальных газов | | | | |
| Тема 1.1. Общие законы идеальных газов. | ПР | ОК СР | ОК | ОК |
| Тема 1.2. Теплоёмкость газов. | ПР | ОК | ОК | ОК |
| Раздел 2. Законы термодинамики. | | | | |
| Тема 2.1. Закон сохранения энергии. | ПР | ОК | ОК | ОК |
| Тема 2.2. Термодинамические процессы газов. | ПР | ОК | ОК | ОК |
| Тема 2.3. Второе начало термодинамики. | ПР | ОК | ОК | ОК |
| Тема 2.4. Термодинамические циклы ДВС и ГТУ | ПР | ОК | ОК | ОК СР |
| Раздел 3. Водяной пар | | | | |

| | | | | |
|--|----|----------|----|----|
| Тема 3.1. Термодинамические процессы водяного пара. | ПР | ОК | ОК | ОК |
| Тема 3.2. Истечение газов и паров. | ПР | ОК СР | ОК | ОК |
| Тема 3.3. Идеальные циклы пароэнергетических установок. | ПР | ОК | ОК | ОК |
| Раздел 4. Основы теплопередачи | | | | |
| Тема 4.1. Способы переноса теплоты | ПР | ОК СР | ОК | ОК |
| Раздел 5. Общие законы статики и динамики жидкостей | | | | |
| Тема 5.1. Гидростатика. Гидродинамика | ПР | ОК | ОК | ОК |
| Промежуточная аттестация | ДЗ | ДЗ | ДЗ | ДЗ |

Условные обозначения:

- ФО – фронтальный (устный) опрос;
- ТК – тестовый контроль;
- ОК – проверка опорных конспектов;
- ИЗ – выполнение индивидуальных заданий;
- ПР – выполнение практической работы;
- СР – выполнение самостоятельной работы;
- ДЗ – дифференцированный зачёт
- ЭК - экзамен

3. СИСТЕМА ОЦЕНКИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО КАЖДОМУ ОЦЕНОЧНОМУ СРЕДСТВУ

Оценка индивидуальных образовательных достижений по результатам текущего контроля и промежуточной аттестации производится в соответствии с универсальной шкалой (таблица)

| Процент результативности (правильных ответов) | Качественная оценка индивидуальных образовательных достижений | |
|---|---|---------------------|
| | балл (отметка) | вербальный аналог |
| 90-100 | 5 | отлично |
| 80-89 | 4 | хорошо |
| 70-79 | 3 | удовлетворительно |
| менее 70 | 2 | неудовлетворительно |

Критерии оценки выполненного практического задания

Оценка 5 («отлично») ставится за работу, выполненную полностью без ошибок и недочётов.

Оценка 4 («хорошо») ставится за работу, выполненную полностью, но при наличии в ней не более одной негрубой ошибки и одного недочёта, не более трёх недочётов.

Оценка 3 («удовлетворительно») ставится, если обучающийся правильно выполнил не менее 2/3 всей работы или допустил не более одной грубой ошибки и двух недочётов, не более одной грубой и одной не грубой ошибки, не более трёх негрубых ошибок, одной негрубой ошибки и трёх недочётов, при наличии четырёх-пяти недочётов.

Оценка 2 («неудовлетворительно») ставится, если число ошибок и недочётов превысило норму для оценки 3 или правильно выполнено менее 2/3 всей работы.

Критерии оценки ответов в ходе устного опроса

Оценивается правильность ответа, обучающегося на один из приведённых вопросов. При этом выставляются следующие оценки:

«Отлично» выставляется при соблюдении обучающимся следующих условий:

- полно раскрыл содержание материала в объёме, предусмотренном программой, содержанием лекции и учебником;
- изложил материал грамотным языком в определенной логической последовательности, точно используя специализированную терминологию и символику;
- показал умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами, применять их в новой ситуации при выполнении практического задания;
- продемонстрировал усвоение ранее изученных сопутствующих вопросов, сформированность и устойчивость используемых при ответе умений и навыков;
- отвечал самостоятельно без наводящих вопросов преподавателя.

Примечание: для получения отметки «отлично» возможны одна-две неточности при освещении второстепенных вопросов или в выкладках, которые обучающийся легко исправил по замечанию преподавателя.

«Хорошо» - ответ обучающегося в основном удовлетворяет требованиям на оценку «отлично», но при этом имеет один из недостатков:

- в изложении допущены небольшие пробелы, не исказившие логического и информационного содержания ответа;
- допущены один-два недочёта при освещении основного содержания ответа, исправленные по замечанию преподавателя;
- допущены ошибка или более двух недочётов при освещении второстепенных вопросов или в выкладках, легко исправленные по замечанию преподавателя.

«Удовлетворительно» выставляется при соблюдении следующих условий:

- неполно или непоследовательно раскрыто содержание материала, но показано общее понимание вопроса и продемонстрированы умения, достаточные для дальнейшего усвоения программного материала, имелись затруднения или допущены ошибки в определении понятий, использовании терминологии и выкладках, исправленные после нескольких наводящих вопросов преподавателя;
- обучающийся не справился с применением теории в новой ситуации при выполнении практического задания, но выполнил задания обязательного уровня сложности по данной теме;
- при знании теоретического материала выявлена недостаточная сформированность основных умений и навыков.

«Неудовлетворительно» выставляется при соблюдении следующих условий:

- не раскрыто основное содержание учебного материала;
- обнаружено незнание или непонимание обучающимся большей или наиболее важной части учебного материала;
- допущены ошибки в определении понятий, при использовании терминологии и иных выкладках, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов преподавателя;
- обучающийся обнаружил полное незнание и непонимание изучаемого учебного материала или не смог ответить ни на один из поставленных вопросов по изучаемому материалу.

Критерии оценки составления и оформления опорных конспектов

В ходе проверки преподавателем опорные конспекты оцениваются по следующим критериям:

1. Соответствие содержания теме.
2. Правильная структурированность информации.
3. Наличие логической связи изложенной информации.
4. Аккуратность и грамотность изложения.
5. Работа сдана в срок.

Каждый критерий оценивается по 5-балльной шкале. При выставлении оценки за опорный конспект выводится среднее значение оценки по пяти перечисленным критериям, округляемое до целого значения (до оценки) по правилам округления.

Критерии оценки выполнения практических работ и индивидуальных (в т.ч. зачётных) заданий:

1. Задание считается выполненным безупречно, если результат практической работы получен при правильном ходе решения задания и аккуратном выполнении.

2. Задание считается невыполненным, если обучающийся не приступил к его выполнению или допустил в нем погрешность, считающуюся, в соответствии с целью работы, ошибкой.

В ходе оценивания выполнения практических и индивидуальных заданий используется пятибалльная система оценок. Положительная оценка («3», «4», «5») выставляется, когда обучающийся показал владение основным умениями в рамках выполнения практической работы или индивидуального задания:

1. «Отлично» выставляется при соблюдении следующих условий:

– обучающийся самостоятельно выполнил все этапы решения задач в рамках выполнения практических и индивидуальных заданий;

– работа выполнена полностью и получен верный ответ или иное требуемое представление результата работы.

2. «Хорошо» выставляется при соблюдении следующих условий:

– работа выполнена полностью, но при выполнении обнаружилось недостаточное владение навыками работы с инструментарием (оборудование, приборы и т.п.) в рамках поставленной задачи;

– правильно выполнена большая часть работы (свыше 85 %);

– работа выполнена полностью, но использованы наименее оптимальные подходы к решению поставленной задачи.

3. «Удовлетворительно» выставляется при соблюдении следующих условий:

– работа выполнена не полностью, допущено более трёх ошибок, но обучающийся владеет основными навыками работы с инструментарием (оборудование, приборы и т.п.), требуемым для решения поставленной задачи.

4. «Неудовлетворительно» выставляется при соблюдении следующих условий:

– допущены существенные ошибки, показавшие, что обучающийся не владеет обязательными знаниями, умениями и навыками работы на ПК или значительная часть работы выполнена не самостоятельно.

Критерии оценки в ходе дифференцированного зачета:

В основе оценки при сдаче экзамена лежит пятибалльная система (5 «отлично», 4 «хорошо», 3 «удовлетворительно», 2 «неудовлетворительно»).

1. Ответ оценивается на «отлично», если обучающийся исчерпывающе, последовательно, грамотно и логически стройно излагает материал по вопросу (теста), не затрундывается с ответом при видоизменении задания.

2. Ответ оценивается на «хорошо», если обучающийся твёрдо знает программный материал, грамотно и по существу его излагает, не допускает существенных неточностей при ответах, умеет грамотно применять теоретические знания на практике.

3. Ответ оценивается на «удовлетворительно», если обучающийся освоил только основной материал, однако не знает отдельных деталей, допускает неточности и некорректные формулировки, нарушает последовательность в изложении материала.

4. Ответ оценивается на «неудовлетворительно», если обучающийся не раскрыл основное содержание материала, допускает существенные ошибки.

4. БАНК КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Текущий контроль

4.1.2. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Перечень практических занятий

| № и название практического занятия | Раздел Тема | Количество часов | Формируемые компетенции в соответствии с ФГОС СПО, МК ЦДНВ |
|--|-------------|------------------|--|
| Раздел 1. Законы газов и жидкостей. Основные параметры состояния. | | | |
| Практическое занятие №1 Решение задач по теме: Общие законы идеальных газов | Тема 1.1 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Практическое занятие №2 Решение задач по теме: Теплоемкость газов | Тема 1.2 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Раздел 2. Законы термодинамики. | | | |
| Практическое занятие №3 Решение задач по теме: Закон сохранения энергии | Тема 2.1 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Практическое занятие №4 Решение задач по теме: Термодинамические процессы газов | Тема 2.2 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Практическое занятие №5 Решение задач по теме: Исследование цикла Карно | Тема 2.3 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Практическое занятие №6 Решение задач по теме: Исследование циклов ДВС | Тема 2.4 | 4 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Раздел 3. Водяной пар. | | | |
| Практическое занятие №7 Решение примеров и задач с использованием таблиц и диаграмм водяного пара | Тема 3.1 | 4 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Практическое занятие №8 Исследование процессов дросселирования водяного пара с помощью диаграммы h-S | Тема 3.2 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Практическое занятие №9 Определение термического КПД цикла Ренкина с использованием диаграммы h-S | Тема 3.3 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Раздел 4. Основы теплопередачи | | | |
| Практическое занятие №10 Расчет необходимого количества воздуха для процесса сгорания | Тема 4.1 | 2 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Раздел 5. Общие законы статики и динамики жидкостей | | | |
| Практическое занятие №11 Решение задач на законы гидростатики | Тема 5. | 4 | ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06 |
| Итого | | 28 | |

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

Тема: Решение задач по теме: Общие законы идеальных газов

Цель практического занятия:

- Закрепление теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;

Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ ОК 01, ОК 02, ОК 04, ОК 05, ОК 06

- Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь**:

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена.

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:

Идеальный газ – модель реального газа, у которого отсутствуют силы взаимодействия между его частицами, а сами частицы не имеют объёма, хотя они и материальны. Величины, характеризующие идеальный газ в данном состоянии, называются параметрами состояния. Основными параметрами являются: удельный объём (величина, обратная плотности) кг/м^3 , давление (Па) и температура (К).

Ход работы:

Пример:

Задача 1. Аэростат, наполненный газом при нормальном атмосферном давлении, поднялся в слой воздуха, где давление 500 мм.рт.ст. Во сколько раз увеличится его объём? Изменение температуры не учитывать.

Дано:

$$P_1 = 10^5 \text{ Па}$$

$$P_2 = 500 \text{ мм.рт.ст} = 500 \cdot 133 = 66,5 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$T = \text{const}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = ?$$

Решение:

Запишем закон Бойля-Мариотта для изотермического процесса $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$\text{Откуда } \frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{10^5}{66,5 \cdot 10^3} = 1,5$$

$$\text{Ответ: } V_2 = 1,5 V_1$$

Задача 2. Каково давление сжатого воздуха, находящегося в баллоне вместимостью 20 л при 12 °С, если масса этого воздуха 2 кг?

Задача 3. Найти газовую постоянную для метана.

Задача 4. Найти плотность и удельный объем V_2 при показании манометра

$$P=2 \text{ бар и } t=27^\circ\text{C}$$

Задача 5. Газ при давлении 10 атм и температуре 15⁰С занимает объем 855 л. Каково будет давление, если эта же масса газа при температуре 40⁰ С займет объем 800 л?

Контрольные вопросы

1. Какие величины характеризуют состояния макроскопических тел?
2. Каковы отличительные признаки состояний теплового равновесия?
3. Укажите единицы измерения параметров состояния.

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

«2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;

«3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;

«4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи;

«5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

Тема: Решение задач по теме: Теплоемкость газов

Цель практического занятия:

- Закрепление теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ ОК 1 - ОК 2, ОК 4 – ОК 6

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь**:

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена.

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы

Теплоёмкость - величина, равная отношению сообщаемой телу или отводимой от него теплоты к соответствующему изменению его температуры: $c = Q / \Delta T$. Различают удельную ($c = C / m$) и молярную ($C_m = C / n$) теплоёмкости, а также истинную (при заданной температуре) и среднюю (в заданном интервале температур).

Средняя удельная теплоёмкость: $C = Q / m (T_2 - T_1)$.

Средняя молярная теплоёмкость: $C_m = Q / n (T_2 - T_1)$.

Их соотношение: $C / C_m = n / m$, но $m / n = M$, отсюда $C = C_m / M$

Ход работы:

Пример

1. Найдите среднюю удельную теплоёмкость кислорода при $p = \text{const}$ при повышении его температуры от 600 до 2000 °С.

Решение:

Искомая теплоёмкость равна истинной удельной изобарной теплоёмкости при средней арифметической температуре $t = (600 + 2000)/2 = 1300$ °С.

Находим по таблице истинную удельную изобарную ($p = \text{const}$) теплоёмкость кислорода:

При $t = 1300$ °С: $c_p = 1,1476$ кДж/(кг К)

2. Найдите средние удельные изохорную и изобарную теплоёмкости кислорода в интервале температур 1800 — 1200 °С.

3. Найдите среднюю молярную изобарную теплоёмкость углекислого газа при повышении его температуры от 200 до 1000 °С (M найти в таблице).

4. От азота, заключенного в баллоне, отводится 17000 кДж теплоты.

При этом его температура понижается от 800 до 200⁰С. Найдите массу азота.

5. Найдите количество теплоты, необходимое для нагревания при $V = \text{const}$ 10 кг азота от 200 до 800 ⁰С .

Контрольные вопросы:

1. От каких параметров зависит значение теплоёмкости паров и идеальных газов?

2. Как определить молярную теплоёмкость газа по удельной теплоёмкости?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

«2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;

«3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;

«4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи;

«5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

Тема: Решение задач по теме: Закон сохранения энергии

Цель практического занятия:

- Закрепление теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (ОК 1 - ОК 2, ОК 4 - ОК 6).

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь:**

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена.

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:

Согласно первому началу термодинамики вся подведенная к рабочему телу теплота расходуется на изменение внутренней энергии и на совершение работы изменения объема.

$$Q_{1,2} = (U_2 - U_1) + L_{1,2}$$

$Q_{1,2}$ - теплота, подводимая или отводимая в процессе 1-2

U_1 и U_2 - внутренняя энергия в начале и конце процесса

$L_{1,2}$ - работа изменения объема

Ход работы:

Пример 1.

Газ находился в цилиндре с поршнем площадью поперечного сечения 200 см^2 . После того, как газ нагрели, сообщив ему количество теплоты в $1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$, поршень сдвинулся на расстояние 30 см . Как изменилась внутренняя энергия газа, если его давление осталось равным $2 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Решение.

1. Запишем уравнение первого начала термодинамики:

$$Q_{1,2} = (U_2 - U_1) + L_{1,2}$$

$$(U_2 - U_1) = Q_{1,2} - L_{1,2}$$

2. Найдем работу изменения объема, которую совершил газ:

$$L_{1,2} = pSh$$

$$L_{1,2} = 2 \cdot 10^7 * 2 \cdot 10^{-2} * 3 \cdot 10^{-1} = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Дж}$$

3. Найдем изменение внутренней энергии:

$$(U_2 - U_1) = 1,5 \cdot 10^5 - 1,2 \cdot 10^5 = 0,3 \cdot 10^5 \text{ Дж} = 30 \text{ кДж}$$

Задача 1. Газ получает из внешней среды теплоту 700 Дж, при этом внутренняя энергия газа возрастает на 150 Дж. Какую работу совершает газ?

Задача 2. Газ находился в цилиндре с поршнем площадью поперечного сечения 0,1 м². После того, как газ нагрели, сообщив ему количество теплоты в 20 кДж, его внутренняя энергия изменилась на 2 кДж. Давление осталось равным 2 МПа. На какое расстояние сместился поршень?

Задача 3. Гелий массой $m = 10$ кг, нагретый на $\Delta T = 200$ К, сохранил неизменный объем. Найти:

- 1) количество теплоты, сообщенное газу;
- 2) изменение внутренней энергии;
- 3) совершенную газом работу.

Задача 4. Азот массой 20 г был нагрет на 150 К при постоянном давлении p .

Определить:

- 1) количество теплоты, переданное газу;
- 2) работу расширения;
- 3) приращение внутренней энергии газа.

Задача 5. Водяной пар расширяется при постоянном давлении. Определить работу расширения, если пару передано количество теплоты 5 кДж.

Задача 6. В цилиндре под поршнем находится азот массой $m = 0,6$ кг, занимающий объем $V_1 = 1,2$ м³ при температуре $T = 560$ К. В результате подвода теплоты газ расширился и занял объем $V_2 = 4,2$ м³, причем температура осталась неизменной. Найти:

- 1) изменение ΔU внутренней энергии газа;
- 2) совершенную им работу A ;
- 3) количество теплоты Q , сообщенное газу.

Контрольные вопросы:

1. Как формулируется первое начало термодинамики?
2. В каком случае работа изменения объема является отрицательной?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

Тема: Решение задач по теме: Термодинамические процессы газов

Цель практического занятия:

- Систематизация теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (код). (ОК 1 - ОК 2, ОК 4 - ОК 6).

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь:**

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:

Часть 1. Исследование изохорного процесса газов

Изохорный процесс - изменение состояния рабочего тела, при котором удельный объём его остаётся постоянным ($v = \text{const}$). На p - v -диаграмме изохора - прямая линия, // оси давлений. В соответствии с законом Шарля $p_1 / p_2 = T_1 / T_2$.

Изменение уд. внутренней энергии $u_2 - u_1 = c (T_2 - T_1)$.

Уд. работа изменения объёма $l_{1,2} = P (v_2 - v_1) = 0$.

Уд. работа изменения давления $w_{1,2} = v (p_1 - p_2)$.

Уравнение первого начала ТД примет вид $q_{1,2} = c (T_2 - T_1)$.

Для газа произвольной массы m кг работа изменения объёма $L_{1,2} = m l_{1,2} = 0$;

работа изменения давления $W_{1,2} = V (p_1 - p_2)$;

изменение внутренней энергии $U_2 - U_1 = m c (T_2 - T_1)$;

уравнение первого начала ТД $Q_{1,2} = m c (T_2 - T_1)$.

Ход работы:

Пример 1. В баллоне $V = 15$ л воздух под $p = 0,4$ МПа при $t = 30^\circ\text{C}$.

Какова температура воздуха после подвода к нему 16 кДж теплоты? Удельная изохорная теплоёмкость $c = 736$ Дж / (кг К).

Решение.

1. Вычислим массу воздуха

$$m = p_1 V / (R_0 T) = 400000 * 0,015 / (287,1 * 303) = 0,069 \text{ кг}$$

R_0 найдем по таблице, $R_0 = 287,1$ Дж / (кг К).

2. Найдём конечную температуру.

$$t_2 = t_1 + Q / (m * c) = 30 + 16000 / (0,069 * 736) = 366^{\circ}\text{C}.$$

Задача:

1. К воздуху в баллоне вместимостью 100л при $p = 0,3$ МПа и $t = 15^{\circ}\text{C}$ подводится теплота в количестве 148,8 кДж. Найдите конечные температуру и давление воздуха в баллоне, если удельная изохорная теплоёмкость $c = 752$ Дж/(кг К).

2. В пусковом баллоне дизеля находится воздух под давлением $p_1 = 2,4$ МПа и при температуре $T_1 = 500$ К. Найдите давление в баллоне при охлаждении воздуха в нём до 15°C и количество выделенной при этом теплоты, если вместимость баллона $0,5$ м³, а удельная изохорная теплоёмкость $c = 726$ Дж/(кг К).

3. Какое количество теплоты нужно сообщить углекислому газу, находящемуся в баллоне вместимостью $0,8$ м³, для повышения давления от $0,1$ до $0,5$ МПа, принимая, что удельная изохорная теплоёмкость $c = 838$ Дж/(кг К)?

Часть 2. Исследование изобарного процесса газа

Изобарный процесс- изменение состояния рабочего тела, при котором давление его остаётся постоянным ($p = \text{const}$). Изобара - прямая линия оси удельных объёмов. Соотношения между параметрами соответствуют закону Гей-Люссака $v_1 / v_2 = T_1 / T_2$. Изменение внутренней энергии не зависит от вида процесса (см. изохорный процесс). Удельная работа изменения объёма примет вид

$$l_{1,2} = p (v_2 - v_1) \text{ или } l_{1,2} = R_0 (T_2 - T_1).$$

$$w_{1,2} = 0.$$

Уравнение первого начала ТД

$$q_{1,2} = c_p (T_2 - T_1) \text{ или } h_2 - h_1 = c_p (T_2 - T_1).$$

Для идеальных газов любой массы m работа изменения объёма $L_{1,2} = m R_0 (T_2 - T_1)$; количество теплоты $Q = m c_p (T_2 - T_1)$;

$$\text{изменение внутренней энергии (все виды процессов)} \quad U_2 - U_1 = m c_v (T_2 - T_1).$$

Ход работы:

Пример. Азот массой $0,5$ кг расширяется по изобаре ($p = 0,3$ МПа) так, что его температура повышается от 100 до 300°C . Найдите конечный объём азота, совершённую им работу и подведённую теплоту.

Решение.

1. Из таблицы находим удельную газовую постоянную для азота:

$$R_0 = 296,8 \text{ Дж/(кг К)}$$

$$\text{определим начальный объём } V_1 = m R_0 T_1 / p_1 = 0,184 \text{ м}^3.$$

теперь найдём конечный объём:

$$V_2 = V_1 T_2 / T_1 = 0,284 \text{ м}^3.$$

2. Определим работу изменения объёма: $L_{1,2} = p (V_2 - V_1) = 30$ кДж.

3. Определим теплоту, подведённую к газу, предварительно найдя (табл.) среднюю удельную изобарную теплоёмкость $c_p = 1,052$ кДж/(кг К).

Тогда $Q_{1,2} = m c_p (t_2 - t_1) = 105,2 \text{ кДж}$.

Задача:

1. Воздуху сообщается 42 кДж теплоты. Найдите совершенную работу, если $c_p = 1,01 \text{ кДж/(кг К)}$.

2. Воздух объемом 3 м^3 при $t = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ расширяется с увеличением объема в 1,5 раза при подводе к нему 630 кДж теплоты. Найдите давление расширения и совершенную при этом работу, если $c_p = 1,008 \text{ кДж/(кг К)}$.

3. Воздух при начальных условиях $V_1 = 50 \text{ л}$, $T_1 = 850 \text{ К}$, $p = 3 \text{ МПа}$ расширяется до $V_2 = 0,10 \text{ м}^3$. Найдите конечную температуру, подведенную теплоту, изменение внутренней энергии и работу изменения объема.

4. Воздух при начальных условиях $V_1 = 0,2 \text{ м}^3$, $p_1 = 0,2 \text{ МПа}$ подогревается в цилиндре $D = 0,5 \text{ м}$ от 18 до $182 \text{ }^\circ\text{C}$. Найдите работу расширения и расстояние, на которое сместится поршень в цилиндре, а также подведенную теплоту.

Часть 3. Исследование изотермического процесса газа.

Содержание работы: Изотермический процесс - изменение состояния рабочего тела, при котором температура его остаётся постоянной ($T = \text{const}$). Соотношение между параметрами соответствует закону Бойля - Мариотта:

$$v_2 / v_1 = p_1 / p_2 \text{ или } p_1 * v_1 = p_2 * v_2$$

Изотерма - равноосная гиперболола в осях p - v . Удельная работа изменения объема определяется по формуле $l_{1,2} = 2,3 p_1 v_1 \lg(v_2/v_1)$ или $l_{1,2} = 2,3 p_1 v_1 \lg(p_1/p_2)$, а $l_{1,2} = w_{1,2}$

$$\text{Удельная теплота } q_{1,2} = l_{1,2},$$

$$\text{т.к. } q = u_2 - u_1 + l_{1,2}, \text{ но в изотермическом процессе } u_2 - u_1 = 0$$

Ход работы:

Пример 1. Газ при н.у, $p_1 = 50 \text{ кПа}$, $v_1 = 0,5 \text{ м}^3/\text{кг}$. Построить в осях $p - V$ изотерму сжатия.

Решение. Строим в осях p - v т.1 с нашими параметрами, соблюдая масштаб.

Проводим через т.1 горизонтальную и вертикальную прямые $1d$ и $1m$. Из начала координат 0 проводим луч $0a$ под произвольным углом к осям, но так, чтобы он пересек прямые $1m$ и $1d$. Из точек пересечения a и a' восстановим к этим прямым перпендикуляры, которые пересекутся в точке 2 , принадлежащей искомой изотерме. Проводим из начала координат ряд лучей $0b$, $0c$ и $0d$. И, повторяя указанное построение, находим точки 3 , 4 и 5 , которые также будут принадлежать искомой изотерме. Проведем через эти точки плавную кривую — получим изотерму EF .

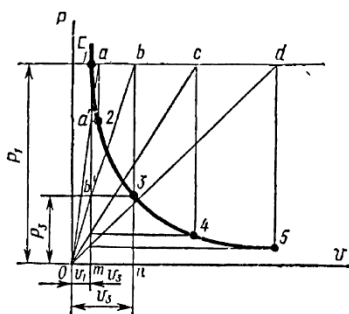


Рис. 7.5. Графический способ построения изотермы на p - v -диаграмме

Пример 2. Начальное состояние газа $p_1 = 1$ МПа, $v_1 = 0,5$ м³/кг. Построить изотерму расширения в осях p - v .

Пример 3. В компрессоре сжимается воздух массой 2 кг при $t = 200$ °С от: $p_1 = 0,1$ МПа до $p_2 = 2,5$ МПа. Найти массу воды, необходимую для охлаждения сжимаемого воздуха, если начальная $t_1 = 15$ °С, а конечная $t_2 = 50$ °С, удельная теплоёмкость воды $c_w = 4,19$ кДж/(кг К).

Решение.

1. Найдём работу сжатия $L_{1,2} = m l_{1,2} = 2,3 m R_o T \lg (p_1 / p_2)$.

Для воздуха $R_o = 287,1$ Дж/(кг К) / табл. / , тогда $L_{1,2} = - 873,3$ кДж.

2. Т.к. $Q_{1,2} = L_{1,2}$ то $Q_{1,2} = - 873,3$ кДж

В результате работы сжатия внутренняя энергия сжимаемого воздуха будет увеличена на 873,3 кДж и для сохранения постоянной температуры столько же теплоты нужно отвести от воздуха, охлаждая его водой. Искомое количество воды найдём, пользуясь уравнением $Q_{1,2} = m_w c_w (t_2 - t_1)$.

Откуда $m_w = Q_{1,2} / c_w (t_2 - t_1) = 5,95$ кг.

Задача. При изотермическом сжатии азота массой 2,1 кг, взятого при 60 °С и 0,1 МПа, отводится 340 кДж теплоты. Найти конечные давление и объём.

Часть 4. Исследование адиабатного и политропного процессов

Адиабатный процесс - изменение состояния рабочего тела без подвода и отвода теплоты. Адиабата- гиперболола с более крутым падением (чем изотерма).

Уравнение адиабаты $p v^k = \text{const}$, k - показатель адиабаты $k = c_p / c_v$ Положительная работа изменения объёма совершается за счёт уменьшения внутренней энергии рабочего тела, а отрицательная работа (работа сжатия) увеличивает его внутреннюю энергию. Политропными называются процессы, подчиняющиеся уравнению $p v^n = \text{const}$, n – показатель политропы. Все предыдущие процессы являются частными случаями политропных процессов. Основные формулы для ТД процессов сведены в таблицы.

Ход работы:

Пример 1. Воздух массой 2 кг при $p_1 = 1$ МПа и $t_1 = 300$ °С расширяется по адиабате так, что объём газа увеличивается в 5 раз. Найти конечные объём, давление, температуру, работу изменения объёма и изменение внутренней энергии.

Решение.

1.1. Найдём начальный объём $V_1 = m R_o T_1 / p_1$.

Найдем из таблицы $R_0 = 287,1 \text{ Дж/(кг K)}$, отсюда $V_1 = 0,33 \text{ м}^3$.

1.2. По условию $V_2 = 5 V_1$, поэтому $V_2 = 1,65 \text{ м}^3$. 3. Находим конечное давление из

$p_1/p_2 = (V_2 / V_1)^k$ для воздуха $k = 1,4$, отсюда $p_2 = 0,1 \text{ МПа}$.

1.3. Конечная температура $T_2 = p_2 V_2 / m R_0 = 287 \text{ К}$ ($14 \text{ }^\circ\text{C}$).

1.4. Работа изменения объёма будет равна $L_{1,2} = m R_0 (t_1 - t_2) / (k - 1) = 411 \text{ кДж}$.

1.5. Изменение внутренней энергии = работе изменения объёма, поэтому $U_2 - U_1 = -411 \text{ кДж}$.

Пример 2. Воздух при н.у, $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ и $t_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ адиабатно расширяется до $p_2 = 0,15 \text{ МПа}$. Во сколько раз должен увеличиться его объём и какова будет конечная температура?

Пример 3. Воздух при н.у. $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ и $t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ адиабатно сжимается до $p_2 = 0,8 \text{ МПа}$. Найти конечные уд. объём, t_2 , уд. работу изменения давления $w_{1,2}$.

Пример 4. Воздух при н.у. $V_1 = 8 \text{ м}^3$, $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ сжимается по политропе показателем $n = 1,2$ от $p_1 = 0,09 \text{ МПа}$ до $p_2 = 0,81 \text{ МПа}$. Найти конечные температуру, объём воздуха и работу изменения объёма.

Решение.

1.1. Находим конечную температуру: $T_2 = T_1 (p_2 / p_1)^{(n-1)/n} = 423 \text{ К}$.

1.2. Определяем конечный объём: $V_2 = (V_1 p_1 / p_2) (T_2 / T_1) = 1,28 \text{ м}^3$.

1.3. Находим работу изменения объёма: $L_{1,2} = (p_1 V_1 - p_2 V_2) / (n - 1) = -1,58 \text{ МДж}$

Пример 5. Газ ($V_1 = 6 \text{ м}^3$) сжимается политропно от $p_1 = 1 \text{ МПа}$ до $p_2 = 4 \text{ МПа}$ с уменьшением объёма до 2 м^3 . Найти показатель политропы и работу изменения объёма.

Пример 6. Воздух расширяется политропно с показателем $n = 1,45$. Будет ли при этом повышаться температура воздуха?

Пример 7. Газ сжимается политропно с показателем n . Как будет изменяться внутренняя энергия газа?

Контрольные вопросы

1. Какие процессы называются адиабатными?
2. Какие процессы являются частным случаем политропных процессов?
3. Чем отличаются адиабатные и политропные процессы?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

Тема: Решение задач по теме: Исследование цикла Карно теплового двигателя

Цель практического занятия:

- Обобщение теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (ОК 1 - ОК 2, ОК 4 - ОК 6).

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь**:

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:

Все реальные процессы - необратимы, а, следовательно, неравновесны. Для упрощения исследования реальных циклов (графического их изображения) необходимо, чтобы они были равновесными, т.е. состояли из обратимых процессов. Цикл Карно теплового двигателя - обратимый круговой процесс, совершаемый между 2-мя источниками теплоты с постоянными температурами (теплоотдатчика; теплоприёмника) и рабочим телом - идеальным газом. Весь цикл Карно теплового двигателя состоит из 2-х изотерм (1-2 и 3-4) и 2-х адиабат (2-3 и 4-1). Для определения термического к.п.д. этого цикла используется уравнение $\eta_t = 1 - T_2 / T_1$.

Ход работы:

Пример 1. Определите к.п.д. обратимого цикла теплового двигателя, если температура теплоотдатчика $t = 200$ °С, а теплоприёмника $t = 30$ °С.

Решение : $\eta_t = 1 - T_2 / T_1 = 0,36$

Пример 2. Температура океанской воды в тропиках на глубине 1 км равна 4 °С, а на поверхности 24 °С. Найдите термический к.п.д. теплового двигателя, если бы он работал по циклу Карно в этих условиях.

Пример 3. На Крайнем Севере под слоем вечного льда морская вода имеет температуру 3 °С, а температура наружного воздуха — 22 °С. Найдите термический к.п.д. теплового двигателя, если бы он работал по циклу Карно в таком интервале температур.

Пример 4. Исследуйте цикл Карно, совершаемый воздухом, если параметры точки 1 следующие: $p_1 = 2$ МПа и $T_1 = 600$ К, а параметры точки 3 : $p_3 = 120$ кПа и $T_3 = 300$ К.

Решение.

1. Параметры рабочего тела в характерных точках цикла:

1.1 Определим по уравнению состояния удельный объём воздуха для т. 1:

$$v_1 = R_0 T_1 / p_1 = 287,1 * 600 / 2 * 10^6 = 0,086 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

1.2. Для т.3 (адиабата 2-3) удельный объём найдём аналогично:

$$v_3 = R_0 T_3 / p_3 = 0,718 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

1.3. Для т.2 уд. объем найдём из уравнения адиабаты:

$$v_2 = v_3 (T_3 / T_2)^{1/(k-1)} = 0,127 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

1.4. По уравнению изотермы 1-2 находим давление в т.2 :

$$p_2 = p_1 (v_1 / v_2) = 1,35 \text{ МПа}.$$

1.5. Для т.4 определим удельный объём:

$$v_4 = v_3 (v_1 / v_2) = 0,486 \text{ м}^3 / \text{кг}.$$

Давление в этой точке: $p_4 = R_0 T_4 / v_4 = 177 \text{ кПа}.$

2. Определим удельную работу цикла, предварительно найдя значения удельных работ изменения объёма на отдельных участках цикла:

а) по изотерме расширения 1-2 $|l_{1,2}| = 2,3 R_0 T_1 \lg (v_2 / v_1) = 67,4 \text{ кДж/кг};$

б) по адиабате расширения 2-3 $|l_{2,3}| = (R_0 / (k - 1)) (T_2 - T_3) = 215 \text{ кДж/кг};$

в) по изотерме сжатия 3-4 $|l_{3,4}| = 2,3 R_0 T_3 \lg (v_3 / v_4) = 33,7 \text{ кДж / кг};$

г) по адиабате сжатия 4-1 $|l_{4,1}| = (R_0 / (k - 1)) (T_1 - T_4) = 215 \text{ кДж / кг}.$

Удельная работа цикла: $|l_0| = |l_{1,2}| + |l_{2,3}| - |l_{3,4}| - |l_{4,1}| = 33,7 \text{ кДж/кг}.$

3. Термический к.п.д. цикла Карно $\eta = 1 - T_3 / T_1 = 0,5 .$

Пример 5. Воздух совершает прямой цикл Карно. Исследуйте цикл, если известно, что $p_1 = 1 \text{ МПа}$, $t_1 = 227^\circ\text{C}$, $p_3 = 0,1 \text{ МПа}$, $v_2 = 0,178 \text{ м}^3 / \text{кг}.$

Контрольные вопросы

1. Какие циклы называются прямыми и какие обратными?
2. Из каких термодинамических процессов состоит цикл Карно теплового двигателя?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

Тема: Решение задач по теме: Исследование циклов ДВС

Цель практического занятия:

- Закрепление теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (код). (ОК 1 - ОК 2, ОК 4 - ОК 6).
- Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь:**

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена

Время выполнения: 4 академических часа

Часть 1. Исследование термодинамического цикла ДВС со смешанным подводом теплоты

Содержание работы:

Этому циклу соответствует работа четырёхтактного бескомпрессорного дизеля, но процессы впуска воздуха и выпуска отработавших газов (I и IV такты) являются чисто механическими (на pV - и Ts -диаграммах не показаны). Термодинамический цикл начинается при нахождении поршня в НМТ (т. а). Линия $a-c$ - линия адиабатического процесса сжатия идеального газа, при этом повышаются давление и температура, но уменьшается уд. объём газа. Далее по изохоре $c-z'$ и изобаре $z'-z$ происходит подвод теплоты. Линия $z-b$ - адиабатное расширение газа (падают давление и температура, но увеличивается уд. объём). По изохоре $b-a$ теплота отводится.

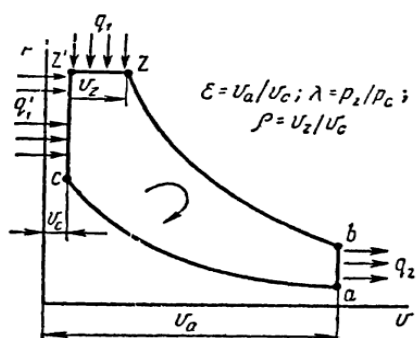


Рис. 10.2. pV -диаграмма цикла со смешанным подводом теплоты

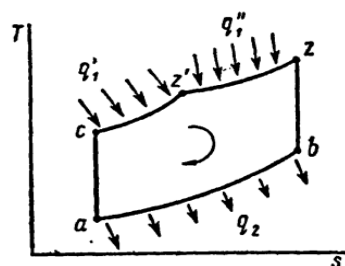


Рис. 10.3. Ts -диаграмма цикла со смешанным подводом теплоты

Этот цикл характеризуют:

степень сжатия в начале сжатия к уд. объёму в конце сжатия:

$$\varepsilon = V_a / V_c;$$

степень повышения давления - отношение давления в конце подвода

теплоты к давлению в начале подвода теплоты:

$$\lambda = P_z / P_c$$

степень предварительного расширения - отношение уд. объёма газа в конце подвода теплоты к уд. объёму в начале подвода теплоты:

$$\rho = V_z / V_c$$

Ход работы:

Пример 1. Исследуйте термодинамический цикл со смешанным подводом теплоты по следующим данным: $p_a = 0,1$ МПа; $t_a = 27$ °С; $c_v = 0,72$ кДж/(кг К); $|q_1'| + |q_1''| = 1340$ кДж / кг; $k = 1,4$; $p_z = 5,5$ МПа и $\varepsilon = 15$. Рабочее тело - воздух (ид. газ) массой 1 кг.

Решение. 1. Находим параметры в характерных точках цикла:

в точке «а» - начале сжатия $v_a = R_0 T_a / p_a = 0,861$ м³/кг;

в точке «с» - конце сжатия $v_c = v_a / \varepsilon = 0,0573$ м³/кг;

$p_c = p_a (v_a / v_c)$ или $p_c = p_a \varepsilon^k = 4,43$ МПа

в точке «в» $T_c = p_c v_c / R_0 = 883$ К или $t_c = 610$ °С;

в точке «z'» - конце подвода теплоты при постоянном объёме: $\lambda = p_z / p_c = 1,242$,

тогда $T_{z'} = T_c \lambda = 1097$ К = 824 °С;

$V_{z'} = V_c = 0,0573$ м³/кг;

в точке «z» - конце подвода теплоты при постоянном давлении - предварительно найдём количество подведённой при этом теплоты

$|q_1'| = c_v (T_{z'} - T_c) = 154$ кДж/кг, поэтому $|q_1''| = 1340 - 154 = 1186$ кДж/кг. Температуру в т. z

$T_z = |q_1''| / c_p + T_{z'}$, где $c_p = k c_v = 1,01$ кДж/(кг К), тогда $T_z = 2274$ К или $t_z = 2001$ °С.

Находим уд. объём в этой точке, предварительно определив степень

предварительного расширения: $\rho = T_z / T_{z'} = 2,07$, отсюда $V_z = \rho V_{z'} = 0,118$ м³/кг;

в точке «b» - конце адиабатического расширения - уд. объём = уд. объёму в т. «а» = $0,861$ м³/кг;

температура $T_b = T_a p^k \lambda = 1034$ К или $t_b = 761$ °С.

Давление $P_b = R_0 T_b / V_b = 0,345$ МПа.

Определим термический к.п.д. цикла $n_t = (1 - 1/\varepsilon^{k-1}) * [(\lambda p^k - 1) / (\lambda - 1 + k \lambda (p - 1))] = 0,605$ (60,5 %).

Проверка.

Уд. работа цикла: $|l_0| = |l_{z'-z}| + |l_{z-b}| - |l_{a-c}|$;

$|l_{z'-z}| = R_0 (T_{z'} - T_z) = 287,1 (2274 - 1097) = 337,9$ кДж / кг ;

$|l_{z-b}| = R_0 (T_z - T_b) / (k-1) = 287,1 (2274 - 1034) / (1,4 - 1) = 890$ кДж/кг;

$|l_{a-c}| = R_0 (T_c - T_a) / (k-1) = 287,1 (883 - 300) / (1,4 - 1) = 418$ кДж/кг.

Тогда $|l_0| = 337,9 + 890 - 418 = 809$ кДж/кг.

термический к.п.д. цикла

$$\eta_t = |l_0| / |q_1| = |l_0| / (|q_1'| + |q_1''|) = 0,604 \text{ (60,4 \%)}.$$

Пример 2. Найдите параметры в характерных точках цикла со смешанным подводом теплоты и термический к.п.д., если известно, что рабочее тело – воздух; $p_a = 0,1$ МПа; $T_a = 288$ К; $|q_1| = 840$ кДж/кг; $\lambda = 1,8$; теплоёмкость $c_v = 0,840$ кДж/(кгК); $\varepsilon = 15$.

Часть 1. Исследование термодинамического цикла ДВС с изобарным подводом теплоты

В точке 1 происходит процесс засасывания чистого атмосферного воздуха. Кривая 1-2 показывает процесс адиабатного сжатия этого воздуха до давления p_2 . Обычно, степень сжатия достигает в цикле Дизеля значений $\varepsilon = 15 \dots 16$

В точке 2 начинается впрыск топлива в цилиндр, которое самовоспламеняется и сгорает при постоянном давлении, что обеспечивает расширение газа от V_2 до V_3 (при $p = \text{const}$).

В точке 3 процесс впрыска топлива и его сгорания оканчивается и начинается адиабатное расширение рабочего тела (процесс трансформации теплоты в работу).

В точке 4 открывается выхлопной клапан цилиндра, и давление в цилиндре понижается до атмосферного – идёт процесс изохорного теплообмена 4-1, газ высокого давления и температуры выталкивается в атмосферу.

Как видно из диаграммы, идеализированный цикл Дизеля состоит из двух адиабат (адиабата сжатия 1-2 и адиабата расширения 3-4, изобары 2-3, по которой осуществляется подвод тепла Q_1 и изохоры 4-1), по которой осуществляется отвод тепла Q_2 к холодному источнику.

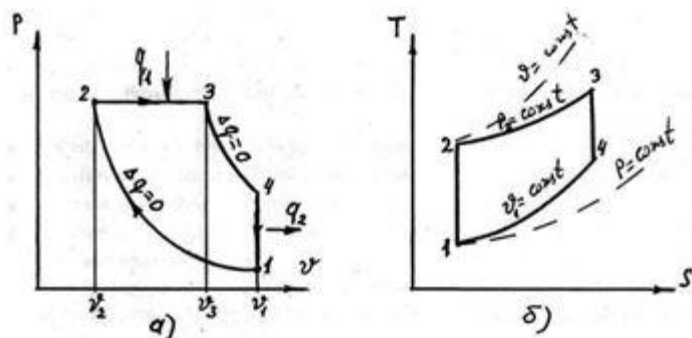


Рис.1 Изображение идеального цикла двигателя с подводом тепла при постоянном давлении а) в рабочей диаграмме б) тепловой диаграмме

Вычислим термический КПД этого цикла. Для этого введём дополнительные обозначения – степень предварительного расширения ρ и степень последующего расширения δ .

$$\rho = \frac{V_3}{V_2} \quad (1)$$

$$\delta = \frac{V_4}{V_3} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2}$$

Степень сжатия двигателя:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Из общего выражения для термического КПД любого цикла

С учётом того, что в изобарном процессе 2-3: $Q_1 = C_p (T_3 - T_2)$

И в изохорном процессе 4-1: $Q_2 = C_v (T_4 - T_1)$

$$\eta = 1 - \frac{C_v (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)}$$

Получаем

Выразим каждую последующую температуру через предыдущую.

Для адиабатного процесса 1-2

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \text{ отсюда} \quad \underline{T_2 = T_1 \varepsilon^{\gamma-1}}$$

Для изобарного процесса 2-3: $\frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2}$

$$\text{Тогда } \underline{T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2} = T_2 \rho = T_1 \rho \varepsilon^{\gamma-1}}$$

Для адиабатного процесса (3-4)

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1}, \text{ отсюда } T_4 = T_3 \frac{1}{\delta^{\gamma-1}}; \quad T_4 = T_1 \varepsilon^{\gamma-1} \rho \frac{1}{\delta^{\gamma-1}}$$

Так как $V_1=V_4$ и $\delta = \frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_3} = \frac{V_1}{\rho V_2} = \frac{\varepsilon}{\rho}$, то можно записать $T_4 = T_1 \frac{\varepsilon^{\gamma-1} \rho \rho^{\gamma-1}}{\varepsilon^{\gamma-1}} = T_1 \rho^\gamma$

Подставляя полученные значения температур, в уравнение термического КПД получим

$$\eta = 1 - \frac{C_V(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{(T_1 \rho^\gamma - T_1)}{(T_1 \rho \varepsilon^{\gamma-1} - T_1 \varepsilon^{\gamma-1})} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{(\rho^\gamma - 1)}{(\varepsilon^{\gamma-1}(\rho - 1))} \quad (3)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}} \cdot \frac{\rho^{\gamma-1}}{\gamma(\rho - 1)}$$

Анализ соотношения (3) показывает, что термический КПД цикла Дизеля тем выше, чем

больше степень сжатия (как и в цикле Отто: $\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}$)

и чем выше величина ρ (степени предварительного расширения).

Для сравнения циклов Отто и Дизеля необходимо принимать в обоих циклах либо одинаковую величину степени сжатия ε , либо наивысшую температуру рабочего тела в цикле (T_3). При этом исходные параметры рабочего тела в начальной точке цикла (p_1, V_1, T_1) должны быть одинаковыми в обоих циклах.

Для случая, когда в циклах одинаковые степени сжатия из выражений (2) и (3) видно что термический КПД цикла Отто выше термического КПД Дизеля. Однако главным преимуществом цикла Дизеля является возможность работать при более высоких степенях сжатия (по сравнению с циклом Отто). Поэтому более правомерно сравнение при условии одинаковой наивысшей температуры цикла (T_3).

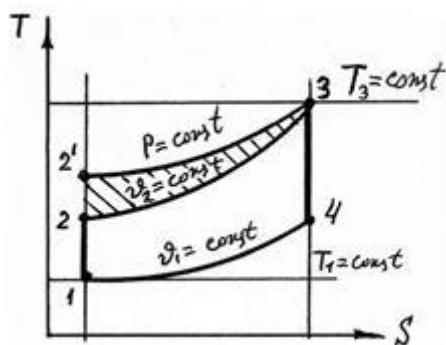


Рис. 2. Сравнение циклов Отто и дизеля

На рис. 2 в диаграмме T-S совмещены циклы Отто и Дизеля при одинаковых начальных (p_1, V_1, T_1) параметрах и одинаковой максимальной температуры. Так как изохора идёт круче изобары, очевидно, что тепла, трансформируемого в работу в цикле Дизеля больше и, следовательно, термический КПД цикла Дизеля выше.

При сравнении обоих циклов при равной работе и максимальном давлении видно, что тепла q_2 в цикле Отто больше и, следовательно, h цикла Отто ниже.

Кроме того, двигатель Дизеля может работать на менее качественном и потому более дешёвом топливе.

Известным недостатком двигателя Дизеля (по сравнению с циклом Отто) является необходимость затрат работы на привод устройства для распыления топлива.

Задача 1. Определить параметры узловых точек цикла, термический КПД, величины подведенного и отведенного тепла, работы в идеальном цикле ДВС с изохорным подводом тепла, если $p_1 = 100000$ Па, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, $\varepsilon = 4,6$; $\lambda = 4$; Рабочее тело – воздух. Цикл в тепловой и рабочей диаграммах изображен на рис

Задача 2. Определить параметры узловых точек, термический КПД, отведенное тепло Q_2 , работу в идеальном цикле ДВС с изобарным подводом тепла, если $p_1 = 100000$ Па, $t_1 = 25^\circ\text{C}$, степень сжатия $\varepsilon = 14,5$, подведенное тепло $Q_2 = 802$ Дж/кг.

Контрольные вопросы:

1. На какие группы по принципу работы делятся циклы ДВС?
4. От каких величин и как зависит работа и КПД цикла с подводом теплоты при постоянном объеме?
5. Что такое степень сжатия и степень повышения давления?
6. Почему в цикле с подводом теплоты при постоянном объеме ограничено увеличение степени сжатия и степени повышения давления?
7. От каких величин и как зависит работа и КПД цикла с подводом теплоты при постоянном давлении?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

Тема: Решение примеров и задач с использованием таблиц и диаграмм водяного пара

Цель практического занятия:

- Углубление теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (код). (ОК 1 - ОК 2, ОК 4 - ОК 6).
- Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь**:

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена

Время выполнения: 4 академических часа

Содержание работы:

Основные формулы для расчета параметров водяного пара

При образовании пара в паровое пространство котла всегда попадают частицы воды, увлекаемые выделяющимся паром; особенно сильное увлажнение пара происходит в современных мощных котлах при работе их с большой нагрузкой. Кроме того, насыщенный пар обладает тем свойством, что при самом незначительном отнятии теплоты часть пара обращается в воду (конденсируется); вода в виде мельчайших капелек удерживается в паре. Таким образом, практически мы всегда имеем смесь сухого пара и воды (конденсата); такой пар называется **влажный насыщенный пар**. Так же как и у сухого насыщенного пара, температура влажного пара всегда соответствует его давлению.

Состав влажного пара принято выражать в весовых частях пара и воды. Вес сухого пара в 1 кг влажного пара называется паросодержанием или степенью сухости и обозначается буквой «х».

Значение «х» обычно дают в сотых долях. Таким образом, если говорят, что у пара «х»=0,95, то это значит, что во влажном паре содержится по весу 95% сухого пара и 5% воды.

При «х»=1 насыщенный пар носит название сухого насыщенного пара.

Один килограмм воды при своем испарении дает один килограмм пара; объем получающегося пара зависит от его давления, а, следовательно, и от температуры. В противоположность воде, которая по сравнению с газами почти несжимаема, пар может сжиматься и расширяться в очень широких пределах.

Удельный объем, то есть объем 1 кг пара, при давлении 1 ата для сухого насыщенного пара равен $1,425 \text{ м}^3$, то есть в 1725 раз больше объема 1 килограмма воды.

При повышении давления удельный объем пара уменьшается, та как пар как упругое тело сжимается; так, при давлении 5 ата объем 1 кг сухого насыщенного пара уже равен только $0,3816 \text{ м}^3$.

Для определения параметров состояния воды и водяного пара служат таблицы термодинамических (теплофизических) свойств воды и водяного пара. Современные таблицы составлены с использованием Международной системы единиц СИ. В таблицах приняты следующие обозначения физических величин и их размерности:

p – давление, Па: $1 \text{ МПа} = 103 \text{ кПа} = 10^6 \text{ Па} = 10 \text{ бар}$;

T – температура, К;

t – температура, °С:

v – удельный объем, $\text{м}^3/\text{кг}$;

h – удельная энтальпия, кДж/кг;

s – удельная энтропия, кДж/(кг×град).

В термодинамических расчетах принято параметры (кроме p и t) обозначать для жидкости при температуре насыщения (кипения) индексом "штрих" (v' , h' , s'), для сухого насыщенного пара индексом "два штриха" (v'' , h'' , s''), а для влажного насыщенного пара индексом "х" (v_x , h_x , s_x).

В таблицах приводятся также значения удельной теплоты парообразования

$r = h'' - h'$ и разности энтальпии в состоянии насыщения s'' и s'

Ход работы:

Задача 1. С помощью теоретических таблиц можно определить параметры влажного насыщенного пара при: $P = 1,5 \text{ МПа}$ и $x = 0,95$. Найдите значение удельного объема и энтальпии.

Дано:

Из таблицы при $P = 1,5 \text{ МПа}$ имеем:

$t_n = 196,12^\circ\text{С}$;

$v' = 0,0011520 \text{ м}^3/\text{кг}$;

$v'' = 0,14692 \text{ м}^3/\text{кг}$;

$h' = 840,6 \text{ кДж/кг}$;

$h'' = 2787,2 \text{ кДж/кг}$;

$r = 1951,6 \text{ кДж/кг}$;

$S' = 2,2930 \text{ кДж/кг}$;

$S'' = 6,4610 \text{ кДж/кг}$.

Решение:

По уравнению получаем:

Удельный объем $v_x = x(v'' - v') + v' = 0,95(0,14692 - 0,001152) + 0,001152 = 0,1396$ м³/кг;

Энтальпия $h_x = h' + x(h'' - h') = h' + x \cdot r = 840,6 + 0,95 \cdot 1951,6 = 2694,62$ кДж/кг;

Задача 2. Найти энтропию влажного насыщенного пара при $p = 2$ МПа и $x = 0,86$.

Задача 3. Определить массу и энтальпию 0,5 м³ влажного пара с влажностью 10 % и давлением 10⁶ Н/м².

Задача 4. Найдите относительную влажность воздуха в комнате при температуре 18°C, если при температуре 10°C появилась роса.

Задача 5. В 10 л воздуха при температуре 30°C содержится 0,2 г водяного пара. Какое количество пара сконденсируется, если при постоянной температуре уменьшить объём воздуха вдвое?

Задача 6. Найдите массу 1 м³ влажного воздуха при температуре 36°C и давлении 1013 гПа, если относительная влажность его 80%, а давление насыщенного пара при этой температуре 5,945 кПа.

Задача 7. В комнате объёмом $V = 150$ м³ поддерживается температура $T_1 = 293^0$ К, а точка росы равна $T_2 = 283^0$ К. Определите относительную влажность воздуха и количество водяных паров, содержащихся в комнате. (1,4 кг)

Задача 8. В запаянной трубке объёмом $V = 0,4$ л находится водяной пар под давлением $p_n = 8,5$ кПа при температуре $T_n = 423^0$ К. Сколько росы выпадает на стенках трубки при охлаждении воды до температуры $T_{н. п.} = 295^0$ К? Давление насыщающих паров воды при температуре 295 К равно $p_{н. п.} = 2,6$ кПа. (9 мг)

Контрольные вопросы:

1. Как определить энтальпию влажного насыщенного пара?
2. Как определить энтропию сухого насыщенного?
3. Как определить энтропию влажного насыщенного пара?
4. Перечислите основные свойства сухого, влажного и перегретого пара.

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

Тема: Исследование процессов дросселирования водяного пара с помощью диаграммы $h-s$.

Цель практического занятия:

- Углубление теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (код). (ОК 1 - ОК 2, ОК 4 - ОК 6).

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь:**

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:

Ранее мы рассматривали истечение через сопла, в которых происходит понижение давления газа и повышение его скорости истечения. Такой процесс может протекать и в обратном направлении. В этом случае скорость газа уменьшается, а давление его повышается, т.е сопло превращается в диффузор.

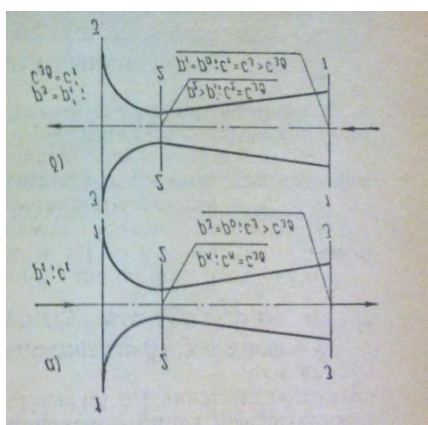


Рис. 14.10. Процесс дросселирования газа и пара на hs -диаграмме

$$c_3 = \sqrt{c_1^2 - \frac{2k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_3}{p_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right]}$$

$$w_{1,2} = \frac{c_1^2}{2} - \frac{c_2^2}{2} = \frac{k}{k-1} p_1 v_1 \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right].$$

Ход работы:

Пример 14.5. Определить изменение состояния перегретого водяного пара, давление которого дросселированием понижается до 0,3 МПа, если начальные параметры пара: $p_1 = 2$ МПа и $t_1 = 250$ °С.

Решение. Найдя на *is*-диаграмме в пересечении изобары $p_1 = 2$ МПа и изотермы $t_1 = 250$ °С начальную точку / линии процесса и проведя через нее горизонтальную линию вправо, параллельно оси энтальпии, до пересечения с изобарой $p_2 = 0,3$ МПа, получим конечную точку 2, которая лежит на изотерме 220 °С.

Следовательно, температура пара в процессе дросселирования понизилась от $t_1 = 250$ °С до $t_2 = 220$ °С.

Выясним теперь, как отразилось дросселирование на степени перегрева пара. Температура кипения при давлении $p_1 = 2$ МПа до $t_{2,s} = 212$ °С, поэтому в начальном состоянии степень перегрева $\Delta t_1 = t_1 - t_{1,s} = (250 - 212)$ °С = 38 °С.

При давлении $p_2 = 0,3$ МПа температура, кипения $t_{2,s} \sim 133,5$ °С, поэтому в конце дросселирования степень перегрева $\Delta t_2 = t_2 - t_{2,s} = (220 - 133,5)$ °С = 86,5 °С. т. е. степень перегрева пара увеличилась на $\Delta t_2 - \Delta t_1 = (86,5 - 38)$ °С = 48,5 °С.

Задачи: 14.9; 14.10 учебник Кузовлев В.А. «Техническая термодинамика и основы теплотехники», М., «Высшая школа», 1983, 335с.

Контрольные вопросы:

1. Какие насадки называются диффузорами?
2. Как изображается процесс истечения через диффузор на *hs*-диаграмме?
3. Может ли влажный пар, проходя через диффузор, превратиться в перегретый?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 9

Тема: Определение термического КПД цикла Ренкина с использованием диаграммы $h-s$.

Цель практического занятия:

- Закрепление, углубление, систематизация, обобщение теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (код). (ОК 1-10, ПК 1.1-1.5, МК-4)

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь:**

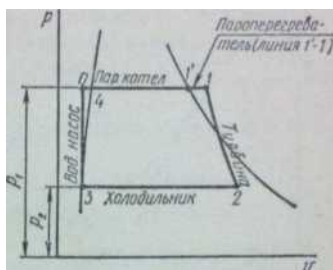
- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

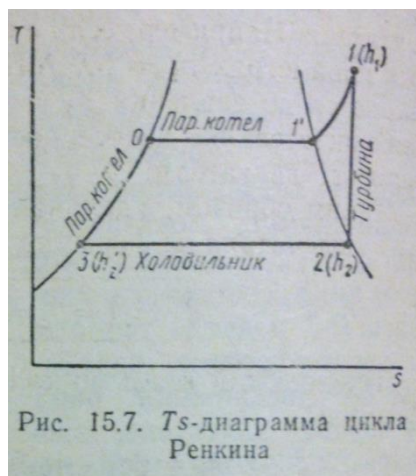
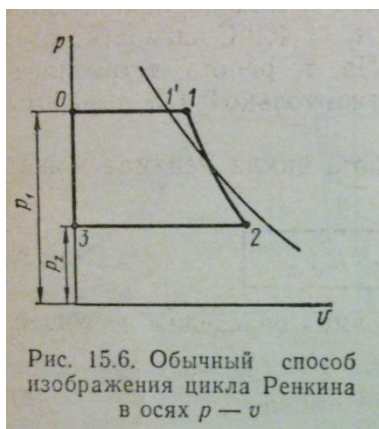
- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:



В цикле Ренкина предусматривается полная конденсация пара в конденсаторе. На $p-v$ -диаграмме, показанной на рис. 15.5, видно, что этот цикл состоит из изобары 0-1 подвода теплоты в теплоотдатчике, адиабаты 1-2 расширения пара в паровом двигателе, изобары 2-3 отвода теплоты в теплоприемнике и изохоры 3-0 повышения давления в питательном насосе (см. рис. 15.1). В точке 0 — точке начала подвода теплоты — температура воды примерно такая же, как и в насосе в начале повышения давления, т. е. равна $t_{1ф}$. В теплоотдатчике (котельном агрегате) происходит процесс подвода теплоты при постоянном давлении $p_{хг}$ причем участок 0-1 относится к процессу повышения температуры жидкости от температуры t_{2a} до $t_{1г}$ — температуры кипения при давлении $p_{хг}$. Дальнейший же процесс подвода теплоты, изображаемый линией 1-1', является процессом превращения кипящей жидкости в сухой насыщенный, а затем в перегретый пар.



$$w_{1,2} = (h_1 - h_2)_{ад} = h_t,$$

$$|l_0| = h_t = (h_1 - h_2)_{ад}.$$

$$\eta_t = h_t / (h_1 - h'_2).$$

$$\eta_t = (|q_1| - |q_2|) / |q_1| = |l_0| / |q_1|,$$

Ход работы:

Пример 15.2. Найти удельный расход водяного пара и термический к. п. д. идеального парового двигателя, работающего по циклу Ренкина, если начальные параметры пара

$$p_1 = 1,5 \text{ МПа}, \quad x_{1x} = 0,9, \text{ а давление пара в конденсаторе } p_2 = 20 \text{ кПа}.$$

Решение: стр.213 Кузовлев В.А. «Техническая термодинамика и основы теплотехники», М., «Высшая школа», 1983, 335с. Пример 15.3. и Задачи: 15.3; 15.4; 15.5; 15.6

Контрольные вопросы:

1. Почему в паросиловой установке, работающей по циклу Ренкина, необходим-водяной насос?
2. От каких величин зависят в цикле Ренкина удельный расход пара и удельная работа?
3. Почему в одинаковых температурных пределах термический КПД регенеративного цикла выше термического КПД цикла Ренкина?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в рабочей тетради или тетради для выполнения практических работ и т.п.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10

Тема: Расчёт необходимого количества воздуха для процесса сгорания

Цель практического занятия:

- Углубление теоретического материала;
- Развитие навыков самостоятельной деятельности;
- Формирование компетенций/компетентностей в соответствии с требованиями ФГОС СПО/ МК ПДНВ (код). (ОК 1 - ОК 2, ОК 4 - ОК 6).

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь**:

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:

Судовые дизели работают на жидком топливе, которое характеризуется такими свойствами, как плотность, теплота сгорания, вязкость, температуры вспышки, самовоспламенения и кристаллизации.

Теплота сгорания — количество выделившейся теплоты при полном сгорании массовой (для твердых и жидких веществ) или объёмной (для газообразных) единицы вещества. Измеряется в джоулях или калориях.

Теплота сгорания может быть отнесена к рабочей массе горючего вещества Q^p , то есть к горючему веществу в том виде, в каком оно поступает к потребителю; к сухой массе вещества Q^c к горючей массе вещества Q^f , то есть к горючему веществу, не содержащему влаги и золы.

Различают высшую Q_v и Q_n низшую теплоту сгорания.

Под **высшей теплотой сгорания** понимают то количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании вещества, включая теплоту конденсации водяных паров при охлаждении продуктов сгорания.

Низшая теплота сгорания соответствует тому количеству теплоты, которое выделяется при полном сгорании, без учёта теплоты конденсации водяного пара.

Теплоту конденсации водяных паров также называют скрытой теплотой парообразования (конденсации).

Низшая и высшая теплота сгорания связаны соотношением:

$$Q_v = Q_n + k(W + 9H),$$

где k — коэффициент, равный 25 кДж/кг (6 ккал/кг);

W — количество воды в горючем веществе, % (по массе);

H — количество водорода в горючем веществе, % (по массе).

Таким образом, высшая теплота сгорания — это количество теплоты, выделившейся при полном сгорании единицы массы или объема (для газа) горючего вещества и охлаждении продуктов сгорания до температуры точки росы.

В теплотехнических расчетах высшая теплота сгорания принимается как 100 %. Скрытая теплота сгорания газа — это теплота, которая выделяется при конденсации водяных паров, содержащихся в продуктах сгорания. Теоретически она может достигать 11 %.

На практике не удастся охладить продукты сгорания до полной конденсации, и потому введено понятие низшей теплоты сгорания ($Q_{Нр}$), которую получают, вычитая из высшей теплоты сгорания теплоту парообразования водяных паров как содержащихся в веществе, так и образовавшихся при его сжигании. На парообразование 1 кг водяных паров расходуется 2514 кДж/кг (600 ккал/кг).

Ход работы:

Задача 1. Смешали бензин объемом 1,5 л и спирт объемом 0,5 л. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании этого топлива?

Дано:

$$V_1 = 1,5 \text{ л} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$q_1 = 46 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

$$\rho_1 = 710 \text{ кг/м}^3$$

$$V_2 = 0,5 \text{ л} = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$q_2 = 27 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$$

$$\rho_2 = 800 \text{ кг/м}^3$$

Q-?

Решение:

$$\text{Масса бензина } m_1 = \rho_1 \cdot V_1$$

$$\text{Масса спирта: } m_2 = \rho_2 \cdot V_2$$

$$\text{Общая теплота сгорания } Q = Q_1 + Q_2$$

$$Q_1 = m_1 \cdot q_1 = \rho_1 \cdot V_1 \cdot q_1$$

$$Q_2 = m_2 \cdot q_2 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot q_2$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = \rho_1 \cdot V_1 \cdot q_1 + \rho_2 \cdot V_2 \cdot q_2 = 59,79 \text{ МДж}$$

Задача 2. Сколько спирта надо сжечь, чтобы изменить температуру воды массой 6 кг от 10 до 30 °С, если вся теплота, выделенная при горении спирта, пойдет на нагревание воды?

Задача 3. Сколько теплоты выделится при полном сгорании спирта объемом 0,00005 м³; бензина объемом 25 л; нефти объемом 250 л?

Задача 4. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании пороха массой 25 г; торфа массой 0,5 т; каменного угля массой 1,5 т?

Задача 5. На сколько изменится температура воды, масса которой 40 кг, если ей передать всю энергию, выделившуюся при сгорании керосина, масса которого равна 150 г?

Контрольные вопросы:

1. Какие виды топлива вам известны?
2. Опишите процесс горения топлива
3. Расскажите особенности горения газообразного топлива
4. Назовите методы сжигания газового топлива
5. Раскройте особенности горения жидкого топлива

6. Перечислите этапы сжигания жидкого топлива

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

- «2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;
- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11

Тема: Решение задач на законы гидростатики

Цель практического занятия:

1. углубление теоретического материала;
2. развитие навыков самостоятельной деятельности;
3. формирование компетенций в соответствии с требованиями ФГОС СПО ОК 1, ОК 2, ОК 4, ОК 5, ОК 6, ОК 7.

Требования к результатам освоения учебной дисциплины в соответствии с ФГОС СПО:

Обучающийся должен **уметь**:

- выполнять термодинамический расчет теплоэнергетических устройств и двигателей.

знать:

- общие законы статики и динамики жидкостей и газов, законы термодинамики, основные понятия теории теплообмена.

Время выполнения: 2 академических часа

Содержание работы:

Гидростатика – раздел гидравлики, изучающий законы равновесия жидкости и их применение.

Напряжение в жидкости описывается давлением.

Давление (p) – величина, равная отношению модуля силы давления F , действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности.

$$p = \frac{F}{S} \quad (\text{Н/м}^2)$$

При равномерном распределении сил давления, давление на всех участках поверхности одинаково и численно равно силе давления, действующую на поверхность единичной площади.

В гидростатике изучают жидкость, находящуюся в покое. Касательные напряжения в ней равны нулю. Считается также, что жидкость неспособна сопротивляться растягивающим усилиям. Поэтому будем считать, что в любой точке жидкости имеется только нормальное напряжение $\sigma = \sigma_n$.

Гидростатическим давлением в данной точке называют скалярную величину, равную значению напряжения в рассматриваемой точке: $p = |\sigma|$, где $|\sigma|$ - значение напряжения.

Если на жидкость действует какая-то внешняя сила, то говорят, что жидкость находится под давлением. В покоящейся жидкости всегда присутствует сила давления, которая называется гидростатическим давлением.

Жидкость оказывает силовое воздействие на дно и стенки сосуда. Частицы жидкости, расположенные в верхних слоях водоема, испытывают меньшие силы сжатия, чем частицы жидкости, находящиеся в нижних.

Ход работы:

Задача 1. Какая жидкость находится в сосуде, если столб высотой 0,3 м оказывает давление 5400 Па ?

Дано:
 $h = 0,3 \text{ м}$
 $p = 5400 \text{ Па}$
 $g = 10 \text{ Н/кг}$

$\rho = ?$

Решение:

$$p = \rho gh; \quad \rho = \frac{p}{gh}$$

$$\rho = \frac{5400 \text{ Па}}{10 \text{ Н/кг} \cdot 0,3 \text{ м}} = 1800 \text{ кг/м}^3$$

Ответ: Серная кислота

Задача 2. Определить избыточное давление на глубине 4 м.

Задача 3. Определить давление бензина на дно цистерны, если высота столба бензина 2,4 м, а его плотность 710 кг/м^3

Задача 4. Гидростатическое давление жидкости увеличилось в 5 раз. Как при этом изменилась высота столба жидкости в сосуде?

Задача 5. Вертикально стоящая бочка высотой 1,2 м наполовину наполнена керосином. Какое давление оказывает керосин на дно бочки? Атмосферное давление не учитывается. Дано:

Задача 6. В цилиндрическую мензурку налиты ртуть и вода в равных по массе количествах. Общая высота двух слоев жидкости равна 29,2 см. Найдите высоту каждой жидкости и давление на дно мензурки. Плотность ртути $\rho = 1,36 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$, воды $\rho_{\text{в}} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Задача 7. Рыба камбала находится на глубине 1200 м и имеет площадь поверхности 560 см^2 . С какой силой она сдавливается водой?

Контрольные вопросы:

1. Жидкость находится под давлением. Что это означает?
2. Какое давление называется вакуумметрическим?
3. В каких случаях возникает избыточное давление?
4. В чем состоит физический смысл основного уравнения гидростатики?

Требования к отчёту по практической работе:

Выполненная работа представляется преподавателю в тетради для выполнения практических работ.

Критерии оценивания:

«2» - нет ответа на вопрос и неправильное решение задачи;

- «3» - нет ответа на вопрос, правильное решение задачи;
- «4» - не полный ответ на вопрос, правильное решение задачи
- «5» - полный ответ и правильное решение задачи.

4.2 Задания для промежуточной аттестации

П Е Р Е Ч Е Н Ь

вопросов для подготовки к дифференцированному зачету
по учебной дисциплине

ОП.07 ТЕХНИЧЕСКАЯ ТЕРМОДИНАМИКА И ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

для обучающихся по специальности 26.02.05 Эксплуатация судовых
энергетических установок.

1. Уравнения Эйлера, давление и разрежение.
2. Законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля.
3. Закон Авогадро, уравнение Менделеева.
4. Теплоёмкость, её виды и характеристики.
5. Уравнение первого начала термодинамики.
6. Внутренняя энергия. Закон Джоуля.
7. $P-v$ - диаграмма.
8. Работа изменения объема.
9. Работа изменения давления.
10. Энтальпия.
11. Обратимые равновесные процессы.
12. Изохорный, изобарный процессы.
13. Изотермический процесс.
14. Адиабатный и политропные процессы.
12. Формулировки 2 начала термодинамики.
13. Круговые процессы (циклы) тепловых машин.
14. Прямой и обратный циклы.
15. Цикл Карно теплового двигателя.
16. К.П.Д прямого цикла Карно.
17. Энтропия.
18. Процессы компрессорных машин.
19. Термодинамический цикл ДВС со смешанным подводом теплоты.
20. Термодинамический цикл ДВС с изохорным подводом теплоты.
21. Термодинамический цикл ГТУ с изобарным подводом теплоты.
22. Физико-технические свойства топлив для дизелей.
23. Основные параметры состояния жидкости и пара.
24. Пограничные кривые. Критическая температура.
25. Таблицы параметров влажного, сухого и перегретого пара.
26. Ts - диаграмма.
27. hs - диаграмма.
28. Термодинамические процессы водяных паров
29. Законы динамики жидкостей и газов. Уравнение Бернулли.
30. Истечение газов и паров через суживающееся сопло.
31. Критическая скорость потока и максимальный массовый расход.
32. Истечение через сопло Лавала.
33. Истечение через диффузоры.

34. Дросселирование.
35. Цикл Карно парознергетической установки.
36. Цикл Ренкина парознергетической установки.
37. Перенос теплоты теплопроводностью.
38. Конвективный теплообмен.
39. Теплообмен излучением.
40. Тепловой режим теплообменных аппаратов.
41. Тепловой расчет теплообменных аппаратов.

Список рекомендуемой литературы:

1. Прибытков, И.А. Теоретические основы теплотехники: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / И.А. Прибытков. – Москва : Издательский центр «Академия», 2004. – 464 с. – ISBN 5-7695-1727-1.
2. Кузовлев, В.А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / под ред. Л.Р. Стоцкого. – Москва: Высшая школа, 1983. – 355 с. – URL: <https://edu.gumrf.ru/elektronnaya-biblioteka-metodicheskikh-materialov/elektronnaya-biblioteka/element/view/12833> / - Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.
3. Брюханов, О.Н. Основы гидравлики и теплотехники: учебник для сред. проф. образования / О.Н. Брюханов, А.Т. Мелик-Аракелян, В.И. Коробко. – Москва: Издательский центр «Академия», 2006. – 240 с. - ISBN 5-7695-3273-4.
4. Теплотехника: Техническая термодинамика и теплопередача : учебник / М.К. Овсянников, И.И. Костылев. - СПб.: Элмор, 2013. - 206 с. - ISBN 978-5-4469-0178-4.